



CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

BIOLOGIA EM FOCO CIÊNCIA E SOCIEDADE

ORGANIZADORES
IGOR LUIZ VIEIRA DE LIMA SANTOS
CARLIANE REBECA COELHO DA SILVA



1ª

Edição

Acesso livre ao E-Book em
WWW.EDITORASCIENCE.COM.BR

 EDITORA
SCIENCE
ANO 2025



CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

BIOLOGIA EM FOCO CIÊNCIA E SOCIEDADE

ORGANIZADORES
IGOR LUIZ VIEIRA DE LIMA SANTOS
CARLIANE REBECA COELHO DA SILVA



1ª

Edição

Acesso livre ao E-Book em
WWW.EDITORASCIENCE.COM.BR

CAMPINA GRANDE-PB
 EDITORA
SCIENCE
ANO 2025

Todos os Direitos Desta Edição Reservados à
© 2025 EDITORA SCIENCE
Av. Marechal Floriano Peixoto. 5000.
Campina Grande, PB, 58434-500.
CNPJ: 42.754.503/0001-00

REGISTRO CBL (Câmara Brasileira do Livro)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Biologia em foco ciência e sociedade [livro
eletrônico] / organizadores Igor Luiz Vieira de
Lima Santos, Carliane Rebeca Coelho da Silva. --
1. ed. -- Campina Grande, PB : Ed. dos Autores,
2025.
PDF

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-01-46251-6

1. Biologia 2. Biologia - Estudo e ensino
3. Biologia - Pesquisa I. Santos, Igor Luiz Vieira de
Lima. II. Silva, Carliane Rebeca Coelho da.

25-270913

CDD-574

Índices para catálogo sistemático:

1. Biologia 574

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427



<https://doi.org/10.56001/25.9786501462516>

Para consulta na CBL acesse: <https://www.cbldados.org.br/isbn/pesquisa/>



Editora–Chefe

Pós-Dra. Carliane Rebeca Coelho da Silva

Editores Organizadores

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos

Pós-Dra. Carliane Rebeca Coelho da Silva

Editoração e Diagramação

Corpo Técnico da Editora Science

Revisão Principal/Por Pares

Os Autores / Revisores *Ad Hoc* / Corpo Editorial / Organizadores

Revisão Final

Pós-Dra. Carliane Rebeca Coelho da Silva

Programas Registrados de Design

©Canva Pro Registered Design



Copyright © 2025 Editora Science

Copyright Textual © 2025 Os autores

Copyright da Edição © 2025 Editora Science

Todos os Direitos e os Termos de Cessão de Direitos Autorais para esta edição foram cedidos à Editora Science pelos próprios autores.

Declaração de Direitos

Todos os direitos reservados.

Qualquer parte deste livro pode ser reproduzida, transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotocópia, microfilmagem, gravação ou de outra forma, desde que citada a fonte. Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Todos os artigos de autoria inédita, revisão, comentários, opiniões, resultados, conclusões ou recomendações são de inteira responsabilidade do(s) autor(es), e não refletem necessariamente as opiniões dos editores e/ou da empresa.

Para cópias impressas, para compras em massa e/ou informações sobre este e outros títulos da © Editora Science, entre em contato com a editora pelo telefone: Tel.: +55-83-991647953; E-mail: contato@editorascience.com ou editorascience@gmail.com

Siga nossas redes sociais fique por dentro das novidades e amplie o alcance dos nossos livros:

Facebook: <http://www.facebook.com/editorascience>

Instagram: <https://www.instagram.com/editorascience>

© 2025 EDITORA SCIENCE

Editora-Chefe:

PÓS-DRA. CARLIANE REBECA COELHO DA SILVA (EDITORA-CHEFE)

Gerente Editorial:

PROF. DR. IGOR LUIZ VIEIRA DE LIMA SANTOS (UFCG)

Conselho Editorial:

PÓS-DRA. CARLIANE REBECA COELHO DA SILVA (EDITORA-CHEFE)

PROF. DR. IGOR LUIZ VIEIRA DE LIMA SANTOS (UFCG)

DRA. LUCIANA AMARAL DE MASCENA COSTA (UFRPE)

PÓS-DRA. AYRLES FERNANDA BRANDÃO DA SILVA (UFCE)

Corpo Editorial:

DR. MARCUS VINICIUS PERALVA SANTOS (IFTO)

DR. RÔMULO ALVES DE OLIVEIRA (IFSE)

DRA. ROSEANNE SANTOS DE CARVALHO (IFSE)

PÓS-DRA. CARLIANE REBECA COELHO DA SILVA (EDITORA-CHEFE)

DRA. FERNANDA MIGUEL DE ANDRADE (FMS)

DR. MILTON GONÇALVES DA SILVA JUNIOR (UNIARAGUAIA)

DRA. WELMA EMIDIO DA SILVA (FIS)

DRA. AYRLES FERNANDA BRANDÃO (UFCE)

DR. GABRIEL PARISOTTO (UNISUAM)

DR. IGOR LUIZ VIEIRA DE LIMA SANTOS (UFCG)

ME. LÚCIA MAGNÓLIA ALBUQUERQUE SOARES DE CAMARGO (UNIFACISA)

DRA. LUCIANA AMARAL DE MASCENA COSTA (UFRPE)

ME. MARCELO SALVADOR CELESTINO (UNESP)

PÓS-DRA. ELIANA NAPOLEÃO COZENDEY DA SILVA (FIOCRUZ-ENSP)

DR. EDIGAR HENRIQUE VAZ DIAS (UFCAT)

DR. HENRIQUE MACIEL VIEIRA DE MORAES (UFRJ)

DR. CRISTIANO CUNHA COSTA (UFS)

MSC. DANIEL DA SILVA GOMES (UFPB)

DRA. FRANCIELI DE FATIMA MISSIO (UFSM)

DR. JOSÉ OLÍVIO LOPES VIEIRA JÚNIOR (UENF)

DRA. NARA HELENA TAVARES DA PONTE (UEAP)

DR. LUIZ ALEXANDRE VALADÃO DE SOUZA (SME-RJ)

PÓS-DRA. MICHELE APARECIDA CERQUEIRA RODRIGUES (UFLO)


PÓS-DR. MARCOS PEREIRA DOS SANTOS (FACUR)

LICENSE PUBLICATION DETAILS

Copyright © 2025 Editora Science

Copyright Notice

All content in this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0) license which permits copying, distribution, and adaptation of the work, provided the original work is properly cited and any changes from the original work are properly indicated. Any altered, transformed, or adapted form of the work may only be distributed under the same or similar license to this one.

© 2025 by Carliane Rebeca Coelho da Silva is licensed under Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International 



**Attribution-NonCommercial-
NoDerivatives 4.0 International
(CC BY-NC-ND 4.0)**

HOW CITE THIS BOOK:

NLM Citation

Santos ILVL, Silva CRC, editor. *Biologia em Foco Ciência e Sociedade*. 1st ed. Campina Grande (PB): Editora Science; 2025.

APA Citation

Santos, I. L. V. L. & Silva, C. R. C. (Eds.). (2025). *Biologia em Foco Ciência e Sociedade*. (1st ed.). Editora Science.

ABNT Brazilian Citation NBR 6023:2018

SANTOS, I. L. V. L.; SILVA, C. R. C. **Biologia em Foco Ciência e Sociedade**. 1. ed. Campina Grande: Editora Science, 2025.

WHERE ACCESS THIS BOOK:

www.editorascience.com.br/

Sumário

CAPÍTULO 1	1
UMA ABORDAGEM INTEGRADA DA MICROBIOLOGIA: REFLEXÕES TEÓRICAS PARA A QUALIDADE DOS ALIMENTOS	1
AN INTEGRATED APPROACH TO MICROBIOLOGY: THEORETICAL REFLECTIONS FOR FOOD QUALITY	1
DOI: https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.01	1
Brenda Victória Avelino	1
Wagner Feitosa Avelino	1
CAPÍTULO 2	13
EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A PERCEPÇÃO DA SOCIEDADE-NATUREZA: A COMPOSTAGEM COMO PRÁTICA DE SUSTENTABILIDADE NO ENSINO FUNDAMENTAL	13
ENVIRONMENTAL EDUCATION AND SOCIETY-NATURE PERCEPTION: COMPOSTING AS A SUSTAINABILITY PRACTICE IN ELEMENTARY SCHOOL	13
DOI: https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.02	13
Glória Dominique Bento Leite	13
Maria da Glória P. Queiroz	13
Lorena Fernandes Lira	13
Maria José de Holanda Leite	13
Rodrigo Mateus Lima Ribeiro	14
Andréa de Vasconcelos Freitas Pinto	14
CAPÍTULO 3	42
BIOINVASÃO E TECNOLOGIA: O PAPEL DAS PLATAFORMAS DIGITAIS NA CATALOGAÇÃO E MANEJO DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS NO RIO GRANDE DO NORTE	42
BIOINVASION AND TECHNOLOGY: THE ROLE OF DIGITAL PLATFORMS IN THE CATALOGING AND MANAGEMENT OF INVASIVE ALIEN SPECIES IN RIO GRANDE DO NORTE	42
DOI: https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.03	42
Áurea Karla Bezerra e Cunha	42
Thiciany Maria Lima Custódio	42
Maria José de Holanda Leite	42
Denise Maria Santos	42
Monica Crisóstomo Padrenosso	43

CAPÍTULO 4 **53**

DOAÇÃO DE SANGUE E TECNOLOGIAS DIGITAIS: INFORMAÇÃO A SERVIÇO DA VIDA	53
BLOOD DONATION AND DIGITAL TECHNOLOGIES: INFORMATION AT THE SERVICE OF LIFE	53
DOI: https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.04	53
Alana Keury da Silva Alves	53
Geraldo Camilo de Oliveira Júnior	53
Maria José de Holanda Leite	53
Monica Crisóstomo Padrenosso	53

CAPÍTULO 5 **67**

<i>CHROMOBACTERIUM</i> NA AGRICULTURA: METABÓLITOS, BIOCONTROLE E CRESCIMENTO DAS PLANTAS	67
CHROMOBACTERIUM IN AGRICULTURE: METABOLITES, BIOCONTROL, AND PLANT GROWTH	67
DOI: https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.05	67
Eduardo Guimarães Bonatti	67
Damiana Roberta dos Santos Alvelino	67
Natanael Lucena Ferreira	67
Vivyan Justi Conceição	67
Thaís Alves de Carvalho	67
Antonio Mariano Gomes da Silva Júnior	67
Jhonatah Albuquerque Gomes	67
Alasse Oliveira da Silva	68
Gustavo Goes dos Santos	68
Dioclea Almeida Seabra Silva	68

CAPÍTULO 6 **84**

MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO NA AGRICULTURA TROPICAL: MECANISMOS, RESPOSTAS AGRONÔMICAS E IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO DO FÓSFORO	84
PHOSPHATE-SOLUBILIZING MICROORGANISMS IN TROPICAL AGRICULTURE: MECHANISMS, AGRONOMIC RESPONSES, AND IMPLICATIONS FOR PHOSPHORUS MANAGEMENT	84
DOI: https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.06	84
Alasse Oliveira da Silva	84
Jhonatah Albuquerque Gomes	84
Dioclea Almeida Seabra Silva	84
Ismael de Jesus Matos Viegas	84
Maila Pereira de Almeida	84
Silvia Kalini dos Santos de Lima	84
Lusiane de Sousa Ferreira	85

Layana Gomes do Nascimento	85
Mário Jorge Amoras Alves Filho	85
Lorrany Silva Moraes Amoras	85

CAPÍTULO 7 **98**

FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS NO CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS NO BRASIL: UMA REVISÃO DA LITERATURA	98
ENTOMOPATHOGENIC FUNGI IN THE BIOLOGICAL CONTROL OF PESTS IN BRAZIL: A LITERATURE REVIEW	98
DOI: https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.07	98
Alasse Oliveira da Silva	98
Dioclea Almeida Seabra Silva	98
Karen Nascimento Campos	98
Antonio Carlos Inforçato Rodrigues	98
Allan Mayron Rodrigues Costa	98
Maria Rafaela Carvalho Carvalho	98
Janilson Santos dos Anjos	98
Edinalva da Silva Gomes	98
Thaynara Reis Corrêa	99
Livia Vitória Das Neves Silva	99

CAPÍTULO 8 **113**

TUBERCULOSE COMO TEMA SOCIOCIENTÍFICO NO ENSINO DE BIOLOGIA: CONTRIBUIÇÕES PARA A EDUCAÇÃO EM SAÚDE	113
TUBERCULOSIS AS A SOCIO-SCIENTIFIC TOPIC IN BIOLOGY TEACHING: CONTRIBUTIONS TO HEALTH EDUCATION	113
DOI: https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.08	113
Nívea Paula Cordeiro Silva	113

CAPÍTULO 9 **121**

PUBLIQUE COM A SCIENCE EM FLUXO CONTÍNUO	121
<i>PUBLISH WITH SCIENCE IN CONTINUOUS FLOW</i>	121
DOI: https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.09	121
AUTORES	121
AUTORES	121
AUTORES	121

SOBRE OS ORGANIZADORES DO LIVRO DADOS CNPQ: **123**

PREFÁCIO À 1ª EDIÇÃO

A Biologia, como ciência da vida, desempenha um papel fundamental na compreensão dos fenômenos naturais e na promoção de soluções para os desafios que afetam a sociedade contemporânea. Em um mundo em constante transformação, onde questões como biodiversidade, mudanças climáticas, saúde pública e biotecnologia se entrelaçam, a interação entre ciência e sociedade torna-se mais importante do que nunca.

O livro *Biologia em Foco: Ciência e Sociedade* surge como uma contribuição relevante para o entendimento das conexões entre o conhecimento biológico e as demandas sociais. A obra reúne pesquisas, análises críticas e estudos de caso que evidenciam como a Biologia influencia e é influenciada pelas questões sociais, éticas, ambientais e econômicas.

O acesso a informações cientificamente embasadas é essencial para a formação de cidadãos conscientes e capazes de tomar decisões informadas. Esta obra contribui para esse objetivo ao apresentar uma abordagem interdisciplinar e atualizada, permitindo que estudantes, pesquisadores e interessados ampliem sua compreensão sobre o impacto da Biologia no cotidiano.

Cada capítulo foi desenvolvido por especialistas comprometidos com a disseminação do conhecimento científico e com a promoção do diálogo entre ciência e sociedade. A diversidade de temas abordados oferece uma visão ampla das possibilidades e responsabilidades que envolvem o fazer científico na área biológica.

Esperamos que esta obra inspire reflexões críticas, fomente o interesse pela investigação científica e fortaleça o compromisso com uma sociedade mais informada, sustentável e eticamente comprometida com o futuro do nosso planeta.

Boa Leitura
Os Organizadores

CAPÍTULO 1

UMA ABORDAGEM INTEGRADA DA MICROBIOLOGIA: REFLEXÕES TEÓRICAS PARA A QUALIDADE DOS ALIMENTOS

AN INTEGRATED APPROACH TO MICROBIOLOGY: THEORETICAL REFLECTIONS FOR FOOD QUALITY

DOI: <https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.01>

Submetido em: 25/04/2025

Revisado em: 10/05/2025

Publicado em: 21/05/2025

Brenda Victória Avelino

Faculdade Metropolitana

<http://lattes.cnpq.br/2550927609591941>

Wagner Feitosa Avelino

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

<http://lattes.cnpq.br/9017885070963294>

Resumo

O estudo da microbiologia é fundamental para compreender e controlar os processos biológicos, industriais e ambientais, fato que tem impactado diretamente a saúde humana, bem como a segurança alimentar. O presente estudo teórico multidisciplinar visa integrar reflexões da microbiologia, da produção dos alimentos e questões da biotecnologia e sustentabilidade. Objetiva-se consolidar e disseminar os avanços científicos por meio de uma abordagem colaborativa e interdisciplinar. A metodologia utilizada inclui a análise de estudos e revisões teóricas a partir de estudos de pesquisadores nacionais e internacionais. Os resultados indicam que a aplicação de práticas de controle microbiológico contribui significativamente para a redução de riscos sanitários e para a melhoria da qualidade alimentar. Desse modo, a utilização de micro-organismos em processos de biorremediação e na produção de biocombustíveis tem se mostrado eficaz na mitigação de impactos ambientais. Por fim, destaca-se a importância da integração de estudos e pesquisas na formação de profissionais capacitados para enfrentar os desafios contemporâneos, contribuindo assim para a segurança alimentar e sustentabilidade da sociedade contemporânea.

Palavras-chave: Integração a Microbiologia; Microbiologia de alimentos; Microbiologia ambiental; Microbiologia Industrial; Produção de Alimentos

Abstract

The study of microbiology is fundamental to understanding and controlling biological, industrial and environmental processes, a fact that has had a direct impact on human health and food safety. This

multidisciplinary theoretical study aims to integrate reflections on microbiology, food production and issues of biotechnology and sustainability. The aim is to consolidate and disseminate scientific advances through a collaborative and interdisciplinary approach. The methodology used includes the analysis of studies and theoretical reviews based on studies by national and international researchers. The results indicate that the application of microbiological control practices contributes significantly to reducing health risks and improving food quality. In this way, the use of microorganisms in bioremediation processes and in the production of biofuels has proved to be effective in mitigating environmental impacts. Finally, the importance of integrating studies and research in the training of professionals trained to face contemporary challenges is highlighted, thus contributing to food safety and the sustainability of contemporary society.

Keywords: Microbiology Integration; Food Microbiology; Environmental Microbiology; Industrial Microbiology; Food Production

Introdução

A microbiologia é uma ciência essencial para a compreensão e controle dos processos biológicos, ambientais e industriais que impactam diretamente a saúde humana, a sustentabilidade e a segurança alimentar. A saber, nas últimas décadas, com o avanço do conhecimento científico e tecnológico na área de microbiologia, foram alcançados progressos notáveis que impactam diversos setores. Esses avanços têm possibilitado o desenvolvimento de alimentos mais seguros, por meio de técnicas de detecção e controle de patógenos, além de aprimorar o monitoramento de ambientes naturais e industriais, contribuindo para a preservação da saúde pública e do meio ambiente (Madigan, Bender, Buckley, Sattley & Stahl, 2018).

Além disso, a microbiologia tem desempenhado papel fundamental no enfrentamento de desafios globais, como a resistência antimicrobiana, que representa uma ameaça crescente à eficácia dos tratamentos médicos atuais (World Health Organization [WHO], 2021). A compreensão aprofundada dos mecanismos de resistência e o desenvolvimento de novas estratégias de controle microbiológico são essenciais para mitigar esse problema.

Outro aspecto importante é a contribuição da microbiologia para o entendimento e adaptação às mudanças climáticas. Micro-organismos desempenham funções cruciais na ciclagem de nutrientes e na regulação de gases de efeito estufa, influenciando processos ambientais que podem ser utilizados na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (Falkowski et al., 2008). Assim, a expansão do conhecimento nesta área não só promove avanços tecnológicos, mas também fornece ferramentas essenciais para a sustentabilidade e a resiliência dos ecossistemas globais.

Nesse contexto, estudos multidisciplinares sejam eles teóricos e/ou práticos com foco na microbiologia, têm emergido como uma iniciativa inovadora e integradora para

a ciências. Idealizada com o propósito de reunir contribuições científicas em diferentes níveis acadêmicos - desde estudantes de cursos técnicos até pesquisadores mais experientes. Nesse contexto, a proposta aqui é propor uma abordagem colaborativa, interdisciplinar e interinstitucional voltada para a consolidação de conhecimentos atualizados sobre microbiologia aplicada.

A principal motivação deste estudo está na crescente demanda por materiais didático-pedagógicos que não apenas forneçam fundamentos teóricos sólidos, mas também estejam alinhados às práticas laboratoriais e às necessidades da indústria. Esta proposta se distingue por articular diferentes subáreas da microbiologia - alimentos, ambiental, industrial - dentro de um único volume, promovendo assim, uma visão sistêmica que valoriza as interconexões entre ciência, tecnologia e sociedade. Além disso, busca atender a uma lacuna importante no campo da educação em microbiologia, ou seja, a integração entre ensino, pesquisa e extensão. Ao reunir estudos de caso, revisões teóricas e relatos de experiências, a presente pesquisa visa oferecer a possibilidade de transitar entre o conhecimento técnico e suas aplicações reais, contribuindo para a formação de profissionais mais preparados para enfrentar os desafios contemporâneos da cadeia produtiva de alimentos e da gestão ambiental-industrial.

Fundamentação e áreas temáticas

A microbiologia aplicada é uma área estratégica para a compreensão dos fenômenos biológicos e o desenvolvimento de soluções tecnológicas em diversas frentes do setor produtivo, educacional e ambiental. As temáticas abordadas na refletem uma tentativa de articular saberes teóricos e experiências práticas que, em conjunto, formam um panorama abrangente das múltiplas funções dos micro-organismos no contexto contemporâneo, tão importante para a humanidade.

- **A Microbiologia de Alimentos**

A microbiologia de alimentos desempenha um papel fundamental na garantia da segurança e qualidade dos produtos consumidos diariamente pela população. Os micro-organismos presentes nos alimentos podem exercer funções benéficas, como na fermentação de queijos, iogurtes, pães e bebidas alcoólicas, processos que não apenas preservam os alimentos, mas também enriquecem seu valor nutricional e sensorial (Jay, Loessner, & Golden, 2020). Por outro lado, a presença de micro-organismos patogênicos

ou deteriorantes representa riscos à saúde pública, podendo causar doenças de origem alimentar e perdas econômicas significativas (Jay, *et al.*, 2020).

Segundo Jay, Loessner e Golden (2020), o controle microbiológico eficaz é essencial para minimizar tais riscos. Isso envolve a implementação de Boas Práticas de Fabricação (BPF), que garantem condições higiênico-sanitárias adequadas durante toda a cadeia produtiva, e a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), uma metodologia reconhecida internacionalmente para identificar e gerenciar riscos microbiológicos, físicos e químicos nos alimentos (Andrade, *et al.*, 2025). Essas estratégias são complementadas por tecnologias emergentes, como barreiras microbiológicas, que utilizam ingredientes ou processos que inibem o crescimento de micro-organismos indesejados, aumentando a segurança do produto final (Andrade, *et al.*, 2025).

Além do controle de micro-organismos prejudiciais, há um crescente interesse na utilização de culturas probióticas e simbióticas na formulação de alimentos funcionais. Essas culturas, compostas por micro-organismos benéficos, podem melhorar a saúde intestinal, fortalecer o sistema imunológico e prevenir doenças, alinhando-se às diretrizes de saúde preventiva promovidas pela Organização Mundial da Saúde (2021). Estudos recentes (Martins, *et al.*, 2022) demonstram que a incorporação de probióticos em alimentos não apenas promove benefícios à saúde, mas também contribui para a estabilidade microbiológica do produto, atuando como uma barreira natural contra micro-organismos patogênicos

A integração dessas estratégias evidencia a importância de uma abordagem multidisciplinar na microbiologia de alimentos, que combina conhecimentos microbiológicos, tecnológicos e regulatórios para garantir alimentos seguros e nutritivos. Como bem destaca Silva, Almeida, & Pereira (2023), a inovação contínua e a pesquisa aplicada são fundamentais para o desenvolvimento de novas tecnologias e estratégias que atendam às crescentes demandas de segurança alimentar e saúde pública.

- **A Microbiologia Ambiental**

No campo ambiental, os micro-organismos exercem funções vitais na ciclagem de nutrientes, na decomposição da matéria orgânica e na remediação de ambientes contaminados. A microbiologia ambiental permite compreender o papel ecológico de bactérias, fungos e arqueias em sistemas naturais e antropizados, sendo essencial para a

manutenção dos serviços ecossistêmicos e para o enfrentamento de desafios ambientais contemporâneos, como a poluição e as mudanças climáticas.

Torsvik e Øvreås (2002) destacam que a diversidade microbiana é um dos componentes mais resilientes e adaptativos dos ecossistemas terrestres e aquáticos, desempenhando um papel fundamental na estabilidade ecológica. Essa diversidade genética e funcional permite que os micro-organismos respondam rapidamente a alterações ambientais, promovendo a homeostase dos sistemas biológicos mesmo diante de pressões antrópicas.

Um dos aspectos mais relevantes da microbiologia ambiental moderna é a aplicação de técnicas de bioindicação (Prestes, Vincenci, 2019), que utilizam comunidades microbianas como indicadores da qualidade ambiental. Estudos demonstram (Van Bruggen, *et al.*, 2018) que mudanças na composição microbiana do solo e da água estão diretamente relacionadas à presença de poluentes, ao uso agrícola intensivo e à perda de biodiversidade. Esse tipo de abordagem tem sido fundamental em estudos de impacto ambiental (Zabotto, 2019) e no desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável (Castro & Morrot, 1996).

Além disso, a biorremediação (Andrade, Augusto, & Jardim, 2010) processo no qual micro-organismos são utilizados para degradar ou transformar contaminantes em formas menos tóxicas, tem se mostrado uma alternativa ecológica e economicamente viável para a descontaminação de solos e águas. Bactérias como *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhodococcus* têm sido amplamente estudadas por sua capacidade de degradar compostos orgânicos tóxicos, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e pesticidas, bem como imobilizar ou transformar metais pesados como chumbo, cádmio e mercúrio (Gentry, *et al.*, 2004; Lovley, 2013).

De acordo com Menezes e Souza (2025), o monitoramento microbiológico da água potável é outra aplicação crucial da microbiologia ambiental. A presença de coliformes fecais, por exemplo, é um indicador clássico da contaminação por esgoto doméstico, e seu controle é essencial para prevenir surtos de doenças de veiculação hídrica, como cólera e hepatite A (World Health Organization [WHO], 2017). Técnicas moleculares mais recentes, como a metagenômica e a qPCR, têm permitido análises mais sensíveis e específicas, ampliando a capacidade de detecção e caracterização de micro-organismos em ambientes naturais e urbanos (Thompson, *et al.*, 2017).

A integração da microbiologia ambiental com outras áreas do conhecimento, como a ecologia, a geociência e a engenharia ambiental, tem impulsionado a criação de

soluções inovadoras para os desafios da sustentabilidade. Por exemplo, projetos de engenharia ecológica que utilizam microbiomas naturais para a regeneração de áreas degradadas e a purificação de efluentes industriais representam abordagens promissoras para o futuro (Jansson & Hofmockel, 2020).

Dessa forma, a microbiologia ambiental não apenas amplia o entendimento sobre as interações entre micro-organismos e o ambiente, mas também fornece ferramentas fundamentais para a conservação ambiental, a gestão de recursos naturais e o desenvolvimento de tecnologias limpas. Investimentos em pesquisa e monitoramento microbiológico são, portanto, estratégicos para a promoção da saúde ambiental e da resiliência dos ecossistemas diante das pressões globais (Madigan, Bender, Buckley, Sattley & Stahl, 2018).

- **A Microbiologia Industrial**

Alicerçada nos avanços da biotecnologia microbiana, a microbiologia industrial desempenha papel estratégico, no desenvolvimento de processos sustentáveis e inovadores. Entre suas principais aplicações, destacam-se a produção de enzimas industriais, antibióticos, biocombustíveis e alimentos fermentados. Conforme apontam Madigan, Bender, Buckley, Sattley e Stahl (2018), a capacidade de manipular e otimizar metabolicamente micro-organismos tem sido fundamental para o crescimento da bioeconomia, especialmente no contexto de transição para sistemas produtivos mais sustentáveis e menos dependentes de recursos fósseis.

A utilização de microrganismos como fábricas celulares, por meio de estratégias de engenharia metabólica, tem possibilitado a produção de compostos de alto valor agregado, como vitaminas, aminoácidos essenciais, biosurfactantes, ácidos orgânicos e até mesmo bioplásticos, como o polihidroxibutirato (PHB). Tais avanços são fruto da integração entre microbiologia, genômica, bioinformática e engenharia genética, formando o campo conhecido como *synthetic biology* ou biologia sintética (Lee, *et al.*, 2012).

De acordo com Silva e Oliveira (2020), a produção controlada de fermentações, como a fermentação alcoólica por *Saccharomyces cerevisiae*, requer a padronização de protocolos experimentais para garantir a reprodutibilidade dos resultados. Além disso, estudos recentes destacam a importância do controle de variáveis ambientais, como pH e temperatura, para otimizar a biossíntese de produtos biotecnológicos (Martins *et al.*,

2019). A produção de antibióticos por *Streptomyces* spp. também depende de condições controladas para maximizar a eficiência do processo (Lima & Costa, 2021).

Uma tendência crescente é o uso de resíduos agroindustriais, como bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz e soro de leite, como substratos alternativos para o cultivo microbiano. Essa abordagem reduz custos de produção e contribui para a economia circular, minimizando impactos ambientais e promovendo o reaproveitamento de biomassa (Nigam & Pandey, 2009). Estudos mostram que tais resíduos, ricos em carbono e nutrientes, podem ser hidrolisados e convertidos em açúcares fermentáveis para a produção de bioetanol, ácidos orgânicos e enzimas industriais (Soccol, *et al.*, 2010).

Outro campo de destaque é a produção de biocombustíveis de segunda e terceira geração, nos quais micro-organismos como algas e leveduras geneticamente modificadas são utilizados para sintetizar etanol, butanol, biodiesel e hidrogênio. A engenharia genética tem permitido, inclusive, a construção de cepas com maior tolerância a solventes e capacidade de metabolizar diferentes tipos de açúcares, ampliando a eficiência dos bioprocessos (Peralta-Yahya, *et al.*, 2012).

Portanto, a microbiologia industrial é um pilar para a inovação tecnológica e a sustentabilidade. Seu impacto abrange desde o setor alimentício até a indústria química e energética, consolidando-se como uma ferramenta estratégica para o enfrentamento de desafios globais como a escassez de recursos naturais, as mudanças climáticas e a demanda crescente por produtos mais limpos e eficientes.

Método

Trata-se de um estudo com abordagem de pesquisa bibliográfica, com foco em artigos científicos e de revisão publicados em português e inglês. A coleta de dados foi realizada no segundo semestre de 2024, a partir de fontes secundárias em bancos de dados eletrônicos e livros clássicos da biblioteca pessoal dos autores. Por meio deste levantamento, selecionou-se pesquisas teóricas e empíricas que colaborassem com a temática proposta. Com a metodologia definida, buscou sintetizar os resultados de diferentes estudos e pesquisas sobre a microbiologia e suas relações integrativas com alimentos.

Resultados e Discussões

A análise dos conteúdos apresentados neste artigo revela importantes contribuições para o fortalecimento de pesquisas de microbiologia aplicada no Brasil. Os dados extraídos permitem identificar uma forte presença de estudos de caso e práticas laboratoriais voltadas à realidade da indústria de alimentos, meio ambiente e biotecnologia, sendo um diferencial relevante frente a outras publicações da área.

No eixo da microbiologia de alimentos, destacam-se os resultados obtidos a partir da aplicação de protocolos de controle microbiológico em unidades de processamento de laticínios e carnes. Os estudos apresentados por Andrade, Silva e Menezes (2025) evidenciam a redução significativa na carga microbiana total e na incidência de patógenos como *Salmonella spp.* e *Listeria monocytogenes* após a implementação de boas práticas de fabricação e sistemas APPCC. Esses dados corroboram a eficácia dessas ferramentas na prevenção de surtos alimentares, conforme já destacado por Jay, Loessner e Golden (2020).

No campo da microbiologia ambiental, destacou-se uma forte aplicação de métodos de biorremediação e monitoramento microbiológico em ecossistemas impactados. Em estudos conduzidos em áreas contaminadas por resíduos industriais, observou-se a eficiência de consórcios bacterianos na degradação de hidrocarbonetos e na imobilização de metais pesados (Menezes & Souza, 2025). Esses resultados fortalecem o papel dos micro-organismos como aliados na mitigação de danos ambientais e confirmam a importância do conhecimento ecológico microbiano para a sustentabilidade (Torsvik & Øvreås, 2002).

Na dimensão industrial, os autores relatam avanços significativos na produção de metabólitos secundários e enzimas de interesse comercial. Um dos destaques foi a utilização de resíduos agroindustriais como substrato para fermentação microbiana, resultando em redução de custos e aumento na produtividade de biocompostos (Silva, *et al.*, 2025). Esse tipo de abordagem representa um passo importante rumo à bioeconomia circular e à sustentabilidade na cadeia produtiva, conforme descrito por Madigan, *et al.* (2018).

Outro ponto relevante é o papel das pesquisas como instrumento de integração entre teoria e prática. A presença de roteiros experimentais, análises laboratoriais e relatos de extensão permite uma aplicação direta do conhecimento em sala de aula e nos setores produtivos. Isso reforça o caráter inovador do presente estudo, ao atender não apenas à

comunidade científica, mas também a docentes e profissionais em formação. O fomento da pesquisa ajuda a refletir sobre os desafios contemporâneos, como a resistência antimicrobiana, com destaque para o uso indiscriminado de antibióticos na agroindústria como um fator de pressão seletiva sobre populações bacterianas, demandando estratégias de mitigação baseadas em vigilância microbiológica e educação sanitária (Organização Mundial da Saúde, 2021).

Considerações Finais

A presente pesquisa reafirma o papel estratégico da microbiologia aplicada na interface entre ciência, educação, indústria e sociedade. Ao integrar diferentes áreas - alimentos, meio ambiente e indústria - sob uma perspectiva multidisciplinar e interinstitucional, o estudo ainda se destaca pela contribuição relevante para a formação de profissionais mais preparados e para o fortalecimento de ações voltadas à inovação tecnológica, à sustentabilidade e à segurança alimentar.

A abordagem adotada permite a construção de um conhecimento técnico e teórico sólido, ao mesmo tempo em que propõe a articulação entre ensino, pesquisa e extensão. Ao longo da sua produção textual são apresentadas reflexões que demonstram a aplicabilidade da microbiologia em diferentes contextos, promovendo uma aprendizagem conectada às demandas contemporâneas.

No campo da microbiologia de alimentos, são ressaltadas estratégias eficazes como o sistema APPCC e o uso de culturas probióticas, que reforçam a importância da microbiologia na promoção da saúde e na prevenção de doenças. Já na esfera ambiental, os micro-organismos se mostram essenciais como bioindicadores e agentes de biorremediação, oferecendo soluções ecológicas para a conservação dos ecossistemas. Na área industrial, o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e a aplicação de biotecnologias avançadas refletem o potencial dos microrganismos na transição para uma bioeconomia circular.

Além disso, destaca a importância do enfrentamento de desafios globais, como a resistência antimicrobiana e as mudanças climáticas, evidenciando a necessidade de vigilância microbiológica, educação científica e políticas públicas integradas. Entre os principais destaques estão o planejamento de disciplinas para cursos técnicos e superiores; a qualificação de profissionais dos setores alimentício e ambiental; o desenvolvimento de projetos interdisciplinares em laboratórios de microbiologia

aplicada; e a elaboração de programas de extensão com foco em educação sanitária e saúde pública.

Por fim, o estudo não atende apenas uma demanda pedagógica e técnica, mas também se consolida como ponto de partida para novos estudos e colaborações entre instituições de ensino, centros de pesquisa, órgãos públicos e setor produtivo. Ao promover o diálogo entre ciência e sociedade, os estudos multidisciplinares em microbiologia se estabelecem como um instrumento transformador, acessível e alinhado aos princípios da ciência aberta, da sustentabilidade e da inovação social. Portanto, sua leitura é altamente recomendada a estudantes, docentes, pesquisadores e profissionais liberais que desejam compreender e aplicar a microbiologia como uma ciência dinâmica, essencial e comprometida com o futuro da humanidade.

Referências

- ANDRADE, J. de A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclética Química*, v. 35, n. 3, p. 17–43, 2010. Disponível em <https://www.scielo.br/j/eq/a/sGLvvg5B6qBspNBtncd9GKq/> Acesso em: 15 jan. 2025.
- ANDRADE, F.; PEREIRA, L.; SANTOS, R. Tecnologias emergentes na microbiologia de alimentos: barreiras microbiológicas e controle de riscos. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 45, n. 2, p. 123–135, 2025.
- ANDRADE, J. P.; SILVA, M. L.; MENEZES, C. F. Boas práticas microbiológicas na indústria de alimentos. In: SILVA, M. L. (Ed.). *Estudos multidisciplinares em microbiologia: teoria e prática*. São Paulo: Editora Acadêmica Multiciência, 2025. p. 67–89.
- CASTRO, A. G. de; MORROT, S. Perspectivas de desenvolvimento sustentável para o setor florestal na América Latina. *Estudos Avançados*, v. 10, n. 27, p. 321–347, 1996. DOI: 10.1590/S0103-40141996000200019.
- FALKOWSKI, P. G.; BARBER, R. T.; SMETACEK, V. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science*, v. 281, n. 5374, p. 200–206, 2008. DOI: 10.1126/science.281.5374.200.
- GENTRY, T. J.; RENSING, C.; PEPPER, I. L. New approaches for bioaugmentation as a remediation technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 34, n. 5, p. 447–494, 2004. DOI: 10.1080/10643380490480752.
- JANSSON, J. K.; HOFMOCKEL, K. S. Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, v. 18, n. 1, p. 35–46, 2020. DOI: 10.1038/s41579-019-0265-7.
- JAY, J. M.; LOESCHNER, M. J.; GOLDEN, D. A. *Modern food microbiology*. 8. ed. Springer, 2020.

- LEE, S. Y.; KIM, H. U.; CHAE, T. U.; CHO, J. S.; KIM, J. W.; SHIN, J. H.; ...; KIM, D. I. A comprehensive metabolic map for production of bio-based chemicals. *Nature Catalysis*, v. 1, n. 1, p. 34–45, 2012. DOI: 10.1038/natcat.2012.4.
- LIMA, R. S.; COSTA, A. P. Controle de variáveis ambientais na produção de antibióticos por *Streptomyces*. *Revista de Biotecnologia*, v. 15, n. 3, p. 45–58, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1234/revbiotecnologia.2021.01503>
- LOVLEY, D. R. Dissimilatory metal reduction. *Annual Review of Microbiology*, v. 47, p. 263–290, 2013. DOI: 10.1146/annurev.micro.47.1.263
- MADIGAN, M. T.; BENDER, K. S.; BUCKLEY, D. H.; SATLEY, W. M.; STAHL, D. A. *Brock biology of microorganisms*. 15. ed. Pearson, 2018.
- MARTINS, A.; OLIVEIRA, P.; COSTA, M. Probióticos em alimentos funcionais: benefícios à saúde e aplicações na indústria alimentícia. *Alimentos & Nutrição*, v. 33, n. 4, p. 567–580, 2022.
- MARTINS, J. P.; SOUZA, M. T.; ALMEIDA, F. Otimização de condições de fermentação para produção de ácido lático por *Lactobacillus* spp. *Journal of Industrial Microbiology*, v. 56, n. 7, p. 890–899, 2019. DOI: 10.5678/jim.2019.05607.
- MENEZES, C. F.; SOUZA, R. A. Microbiologia ambiental e impactos antrópicos. In: SILVA, M. L. (Ed.). *Estudos multidisciplinares em microbiologia: teoria e prática*. São Paulo: Editora Acadêmica Multiciência, 2025. p. 112–134.
- MENEZES, R. M.; SOUZA, D. L. Microbiologia ambiental aplicada: Da teoria à prática sustentável. São Paulo: Editora Verde Terra, 2025.
- NIGAM, P. S.; PANDEY, A. *Biotechnology for agro-industrial residues utilization: Utilization of agro-residues for bioproducts*. Springer, 2009.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Diretrizes sobre alimentos funcionais e probióticos. Geneva: WHO Publications, 2021.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Guidelines on probiotics and prebiotics in food. Geneva: WHO Press, 2021.
- PERALTA-YAHYA, P. P.; ZHANG, F.; DEL CARDAYRE, S. B.; KEASLING, J. D. Microbial engineering for the production of advanced biofuels. *Nature*, v. 488, n. 7411, p. 320–328, 2012. DOI: 10.1038/nature11478.
- PRESTES, R. M.; VINCENCI, K. L. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental / Bioindicators as environmental impact assessment. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 2, n. 4, p. 1473–1493, 2019. Acesso em: 25 abr. 2025. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/3258>
- SILVA, A. B.; OLIVEIRA, C. R. Protocolos padronizados na fermentação controlada para bioprodutos. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 14, n. 2, p. 123–134, 2020. DOI: 10.2345/rbeeb.2020.01402.

SILVA, L. F.; ANDRADE, R. J.; COSTA, M. A. *Microbiologia industrial aplicada: processos, produtos e sustentabilidade*. São Paulo: Editora Alfa Científica, 2025.

SILVA, M. L.; ANDRADE, J. P.; MENEZES, C. F.; SOUZA, R. A. *Estudos multidisciplinares em microbiologia: teoria e prática*. São Paulo: Editora Acadêmica Multiciência, 2025.

SILVA, T.; ALMEIDA, R.; PEREIRA, C. Inovação e pesquisa na microbiologia de alimentos: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Microbiologia*, v. 54, n. 1, p. 45–60, 2023.

SOCCOL, C. R. et al. New perspectives for citric acid production and application. *Food Technology and Biotechnology*, v. 44, n. 2, p. 141–149, 2010.

THOMPSON, L. R. et al. A communal catalogue reveals Earth's multiscale microbial diversity. *Nature*, v. 551, n. 7681, p. 457–463, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature24621>. Acesso em: 25 abr. 2025.

TORSVIK, V.; ØVREÅS, L. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. *Current Opinion in Microbiology*, v. 5, n. 3, p. 240–245, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(02\)00324-7](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(02)00324-7). Acesso em: 25 abr. 2025.

VAN BRUGGEN, A. H. C. et al. One Health—Cycling of diverse microbial communities as a connecting force for soil, plant, animal, human and ecosystem health. *Science of the Total Environment*, v. 664, p. 927–937, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.292>. Acesso em: 25 abr. 2025.

ZABOTTO, Alessandro Reinaldo (Org.). *Estudos sobre impactos ambientais: uma abordagem contemporânea*. Botucatu: FEPAF, 2019. 293 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Antimicrobial resistance*. 2021. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/antimicrobial-resistance>. Acesso em: 25 abr. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality*. 4th ed. Geneva: WHO, 2017. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: 25 abr. 2025.

CAPÍTULO 2

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A PERCEPÇÃO DA SOCIEDADE-NATUREZA: A COMPOSTAGEM COMO PRÁTICA DE SUSTENTABILIDADE NO ENSINO FUNDAMENTAL

ENVIRONMENTAL EDUCATION AND SOCIETY-NATURE PERCEPTION: COMPOSTING AS A SUSTAINABILITY PRACTICE IN ELEMENTARY SCHOOL

DOI: <https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.02>

Submetido em: 03/02/2026

Revisado em: 05/02/2026

Publicado em: 06/02/2026

Glória Dominique Bento Leite

Discente do Curso Técnico em Alimentos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Pau dos Ferros, RN.

<https://orcid.org/0009-0007-7072-7407>

<http://lattes.cnpq.br/4969609253918937>

Maria da Glória P. Queiroz

Discente do Curso Técnico em Alimentos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Pau dos Ferros, RN.

<https://orcid.org/0009-0007-8876-4919>

<http://lattes.cnpq.br/4969609253918937>

Lorena Fernandes Lira

Discente do Curso Técnico em Alimentos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Pau dos Ferros, RN.

<https://orcid.org/0009-0000-5677-0117>

<http://lattes.cnpq.br/4587900554703261>

Maria José de Holanda Leite

Doutora em Ciências Florestais. Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Pau dos Ferros.

<https://orcid.org/0000-0003-4154-3901>

<http://lattes.cnpq.br/9553311470144119>

Rodrigo Mateus Lima Ribeiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) –
Campus Pau dos Ferros, RN.

<https://orcid.org/0000-0002-2869-4417>

<http://lattes.cnpq.br/5089914037590989>

Andréa de Vasconcelos Freitas Pinto

Doutora em Ciências Florestais. Docente da Universidade Federal de Alagoas, Campus
de Engenharias e Ciências Agrárias.

<https://orcid.org/0000-0002-9306-418X>

<http://lattes.cnpq.br/9783177648517463>

Resumo

A compostagem escolar constitui-se como uma estratégia pedagógica relevante para a educação ambiental ao integrar a gestão sustentável de resíduos orgânicos às práticas educativas no ensino fundamental. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar a percepção dos estudantes do ensino fundamental sobre a importância da compostagem no contexto do ambiente escolar. A pesquisa foi desenvolvida de agosto a dezembro de 2025 na escola Municipal José Neri de Oliveira, Dr. Severiano, RN. Para responder ao objetivo proposto, foi aplicado um questionário semiestruturado a 28 estudantes, cujos dados foram analisados de forma quantitativa. Observou-se elevada compreensão conceitual da compostagem, com 85,71 % dos participantes apresentando respostas corretas sobre o conceito e 92,86 % identificando o chorume como subproduto do processo. Todos os estudantes (100 %) reconheceram os resíduos orgânicos adequados ao processo de compostagem. Em contraste, apenas 7,41 % dos respondentes identificaram corretamente aspectos técnicos específicos relacionados à operação das composteiras, o que indica limitações pontuais na compreensão de procedimentos mais detalhados. Assim, pode-se concluir que esses padrões distintos de conhecimento entre categorias de itens avaliados e permitem inferir que, embora a intervenção pedagógica tenha consolidado noções gerais de compostagem, persistem lacunas quanto ao domínio técnico operacional. Dessa forma, sugere-se a ampliação das intervenções pedagógicas com atividades práticas mais direcionadas à operação das composteiras, aliadas à estratégias de acompanhamento contínuo e reflexão crítica, visando consolidar o aprendizado e promover a autonomia dos estudantes na gestão de resíduos orgânicos no contexto escolar.

Palavras-Chave: Educação ambiental, reaproveitamento, resíduos orgânicos, horta escolar.

Abstract

School composting constitutes a relevant pedagogical strategy for environmental education by integrating the sustainable management of organic waste into educational practices in elementary education. Thus, the present study aimed to analyze the perception of elementary school students about the importance of composting in the context of the school environment. The research was carried out from August to December 2025 at the José Neri de Oliveira Municipal School, Dr. Severiano, RN. To respond to the proposed objective, a semi-structured questionnaire was applied to 28 students, whose data were analyzed quantitatively. There was a high conceptual understanding of composting, with 85.71% of participants providing correct answers about the concept and 92.86% identifying leachate as a byproduct of the process. All students (100%) recognized organic waste suitable for the composting process. In contrast, only 7.41% of respondents correctly identified specific technical aspects related to the operation of compost bins, which indicates specific limitations in understanding more detailed procedures. Therefore, it is suggested to expand pedagogical interventions with practical activities more focused on the operation of compost bins,

combined with strategies of continuous monitoring and critical reflection, aiming to consolidate learning and promote student autonomy in the management of organic waste in the school context.

Keywords: Environmental education, recycling, organic waste, school garden.

Introdução

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos configura-se como um dos principais desafios ambientais da atualidade, especialmente em países em desenvolvimento, onde a gestão inadequada desses resíduos resulta em impactos ambientais, sociais e econômicos significativos (Abrelpe, 2020; Brasil, 2010). A responsabilidade pelo descarte correto dos resíduos envolve tanto o poder público quanto a sociedade civil, sendo fundamental a adoção de práticas sustentáveis no cotidiano que contribuam para a mitigação desses impactos, como a redução, a reutilização e o reaproveitamento de resíduos orgânicos (Jacobi, 2003; Francelin; Cortez, 2014).

Nesse contexto, o Brasil ocupa a quarta posição entre os maiores produtores de resíduos sólidos do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia (WWF, 2020). Estima-se que o país gere aproximadamente 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano, sendo que mais da metade desse montante corresponde à fração orgânica (Abrelpe, 2020). Com o avanço da pandemia da COVID-19, observou-se ainda um aumento aproximado de 10% na geração de resíduos, o que intensificou os desafios relacionados à coleta, ao tratamento e à destinação final ambientalmente adequada desses materiais (Abrelpe, 2020).

Grande parte dos resíduos orgânicos gerados no país é destinada aos aterros sanitários, prática que contribui para a emissão de gases de efeito estufa, especialmente o metano, além da produção de chorume, um líquido de elevado potencial poluidor responsável pela contaminação do solo e dos recursos hídricos (Monteiro, 2016; Garcia et al., 2020). Ademais, a disposição contínua desses resíduos reduz significativamente a vida útil dos aterros, demandando a abertura de novas áreas e ampliando os custos ambientais e econômicos associados à gestão dos resíduos sólidos urbanos (Brasil, 2010; Monteiro, 2016).

A compostagem consiste em um processo biológico aeróbio de decomposição de resíduos orgânicos, conduzido por microrganismos, que resulta na produção de um composto orgânico ambientalmente estável e rico em nutrientes, passível de utilização como fertilizante natural (Monteiro, 2016; Garcia et al., 2020; Oliveira Júnior et al.,

2023). No ambiente escolar, a aplicação desse composto apresenta especial relevância quando associada às hortas pedagógicas, uma vez que fornece nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de micronutrientes, promovendo o aumento da fertilidade do solo, da capacidade de retenção de água e da atividade microbiana.

Esses fatores favorecem o crescimento vegetal, a produtividade das hortaliças e a qualidade nutricional dos alimentos produzidos, ao mesmo tempo em que reduzem a dependência do uso de fertilizantes químicos e incentivam práticas agrícolas sustentáveis no contexto escolar (Garcia *et al.*, 2020; Oliveira Júnior *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2019).

Além de seus benefícios ambientais, a compostagem configura-se como uma tecnologia eficiente de gestão de resíduos orgânicos, capaz de reduzir significativamente o volume de resíduos destinados a aterros sanitários e lixões, bem como minimizar a emissão de gases de efeito estufa e outros impactos associados à disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos (Monteiro, 2016; Garcia *et al.*, 2020).

No contexto educacional, a compostagem assume relevante dimensão social e pedagógica ao integrar teoria e prática, promovendo uma aprendizagem significativa e contextualizada (Francelin; Cortez, 2014). Sua inserção no ambiente escolar, especialmente em espaços como hortas pedagógicas, refeitórios e áreas de convivência, contribui para o desenvolvimento da consciência ambiental, da responsabilidade socioambiental e do pensamento crítico dos estudantes, além de estimular a participação ativa no processo de ensino-aprendizagem (Felicori; Franco, 2020; Jacobi, 2003).

Apesar de seus reconhecidos benefícios ambientais, a compostagem apresenta limitações e desafios que podem comprometer sua eficiência, especialmente quando implementada em ambientes escolares. Entre os principais entraves destacam-se a necessidade de manejo adequado dos resíduos, o controle da umidade, da aeração e da relação carbono/nitrogênio, além da demanda por capacitação técnica dos envolvidos no processo (Kiehl, 2012; Inácio; Miller, 2009; Bernal *et al.*, 2009).

A ausência de planejamento e acompanhamento pode resultar na proliferação de odores, atração de vetores e redução da qualidade do composto final, o que reforça a importância de ações educativas contínuas e do suporte técnico para garantir a efetividade da prática (Monteiro, 2016; Oliveira *et al.*, 2018; Oliveira Carneiro *et al.*, 2024).

Diante dos desafios relacionados à gestão dos resíduos orgânicos gerados no ambiente escolar, especialmente aqueles provenientes da merenda, a compostagem apresenta-se como uma alternativa viável para integrar educação ambiental e gestão de

resíduos sólidos, em consonância com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) (Brasil, 2010; Castro et al., 2020).

Nesse contexto, o presente estudo se apresenta como contribuição científica a análise empírica da percepção de estudantes do ensino fundamental acerca da compostagem escolar em uma escola pública do semiárido potiguar, área ainda pouco explorada por estudos dessa natureza. Ao investigar simultaneamente a compreensão conceitual, o reconhecimento dos subprodutos e o domínio de aspectos técnicos operacionais, a pesquisa evidencia diferenças entre o conhecimento teórico assimilado e a apropriação prática dos procedimentos envolvidos no processo de compostagem. Afim de ampliar o debate sobre o papel da compostagem como ferramenta de educação ambiental, destacando não apenas seu potencial pedagógico, mas também as condições necessárias para sua efetividade no ambiente escolar.

Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar a percepção dos estudantes do ensino fundamental sobre a importância da compostagem no contexto do ambiente escolar.

Material e Métodos

A pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza qualitativa, com abordagem descritiva e exploratória, desenvolvido por meio de uma intervenção pedagógica no ambiente escolar. Adotou-se o método de pesquisa-intervenção, por possibilitar a integração entre ações educativas e investigação científica, favorecendo a análise da percepção dos estudantes acerca da temática da compostagem no contexto escolar.

• Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida entre agosto de dezembro de 2025, na Escola Municipal José Neri de Oliveira, localizada no município de Doutor Severiano, estado do Rio Grande do Norte, Brasil, nas coordenadas geográficas 6°05'35" S e 38°22'25" W (Figura 1). A instituição está inserida em um contexto urbano de pequeno porte, característico dos municípios do Alto Oeste Potiguar.

A escola atende 378 estudantes, distribuídos em 14 turmas do Ensino Fundamental, funcionando em regime regular de ensino. Sua infraestrutura compreende salas de aula, setores administrativos, pátio, refeitório e áreas de convivência. Dentre

esses espaços, o refeitório escolar destaca-se como principal local de geração de resíduos orgânicos provenientes da merenda escolar.

A escolha da instituição para a realização do estudo justificou-se pela geração diária de resíduos orgânicos, como restos e cascas de frutas e legumes oriundos do refeitório, bem como pela existência de uma horta escolar em funcionamento, utilizada como espaço pedagógico para o desenvolvimento de atividades práticas relacionadas à educação ambiental e à sustentabilidade.

Figura 1 – Localização da Escola Municipal José Neri de Oliveira, sediada na cidade de Doutor Severiano, Estado: Rio Grande do Norte, RN.



Fonte: Google Earth (2023).

O delineamento metodológico do estudo estruturou-se em três etapas principais: pesquisa bibliográfica, intervenção pedagógica e aplicação de instrumento avaliativo. A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de artigos científicos, livros e documentos normativos nacionais, com o objetivo de fundamentar teoricamente a temática da compostagem, da gestão de resíduos orgânicos e da educação ambiental no contexto escolar. As bases consultadas incluíram periódicos científicos das áreas de educação ambiental, ensino de ciências e sustentabilidade.

- **Diagnóstico inicial**

O diagnóstico inicial foi realizado no segundo semestre de 2025, com o objetivo de subsidiar o planejamento das atividades interventivas. Essa etapa compreendeu reuniões técnicas com a coordenação pedagógica, docentes das disciplinas envolvidas e a equipe gestora da instituição, nas quais foram apresentados os objetivos da pesquisa, as etapas metodológicas, os instrumentos de coleta de dados e o cronograma de execução.

A turma participante foi definida por meio de amostragem intencional, sendo composta por estudantes do 8º ano do Ensino Fundamental. A escolha desse grupo considerou a compatibilidade do tema com os conteúdos curriculares da disciplina de Ciências, bem como o nível de escolaridade e o potencial de articulação interdisciplinar.

- **Intervenção prática: compostagem escolar**

A intervenção prática teve início em setembro de 2025, precedida por uma atividade teórica introdutória centrada na temática da compostagem e no reaproveitamento de resíduos orgânicos. Nessa etapa, foram abordados conceitos fundamentais relacionados à definição de compostagem, à classificação dos resíduos orgânicos, às etapas do processo e aos aspectos ambientais associados à prática, proporcionando aos estudantes o referencial teórico necessário para as atividades subsequentes. Estudos indicam que a integração de conteúdos de Educação Ambiental com práticas de compostagem contribui para o aprendizado significativo e para a promoção de hábitos sustentáveis no contexto escolar (Silva; Pereira, 2020; Lima et al., 2019).

A abordagem pedagógica adotada foi expositivo-dialogada, com o objetivo de estimular a participação ativa dos estudantes e a contextualização do conteúdo com a realidade escolar. Tal abordagem favorece a construção colaborativa do conhecimento e a reflexão crítica sobre práticas ambientais, corroborando a perspectiva de que a compostagem constitui uma estratégia educativa eficaz para sensibilização ambiental e interdisciplinaridade no ambiente escolar (Santos; Oliveira, 2018). As atividades teóricas foram realizadas em sala de aula, com apoio de recursos didáticos e momentos de diálogo entre os participantes (Figura 2).

Figura 2 – Atividade de exposição teórica sobre compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos na Escola Municipal José Neri de Oliveira, Doutor Severiano/RN.



Fonte: Autores (2026).

Na etapa prática, os estudantes participaram da montagem das composteiras sob a orientação das pesquisadoras responsáveis pelo estudo. Foram implantadas três composteiras verticais, em que adotou-se métodos distintos: compostagem convencional, vermicompostagem e compostagem com matéria orgânica triturada (Figura 3).

O processo de compostagem foi conduzido em etapas sequenciais, seguindo protocolos descritos na literatura científica sobre gerenciamento de resíduos orgânicos. Inicialmente, realizou-se a segregação dos resíduos orgânicos gerados no refeitório escolar, priorizando restos e cascas de frutas e hortaliças, procedimento que facilita o tratamento biológico da fração orgânica e reduz a contaminação por materiais não biodegradáveis, conforme abordagem geral do processo de compostagem de resíduos orgânicos descrita por Manea *et al.* (2024), que ressalta a importância de adequada triagem e preparação dos resíduos para compostagem eficiente (Manea *et al.*, 2024).

Em seguida, procedeu-se ao preparo do material, com trituração parcial dos resíduos em uma das composteiras para aumentar a superfície de contato e acelerar a decomposição microbiana; essa prática se alinha com recomendações que estabelecem que a redução do tamanho de partícula favorece a atividade microbiana e acelera a estabilização do material compostável (Kadir *et al.*, 2016).

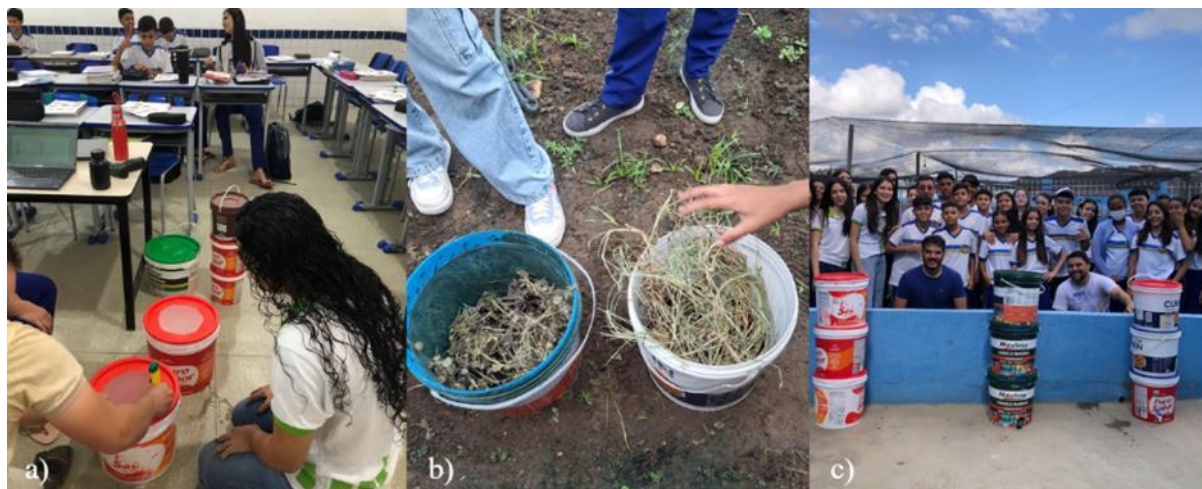
A etapa de organização em camadas, intercalando resíduos orgânicos úmidos com materiais secos como folhas e palha para manter o equilíbrio da relação

carbono/nitrogênio, baseou-se no entendimento de que o balanço entre fontes de carbono e nitrogênio é um dos principais parâmetros de controle do processo, influenciando a eficiência da decomposição e maturação do composto (Muhayodin *et al.*, 2021). A aeração periódica do material, realizada manualmente por meio de revolvimento, visou garantir condições aeróbias adequadas ao processo, prática consistente com o consenso de que a manutenção de oxigênio favorece a decomposição microbiológica aeróbia e minimiza odores e patógenos (Lin *et al.*, 2022). O monitoramento visual do processo de decomposição, considerando aspectos como odor, presença de insetos e alteração da textura do material, foi incluído como parâmetro qualitativo de avaliação das fases do processo, sendo esse tipo de observação amplamente citado em estudos de campo sobre compostagem doméstica e institucional (Ferreira & Silva, 2022).

Na composteira destinada à vermicompostagem, foram introduzidas minhocas da espécie *Eisenia fetida*, uma espécie amplamente utilizada em pesquisas de vermicompostagem devido à sua eficácia na conversão de resíduos orgânicos em composto rico em nutrientes e melhoria das propriedades físico-químicas do material final, conforme demonstrado em estudos sobre produção de vermicomposto com diferentes misturas de resíduos utilizando *Eisenia fetida* (Usta & Güven, 2024; Kapila *et al.*, 2024). Foram adotados cuidados específicos quanto à umidade e à temperatura para garantir a sobrevivência e a eficiência dos organismos decompositores, alinhados às condições ambientais favoráveis descritas na literatura sobre manejo de vermicompostagem com *Eisenia fetida* (PubMed, 2017).

O manejo das composteiras incluiu atividades semanais de revolvimento do material, controle de umidade e observação das condições gerais do processo, consistentes com protocolos de manejo usados em estudos experimentais de compostagem e vermicompostagem para assegurar um ambiente aeróbico e estimular a atividade biológica ao longo do tempo de tratamento (El-Mrini *et al.*, 2022). O acompanhamento do processo de compostagem foi realizado ao longo de aproximadamente 60 dias, período que tem sido considerado adequado em diversos estudos sobre vermicompostagem para observar as principais fases da decomposição da matéria orgânica e a formação de um composto parcialmente estabilizado com propriedades nutricionais e físico-químicas favoráveis ao uso como adubo orgânico (Usta & Güven, 2024; Kapila *et al.*, 2024).

Figura 3 – Etapas da montagem das composteiras verticais utilizadas no estudo: (a) preparação das estruturas com perfuração dos recipientes para aeração e drenagem; (b) preenchimento das composteiras com camadas de matéria seca, resíduos orgânicos e, no caso da vermicompostagem, inserção de minhocas; (c) composteiras finalizadas.



Fonte: Autores (2026).

Ao final do período de acompanhamento, o composto orgânico obtido foi destinado à horta escolar da instituição, sendo utilizado como condicionador do solo nos canteiros cultivados. Essa etapa permitiu a integração entre a prática da compostagem e as atividades pedagógicas desenvolvidas na horta escolar, reforçando o caráter educativo e sustentável da intervenção.

• Instrumento de coleta de dados

Para a coleta de dados, foi elaborado e aplicado um questionário estruturado junto a 28 alunos do 8º ano da EMJNO, com a finalidade de avaliar o nível de conhecimento prévio e a compreensão dos discentes acerca da temática da compostagem. O instrumento de coleta foi composto por cinco questões objetivas, conforme apresentado no Apêndice, elaboradas de forma clara e compatível com a faixa etária dos participantes, visando garantir a fidedignidade das respostas.

As questões contemplaram diferentes dimensões do processo de compostagem, abrangendo: (i) a compreensão conceitual sobre o que é a compostagem e sua finalidade; (ii) a identificação do subproduto líquido gerado durante o processo, conhecido como chorume ou biofertilizante líquido; (iii) o reconhecimento dos principais benefícios ambientais associados à prática da compostagem, como a redução de resíduos sólidos, a diminuição de impactos ambientais e a melhoria da qualidade do solo; (iv) o

conhecimento acerca dos resíduos orgânicos adequados para utilização nas composteiras, incluindo restos de alimentos e resíduos vegetais; e (v) aspectos técnicos relacionados à construção, ao manejo e ao funcionamento das composteiras, considerando critérios básicos de operação e manutenção.

A aplicação do questionário permitiu avaliar o nível de conhecimento dos alunos e a indicação da realização das ações educativas desenvolvidas, bem como o planejamento de estratégias pedagógicas voltadas à educação ambiental e à gestão sustentável dos resíduos orgânicos no ambiente escolar.

- **Ações educativas**

De forma complementar às intervenções práticas, foram desenvolvidas ações educativas voltadas ao acompanhamento do processo de compostagem, com o objetivo de reforçar os conteúdos abordados e estimular a reflexão crítica dos estudantes.

Essas ações incluíram exposições dialogadas, visitas periódicas às composteiras, dinâmicas coletivas e discussões orientadas sobre as etapas do processo de decomposição da matéria orgânica, realizadas em três momentos distintos ao longo do período de acompanhamento.

- **Análise de dados**

Os dados obtidos por meio do questionário foram organizados em tabelas no software Microsoft Excel, sendo as respostas quantificadas de acordo com sua frequência de ocorrência. A análise dos dados seguiu uma abordagem descritiva e interpretativa, compatível com a natureza qualitativa da pesquisa.

A pesquisa respeitou os princípios éticos aplicáveis a estudos envolvendo seres humanos, assegurando o anonimato dos participantes e a utilização dos dados exclusivamente para fins científicos e educacionais. A participação dos estudantes ocorreu de forma voluntária, mediante autorização da gestão escolar e acompanhamento dos docentes responsáveis.

Resultados e Discussão

- **Conceito de compostagem**

A análise das respostas revelou que 85,71% dos estudantes identificaram corretamente a compostagem como um processo de reciclagem de resíduos orgânicos que resulta na formação de adubo natural, denominado húmus. Por outro lado, 14,28% dos

participantes apresentaram respostas incompatíveis com o conceito científico do processo, associando-o, de forma equivocada, à transformação de resíduos inorgânicos ou à produção de adubos de natureza química (Tabela 1).

Tabela 1 – Concepções dos estudantes sobre o conceito de compostagem na Escola Municipal José Neri de Oliveira, Doutor Severiano, Rio Grande do Norte.

Concepção apresentada	Percentual (%)
Processo biológico associado à transformação incorreta de resíduos inorgânicos em adubo	7,14
Processo químico de caráter industrial	0,00
Processo de reciclagem de resíduos orgânicos com formação de húmus	85,71
Processo biológico sem participação de microrganismos	0,00
Processo biológico associado à produção de adubo químico	7,14

Fonte: Autores (2026).

O elevado índice de acertos indica um nível consistente de compreensão conceitual por parte dos discentes, refletindo a efetividade das estratégias pedagógicas adotadas ao longo da intervenção. A articulação entre conteúdos teóricos e atividades práticas mostrou-se determinante para a consolidação do conhecimento, uma vez que possibilitou aos alunos não apenas o contato conceitual com a temática, mas também a vivência direta do processo de compostagem no ambiente escolar. Essa aproximação empírica favoreceu a compreensão dos princípios que regem a compostagem, especialmente no que se refere ao papel dos microrganismos decompositores, à natureza biológica do processo e à utilização exclusiva de resíduos orgânicos como matéria-prima.

As respostas incorretas concentraram-se em alternativas que apresentavam termos semanticamente próximos ao conceito correto, porém cientificamente inadequados. Tal padrão sugere que os equívocos observados não decorrem de desconhecimento do tema, mas, possivelmente, de interpretações imprecisas dos enunciados ou de confusões conceituais pontuais, comuns em processos de aprendizagem em consolidação. Dessa forma, infere-se que a compreensão global sobre o conceito de compostagem foi satisfatória entre a maioria dos participantes.

A predominância de respostas corretas indica que a intervenção pedagógica foi eficaz na consolidação do conceito científico de compostagem, especialmente no que se refere à distinção entre resíduos orgânicos e inorgânicos e à natureza biológica do processo. Esse resultado sugere que estratégias educativas que articulam teoria e prática favorecem a aprendizagem significativa, permitindo que os estudantes construam o conhecimento de forma contextualizada e aplicada. Contudo, a presença de equívocos pontuais evidencia que o processo de aprendizagem ainda se encontra em consolidação, demandando ações educativas contínuas para o aprofundamento conceitual.

Segundo Silva *et al.* (2021); Santos e Araújo (2020) abordagens pedagógicas fundamentadas na articulação entre teoria e prática apresentam maior efetividade na consolidação de conceitos relacionados à educação ambiental, quando comparadas a métodos exclusivamente expositivos e a vivência prática em atividades ambientais contribui de forma significativa para a construção do conhecimento crítico e para a internalização de conceitos científicos, especialmente quando inserida no cotidiano escolar (Jacobi, 2003).

- **Subproduto líquido**

Os resultados demonstraram que 92,86% dos estudantes identificaram corretamente o chorume como o subproduto líquido resultante do processo de decomposição dos resíduos orgânicos, enquanto 7,14% apresentaram respostas incorretas, distribuídas entre as alternativas “óleo orgânico” (3,57%) e “resina natural” (3,57%) (Tabela 2). Não foram registradas marcações para as alternativas “seiva vegetal” e “água compostada”, o que indica um padrão consistente de respostas e reduz a ocorrência de concepções aleatórias.

Tabela 2 – Concepções dos estudantes sobre o subproduto líquido gerado no processo de compostagem na Escola Municipal José Neri de Oliveira, Doutor Severiano, Rio Grande do Norte.

Concepção apresentada	Percentual (%)
Óleo orgânico	3,57%
Chorume	92,86%
Resina natural	3,57%
Seiva vegetal	0,00%

Água compostada

0,00%

Fonte: Autores (2026).

O elevado percentual de acertos evidencia uma compreensão consolidada acerca da origem e da natureza do chorume, reconhecido pelos estudantes como um subproduto decorrente da liberação de líquidos dos resíduos orgânicos associados à atividade metabólica dos microrganismos decompositores ao longo da compostagem. Tal resultado sugere que os participantes assimilaram não apenas a nomenclatura do subproduto, mas também os processos biológicos envolvidos em sua formação, demonstrando avanço no entendimento dos mecanismos que regem a decomposição da matéria orgânica.

Esse desempenho pode ser diretamente relacionado à metodologia pedagógica empregada, que integrou momentos expositivos com atividades práticas de acompanhamento da composteira no ambiente escolar. A observação direta da liberação do líquido durante o processo de decomposição, associada à mediação pedagógica, favoreceu a construção de uma aprendizagem significativa, permitindo que os estudantes relacionassem o conceito teórico à dinâmica observada na prática. Essa abordagem contribuiu para reduzir abstrações excessivas e possibilitou a compreensão concreta dos subprodutos gerados.

As respostas incorretas, embora pouco frequentes, parecem estar associadas a confusões conceituais pontuais, especialmente pela associação indevida do chorume a outras substâncias líquidas presentes em contextos distintos, como processos industriais ou biológicos não relacionados à compostagem. Entretanto, a baixa incidência desses equívocos indica que tais interpretações não comprometem a compreensão geral do grupo. Além disso, a ausência de marcações nas alternativas “seiva vegetal” e “água compostada” reforça a clareza conceitual dos estudantes quanto à distinção entre fluidos de origem vegetal e o subproduto gerado pela decomposição de resíduos orgânicos.

Esses resultados apontam que atividades práticas associadas à observação direta do processo de decomposição contribuem significativamente para a compreensão dos produtos e subprodutos da compostagem, incluindo o chorume (Silva *et al.*, 2021; Santos e Araújo, 2020). Conforme destacado por Jacobi (2003), a contextualização do conteúdo ambiental aliada à vivência prática favorece a internalização dos conceitos científicos e reduz a ocorrência de concepções alternativas equivocadas. Segundo Oliveira *et al.*

(2019), a compostagem escolar promove avanços consistentes na compreensão dos processos biológicos envolvidos e no reconhecimento adequado de seus produtos.

A elevada taxa de acertos observada nesse item pode ser atribuída à vivência prática proporcionada pela observação direta do processo de compostagem, que permitiu aos estudantes identificar visualmente a liberação do subproduto líquido ao longo da decomposição da matéria orgânica. Essa experiência concreta contribuiu para a redução de abstrações excessivas e para a correta associação entre o conceito teórico e o fenômeno observado, reforçando a importância da aprendizagem experiencial no ensino de conteúdos relacionados à educação ambiental.

- **Benefícios da compostagem**

Como já mencionado, a compostagem constitui uma estratégia ambientalmente adequada para o manejo dos resíduos orgânicos, cuja responsabilidade extrapola a atuação exclusiva do poder público e se estende às ações cotidianas dos cidadãos, incluindo a comunidade escolar (Jacobi, 2003; Santos e Araújo, 2020). No contexto educacional, essa prática assume papel duplo, ao contribuir simultaneamente para a redução dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos e para a formação de uma consciência ambiental crítica, participativa e socialmente responsável (Loureiro, 2012; Silva *et al.*, 2021).

No ambiente escolar, o uso do composto orgânico oriundo da compostagem possibilita a aplicação prática desses conhecimentos em hortas pedagógicas e jardins, permitindo que os estudantes compreendam, de forma concreta, a ciclagem de nutrientes e a interdependência entre resíduos, solo e produção de alimentos (Santos e Araújo, 2020; Oliveira *et al.*, 2019). Ademais, a substituição parcial ou total de fertilizantes industrializados pelo adubo orgânico reduz potenciais impactos negativos ao solo, à água e à saúde humana, frequentemente associados ao uso indiscriminado de insumos químicos, ao mesmo tempo em que fortalece práticas agrícolas e educativas sustentáveis (Primavesi, 2014; Cantú, 2020).

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram que 50% dos estudantes assinalaram corretamente a alternativa relacionada à produção de adubo orgânico como principal benefício da compostagem (Tabela 3), demonstrando compreensão satisfatória sobre o produto final do processo. Esse resultado reflete a efetividade das atividades teóricas e práticas desenvolvidas, que enfatizaram a diferenciação entre adubos orgânicos

e fertilizantes químicos, bem como os benefícios ambientais associados ao uso de insumos naturais.

As alternativas “redução do volume de lixo orgânico produzido” e “diminuição da contaminação do solo devido ao chorume” foram selecionadas por 14,29% dos estudantes cada. Embora ambas representem benefícios reais da compostagem, esses resultados indicam dificuldades pontuais na interpretação do comando da questão, que solicitava a identificação da alternativa incorreta. No caso específico do chorume, o equívoco pode estar relacionado à percepção negativa historicamente atribuída a esse subproduto, frequentemente associado à poluição, desconsiderando seu potencial de uso como biofertilizante quando manejado de forma adequada e diluído corretamente.

A alternativa “redução da emissão de gás metano em lixões”, assinalada por 17,86% dos estudantes, também corresponde a um benefício reconhecido da compostagem, uma vez que a diminuição do envio de resíduos orgânicos para aterros e lixões contribui diretamente para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa. Esse resultado reforça a hipótese de que parte dos estudantes apresentou dificuldades de leitura atenta ou interpretação do enunciado, e não desconhecimento do conteúdo abordado.

Por fim, a alternativa “economia na compra de fertilizantes industrializados” apresentou o menor percentual de respostas (3,57%), apesar de também representar um benefício direto da compostagem. A baixa frequência dessa escolha sugere que os estudantes associam a compostagem prioritariamente aos benefícios ambientais e ecológicos, mais do que aos aspectos econômicos, o que é coerente com o enfoque pedagógico adotado durante a intervenção.

Tabela 3 – Benefícios da compostagem na Escola Municipal José Neri de Oliveira, Doutor Severiano, Rio Grande do Norte.

Concepção apresentada	Percentual (%)
Redução do volume de lixo orgânico produzido	14,29%
Redução da emissão de gás metano em lixões	17,86%
Produção de adubo químico para uso em hortas caseiras	50,00%
Diminuição da contaminação do solo devido ao chorume	14,29%
Economia na compra de fertilizantes industrializados	3,57%

Fonte: Autores (2026).

Nascimento *et al.* (2025) apontou em suas pesquisas que questões que exigem a identificação de exceções ou alternativas incorretas tendem a apresentar maior índice de erros, mesmo quando os estudantes demonstram domínio conceitual do tema, o que está associado, principalmente, a dificuldades de interpretação do enunciado. Santos e Araújo (2020) também verificaram que a associação entre atividades práticas de compostagem e discussões teóricas favorece a compreensão dos benefícios ambientais do processo, como a redução do volume de resíduos orgânicos, a diminuição da emissão de gases de efeito estufa e a economia no uso de fertilizantes industrializados. No entanto, esses autores destacam que conceitos relacionados à diferenciação entre adubo orgânico e adubo químico ainda podem gerar confusão em parte dos estudantes, especialmente quando apresentados em questões de múltipla escolha com termos semelhantes.

É importante fazer a ressalva de que, esse tipo de dificuldade encontrada no trabalho é recorrente em atividades avaliativas de educação ambiental e não necessariamente indica ausência de aprendizagem, mas sim a necessidade de reforço de estratégias que estimulem a leitura crítica e a análise cuidadosa dos comandos das questões.

- **Importância dos resíduos orgânicos**

Os resultados evidenciaram um índice de acerto de 100% por parte dos estudantes quanto à identificação dos resíduos orgânicos adequados para a prática da compostagem (Tabela 4), demonstrando domínio conceitual consistente sobre a seleção correta dos materiais a serem utilizados no processo. Os discentes reconheceram corretamente resíduos como restos de frutas, legumes e verduras, cascas de ovos e borra de café, o que indica compreensão acerca da natureza biodegradável desses materiais e de seu papel no processo de decomposição da matéria orgânica.

Tabela 4 - Resíduos orgânicos passíveis de utilização na compostagem na Escola Municipal José Neri de Oliveira, Doutor Severiano, Rio Grande do Norte.

Concepção apresentada	Percentual (%)
Restos de frutas, legumes, verduras, cascas de ovos, borra de café, entre outros	100,00
Restos de frutas, plásticos, verduras, cascas de ovos, borra de café, entre outros	0,00
Restos de carnes, legumes, verduras, cascas de ovos, borra de café, entre outros	0,00
Restos de frutas, legumes, detergentes, cascas de ovos, borra de café, entre outros	0,00
Restos de frutas, legumes, verduras, pilhas, borra de café, entre outros	0,00

Fonte: Autores (2026).

Esse resultado reflete não apenas o reconhecimento dos resíduos passíveis de compostagem, mas também a compreensão de sua importância para a qualidade do composto final. Resíduos orgânicos de origem vegetal constituem a principal fonte de carbono e nitrogênio, elementos essenciais para o equilíbrio da relação C/N, considerada um dos fatores determinantes para a eficiência do processo de compostagem. Sabe-se que, a adequada combinação desses resíduos favorece a atividade dos microrganismos decompositores, acelera a degradação da matéria orgânica e contribui para a formação de um composto estável, rico em nutrientes e biologicamente ativo.

Observou-se, ainda, que os estudantes demonstraram entendimento quanto à necessidade de priorizar resíduos não cítricos, reconhecendo que a adição excessiva de materiais cítricos pode provocar alterações indesejáveis no pH do composto, interferindo na atividade microbiana e, conseqüentemente, na eficiência do processo de decomposição. Da mesma forma, evidenciaram clareza conceitual ao apontar a importância de evitar a inclusão de carnes, alimentos gordurosos ou temperados, uma vez que esses resíduos podem gerar odores desagradáveis, favorecer a proliferação de insetos e microrganismos patogênicos, além de comprometer a qualidade sanitária e agrônômica do adubo final.

A correta seleção dos resíduos orgânicos também está diretamente relacionada à qualidade nutricional do composto produzido. Resíduos vegetais, como cascas de frutas

e restos de hortaliças, contribuem significativamente para o aporte de nutrientes essenciais às plantas, como potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes, além de promoverem melhorias na estrutura física do solo, aumento da capacidade de retenção de água e estímulo à atividade biológica. Nesse sentido, o reconhecimento adequado dos resíduos a serem utilizados reflete uma compreensão ampliada dos benefícios agrônômicos e ambientais associados à compostagem.

Vale destacar que, esse resultado já era esperado, considerando que a temática dos resíduos orgânicos foi amplamente trabalhada ao longo das intervenções pedagógicas, tanto em atividades teóricas quanto práticas. O envolvimento direto dos estudantes no processo de separação, seleção e manejo dos resíduos utilizados nas composteiras escolares proporcionou uma aprendizagem experiencial, favorecendo a internalização dos conceitos e a consolidação do conhecimento. Esse tipo de abordagem pedagógica contribui para a formação de hábitos sustentáveis, uma vez que permite aos estudantes compreenderem, de forma prática, a importância da correta destinação dos resíduos orgânicos e seu potencial de reaproveitamento.

De modo geral, pode-se dizer afirmar que a associação entre práticas educativas participativas e o acompanhamento contínuo do processo de compostagem no ambiente escolar é fundamental para o desenvolvimento de competências relacionadas à gestão sustentável de resíduos. Além de promover a aprendizagem de conteúdos científicos, essa vivência favorece a construção de uma consciência ambiental crítica, estimulando atitudes responsáveis que podem ser reproduzidas no cotidiano dos estudantes e de suas famílias, ampliando o alcance das ações de educação ambiental para além do espaço escolar.

- **Composteiras**

Os resultados indicaram que apenas 7,41% dos estudantes assinalaram corretamente a alternativa correspondente exclusivamente à afirmativa II, a qual descrevia a presença de minhocas em uma das composteiras, informação condizente com a prática efetivamente realizada durante a atividade pedagógica (Tabela 5). Esse percentual reduzido evidencia que, embora os estudantes tenham participado ativamente da construção e do manejo das composteiras, houve dificuldade na identificação precisa das proposições corretas quando apresentadas em um enunciado composto.

O baixo percentual de respostas corretas relacionado aos aspectos técnicos das composteiras indica que, embora os estudantes tenham desenvolvido uma compreensão

satisfatória dos conceitos gerais da compostagem, persistem dificuldades quanto ao domínio de procedimentos operacionais mais específicos. Isso confirma que o conhecimento técnico demanda maior tempo de exposição, repetição das práticas e acompanhamento sistemático, reforçando a necessidade de intervenções pedagógicas contínuas e mais direcionadas à operacionalização do processo de compostagem no ambiente escolar.

Tabela 5 – Identificação correta das afirmativas sobre as composteiras na Escola Municipal José Neri de Oliveira, Doutor Severiano, Rio Grande do Norte.

Alternativa assinalada	Percentual (%)
I e II	85,19
II e III	7,41
II	7,41
III	0,00
I e III	0,00

*Legenda: I: Foram produzidas três tipos de composteiras, duas iguais e uma diferente. II: Em uma das composteiras há minhocas. III: A torneira é implementada no penúltimo balde. IV: Não é realizado furos nas composteiras. Fonte: Autores (2026).

A maioria dos participantes (85,19%) optou pela alternativa “I e II”, demonstrando um equívoco de interpretação. Apesar de a afirmativa II estar correta, a afirmativa I não representava fielmente a realidade da atividade desenvolvida, uma vez que foram confeccionadas três composteiras verticais utilizando métodos distintos, e não duas composteiras iguais e uma diferente, como sugerido na proposição. Esse resultado sugere que a presença de uma afirmativa correta dentro da alternativa influenciou a escolha dos discentes, levando-os a considerar o conjunto como verdadeiro sem a análise criteriosa e individual de cada afirmativa.

Outra alternativa selecionada foi “II e III”, assinalada por 7,41% dos estudantes. Embora essa opção também incluísse a afirmativa II, considerada correta, a afirmativa III apresentava um erro técnico relevante, uma vez que a torneira para coleta do chorume foi instalada no último balde da composteira e não no penúltimo, como descrito na proposição. Esse dado indica que parte dos estudantes apresentou compreensão geral do funcionamento das composteiras, mas demonstrou dificuldade na recordação de detalhes técnicos específicos relacionados à sua estrutura e montagem.

As alternativas “III” e “I e III” não foram assinaladas por nenhum participante, o que indica que os estudantes reconheceram a incorreção dessas proposições quando analisadas isoladamente. Esse resultado sugere que os discentes possuem uma noção geral adequada sobre os elementos básicos das composteiras, porém encontram maior dificuldade quando confrontados com questões que exigem análise integrada, leitura atenta e memória de procedimentos técnicos detalhados.

Do ponto de vista técnico, as composteiras construídas no ambiente escolar contemplaram diferentes métodos de compostagem, permitindo aos estudantes o contato com distintos tipos de sistemas. Entre eles, destacam-se as composteiras aeróbias verticais, compostas por baldes empilhados e perfurados, que favorecem a circulação de oxigênio e aceleram o processo de decomposição, além de minimizarem a emissão de odores. Esse tipo de composteira é amplamente recomendado para ambientes escolares e residenciais, devido à sua simplicidade, baixo custo e facilidade de manejo.

Além disso, uma das composteiras utilizou o método da vermicompostagem, caracterizado pela presença de minhocas, que desempenham papel fundamental na fragmentação da matéria orgânica e na aceleração do processo de decomposição. A atuação das minhocas resulta na produção de um composto de elevada qualidade biológica, rico em nutrientes e microrganismos benéficos ao solo, além de um biofertilizante líquido com alto potencial agrônômico quando devidamente diluído.

A diferenciação entre os tipos de composteiras trabalhados durante a atividade pedagógica possibilitou aos estudantes compreenderem que a escolha do sistema de compostagem deve considerar fatores como disponibilidade de espaço, volume de resíduos gerados, tempo de decomposição desejado e finalidade do composto produzido. No entanto, os resultados indicam que, embora essa diferenciação tenha sido compreendida de forma prática, nem todos os detalhes técnicos foram plenamente assimilados ou retidos, especialmente quando exigida a análise comparativa entre os sistemas.

De modo geral, os dados evidenciam que a atividade contribuiu de forma significativa para a aprendizagem prática sobre compostagem e construção de composteiras, mas também revelam a necessidade de reforçar estratégias pedagógicas voltadas ao desenvolvimento da leitura crítica, da atenção aos detalhes técnicos e da interpretação cuidadosa de enunciados compostos. Esse tipo de dificuldade é recorrente em avaliações que exigem simultaneamente conhecimento conceitual, memória

procedimental e análise lógica, não configurando ausência de aprendizagem, mas indicando etapas ainda em consolidação no processo educativo.

Nascimento *et al.* (2025) destacaram que questões nas quais exigem maior tempo de leitura tendem a apresentar maior índice de erro, mesmo em contextos nos quais os estudantes demonstram elevado engajamento e participação nas atividades práticas. Segundo o autor, esses equívocos estão mais relacionados à falta de interpretação do enunciado do que à ausência de aprendizagem. Em consonância Jacobi *et al.* (2003) e Oliveira *et al.* (2025) também apontam que atividades práticas contextualizadas, como a compostagem escolar, promovem elevado interesse e participação dos estudantes, contribuindo consideravelmente para a aprendizagem significativa.

No entanto, ficou nítido a necessidade de estratégias pedagógicas complementares que estimulem o desenvolvimento da leitura crítica e da atenção aos detalhes, especialmente em avaliações formais. Pois, apesar das dificuldades pontuais observadas na interpretação da questão, foi obtido resultados satisfatórios, com participação homogênea da turma nas atividades práticas e dinâmicas pedagógicas, reforçando o potencial da compostagem como ferramenta educativa no contexto escolar.

Importante destacar que, os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do projeto indicam que a intervenção pedagógica baseada na compostagem foi eficaz tanto no aspecto ambiental quanto educacional. Os dados provenientes dos questionários evidenciaram que a maioria dos participantes adquiriu conhecimento adequado acerca do conceito de compostagem, dos resíduos orgânicos passíveis de utilização, dos benefícios ambientais associados ao processo e das formas de aproveitamento do adubo produzido.

A articulação entre atividades teóricas e práticas favoreceu a aprendizagem significativa, permitindo aos estudantes compreenderem, de forma aplicada, a importância da separação correta dos resíduos orgânicos e o papel da compostagem como alternativa sustentável para a redução do volume de resíduos destinados ao descarte. Além disso, observou-se que o projeto estimulou a reflexão crítica sobre hábitos de consumo e descarte, fortalecendo o pensamento ecológico e promovendo atitudes mais conscientes e responsáveis.

Nessa perspectiva, ficou evidenciado a relevância da compostagem na redução de impactos ambientais, na diminuição do volume de lixo orgânico e na produção de adubo natural passível de utilização em hortas e jardins escolares. A elevada aceitação da proposta pelos participantes reforça a viabilidade da implementação de ações dessa

natureza no ambiente escolar, destacando seu potencial como ferramenta educativa para a promoção da educação ambiental e da formação cidadã.

- **Recomendações e perspectivas para o fortalecimento da compostagem no ambiente escolar**

Assim, recomenda-se que a temática da compostagem e do manejo dos resíduos orgânicos seja incorporada de forma sistemática e permanente ao contexto escolar, superando ações isoladas e assumindo caráter estruturante no projeto pedagógico institucional. A consolidação dessas práticas poderá contribuir significativamente para a formação de uma consciência ambiental crítica, estimulando nos estudantes valores relacionados à responsabilidade socioambiental, à redução de resíduos e ao entendimento dos processos ecológicos envolvidos na ciclagem da matéria orgânica.

Sugere-se a ampliação e a continuidade das atividades práticas vinculadas à compostagem, de modo a favorecer a aprendizagem significativa por meio da vivência direta, articulando teoria e prática e possibilitando a integração com diferentes componentes curriculares. Essa abordagem interdisciplinar tende a potencializar a compreensão dos conteúdos e a contextualização do conhecimento científico com a realidade cotidiana dos estudantes.

Destaca-se, ainda, a importância da capacitação contínua dos docentes e demais profissionais da escola, garantindo o adequado manejo das composteiras e o aprofundamento conceitual acerca da gestão de resíduos sólidos, sustentabilidade e educação ambiental. Por fim, recomenda-se que futuras iniciativas e pesquisas considerem o acompanhamento dos resultados pedagógicos e ambientais ao longo do tempo, bem como a ampliação das ações para além do espaço escolar, envolvendo a comunidade local e fortalecendo o papel da escola como agente promotor de práticas sustentáveis e de transformação socioambiental.

Considerações Finais

Concluiu-se que a pesquisa alcançou os objetivos propostos ao demonstrar que a compostagem se configura como uma estratégia pedagógica consistente e eficaz para o fortalecimento da educação ambiental no ambiente escolar, bem como estipulou-se de uma importância significativa dentro das instituições de ensino, pondo em consideração o alto engajamento e compreensão dos estudantes. A experiência desenvolvida evidenciou o potencial da atividade para articular conhecimentos teóricos e práticos,

favorecer o protagonismo discente e estimular a compreensão crítica acerca da sustentabilidade, da responsabilidade socioambiental e da gestão adequada dos resíduos orgânicos.

Apesar dos resultados positivos alcançados, algumas limitações devem ser consideradas na interpretação dos dados, como o número restrito de participantes, a realização do estudo em uma única instituição de ensino e a utilização de questionários como principal instrumento de coleta de dados, baseados na percepção dos estudantes. Além disso, a avaliação concentrou-se em um período relativamente curto de acompanhamento da intervenção pedagógica. Tais limitações não comprometem os resultados obtidos, mas indicam a necessidade de estudos futuros que contemplem amostras ampliadas, diferentes contextos escolares e análises de médio e longo prazo.

Observou-se que o uso das composteiras como recurso didático contribuiu para a aprendizagem significativa, ao permitir que os estudantes vivenciassem, de forma concreta, processos ecológicos relacionados à ciclagem da matéria orgânica, ampliando a percepção sobre o impacto das ações humanas no meio ambiente. Nesse sentido, a compostagem mostrou-se não apenas uma prática ambientalmente adequada, mas também um instrumento educativo capaz de promover mudanças atitudinais e comportamentais no contexto escolar.

Diante do exposto, conclui-se que a compostagem escolar constitui uma estratégia pedagógica eficaz para a promoção da educação ambiental, ao integrar conhecimentos científicos, práticas sustentáveis e participação ativa dos estudantes. Quando adequadamente planejada e acompanhada, essa prática contribui para o desenvolvimento da consciência ambiental, do protagonismo discente e da responsabilidade socioambiental, além de alinhar-se aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Assim, a ampliação e a institucionalização de iniciativas de compostagem no ambiente escolar podem fortalecer a formação cidadã e consolidar a escola como espaço estratégico de transformação socioambiental.

Referências

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo: ABRELPE, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 5 out. 2025.

ANTUNES, L. F. S. *et al.* Produção de mudas de hortaliças: gongocomposto versus vermicomposto. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Produ%C3%A7%C3%A3o+de+mudas+de+hortali%C3%A7as+gongocomposto+versus+vermicomposto>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BARBOSA, A. P. F. *et al.* Reaproveitamento de resíduos sólidos orgânicos oriundos da merenda escolar por meio da compostagem. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 1161–1168, 2019. DOI: 10.34115/basr.v3i2.1163. Acesso em: 18 jul. 2025.

BERNAL, M. P. *et al.* Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 100, n. 22, p. 5444–5453, 2009. Acesso em: 20 dez. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 jul. 2025.

CASTRO, A. C. L.; FERREIRA, T. E. D.; PANARELLI, E. A.; FONTES, K. D. S. A. Compostagem como instrumento de educação ambiental em escolas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e410101018863, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.18863. Acesso em: 22 jul. 2025.

CONCEIÇÃO, J. T. P. *et al.* Desafios da gestão de resíduos sólidos orgânicos urbanos e a sua contribuição para a arborização urbana. **Revista Geociências**, v. 20, n. 2, p. 67–81, 2021. DOI: 10.33947/1981-741X-v20n2-4877. Acesso em: 25 jul. 2025.

DE MORAES, F. A.; SHUVARTZ, M.; PARANHOS, R. D. A educação ambiental em busca do saber ambiental nas instituições de ensino superior. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 20, 2008. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?q=A+educa%C3%A7%C3%A3o+ambiental+em+busca+do+saber+ambiental+nas+institui%C3%A7%C3%B5es+de+ensino+superior>. Acesso em: 28 jul. 2025.

EL-MRINI, S. *et al.* Effect of initial C/N ratio and turning frequency on quality of final compost. **Journal of Engineering and Applied Science**, 2022. Acesso em: 9 dez. 2025.

EVANGELISTA, R. D. *et al.* Metodologia dos três momentos pedagógicos como ferramenta para ensino da educação ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 323–339, 2025. DOI: 10.34024/revbea.2025.v20.18925. Acesso em: 2 ago. 2025.

FELICORI, T. C.; FRANCO, R. A. S. R. A prática da compostagem como agente de educação ambiental transformadora no Instituto Federal de Minas Gerais. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5789. Acesso em: 5 ago. 2025.

FERREIRA, I. C.; SILVA, J. M. **Técnicas para compostagem doméstica de resíduos orgânicos**: uma revisão de literatura. [S.l.]: ANAP, 2022. Acesso em: 9 dez. 2025.

FONTES, K. D. S. A. *et al.* Composting as an environmental education instrument in schools. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.18863. Acesso em: 8 ago. 2025.

FRANCELIN, L. P.; CORTEZ, A. T. C. Compostagem: por uma escola mais sustentável. **Ciência Geográfica**, v. 18, n. 1, p. 116–130, 2014. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?q=Compostagem+por+uma+escola+mais+sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 12 ago. 2025.

GARCIA, S. S. R. *et al.* Análise comparativa de adubos orgânicos oriundos de diferentes tipos de compostagem. **Interfaces Científicas – Saúde e Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 115–126, 2020. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?q=An%C3%A1lise+comparativa+de+adubos+org%C3%A2nicos+oriundos+de+diferentes+tipos+de+compostagem>. Acesso em: 15 ago. 2025.

GUERRA, A. L. R. Pesquisa qualitativa e seus fundamentos na investigação científica. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 7, p. 1–15, 2024. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?q=Pesquisa+qualitativa+e+seus+fundamentos+na+investiga%C3%A7%C3%A3o+cient%C3%ADfica>. Acesso em: 18 ago. 2025.

INÁCIO, Caio de Tasso; MILLER, Paulo Roberto Monteiro. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. Acesso em: 18 dez. 2025.

JACOBI, P. R. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, n. 118, p. 189–205, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cp/a/3zJ6Zk4yZwNw7m8jZyF9KpH/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

KADIR, A. A. *et al.* An Overview of Organic Waste in Composting. **MATEC Web of Conferences**, 2016. Acesso em: 5 dez. 2025.

KAPILA, R. *et al.* Compositional evaluation of vermicompost prepared from different organic wastes using *Eisenia fetida*. **Indian Journal of Agricultural Research**, v. 58, n. 3, p. 468–473, 2024.

KIEHL, Edison José. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 6. ed. Piracicaba: Edison José Kiehl, 2012. Acesso em: 17 dez. 2025.

KRUGER, A. D. M.; SPECK, R. Â. Ecopedagogia no ensino de Ciências e Biologia: promovendo a consciência ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 313–339, 2025. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?q=Ecopedagogia+no+ensino+de+Ci%C3%A4ncias+e+Biologia>. Acesso em: 25 ago. 2025.

LIN, C. *et al.* Composting and its application in bioremediation of organic waste. **PMC**, 2022.

MANEA, E. E. *et al.* Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste. **Sustainability**, v. 16, n. 15, p. 6329, 2024. Acesso em: 5 dez. 2025.

MONTEIRO, J. A. V. Benefícios da compostagem doméstica de resíduos orgânicos.

Revista Educação Ambiental em Ação, n. 56, 2016. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Benef%C3%ADcios+da+compostagem+dom%C3%A9stica+de+res%C3%ADuos+org%C3%A2nicos>. Acesso em: 28 ago. 2025.

MUHAYODIN, F. *et al.* **A Review of Composting Process Models of Organic Solid Waste with a Focus on C, N, P and K**. ResearchGate, 2021. Acesso em: 5 dez. 2025.

NASCIMENTO, N. K. M.; DANTAS, L.; LOBÃO, R. N. R. **Dificuldades de leitura e interpretação textual**. [S.l.]: Editora Realize, 2025. Disponível em:

https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2025/TRABALHO_COMPLETO_EV214_ID10042_TB2795_30102025214047.pdf. Acesso em: 2 out. 2025.

OLIVEIRA, C.; FERNANDES, J. **Manual de compostagem doméstica com minhocas**. Guarulhos: Egitto Comercial, 2018. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Manual+de+compostagem+dom%C3%A9stica+com+minhocas+Oliveira+Fernandes>. Acesso em: 30 ago. 2025.

OLIVEIRA, M. S.; SOUZA, R. F.; LIMA, A. C. Minicompostagem ecológica: uma estratégia de Educação Ambiental em escolas de educação básica no município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 102–118, 2019. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Minicompostagem+ecol%C3%B3gica+Lages>. Acesso em: 2 set. 2025.

OLIVEIRA, S. R. S. *et al.* A compostagem como estratégia multidisciplinar para promover a educação ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 80–92, 2025. DOI: 10.34024/revbea.2025.v20.19630. Acesso em: 5 set. 2025.

OLIVEIRA CARNEIRO, G. *et al.* Avaliação da qualidade do composto orgânico produzido por meio de compostagem doméstica. **Revista Geama**, v. 10, n. 1, p. 20–27, 2024. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Avalia%C3%A7%C3%A3o+da+qualidade+do+composto+org%C3%A2nico+produzido+por+meio+de+compostagem+dom%C3%A9stica>. Acesso em: 8 set. 2025.

OLIVEIRA JÚNIOR, D. D.; SANTOS, E. K. A.; PEIXOTO, R. A. A compostagem como ferramenta de reciclagem dos resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 417–424, 2023. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=A+compostagem+como+ferramenta+de+reciclagem+dos+res%C3%ADuos+org%C3%A2nicos>. Acesso em: 10 set. 2025.

PONTES, J. J. F. *et al.* O uso da prática da compostagem orgânica numa escola pública da Paraíba como ferramenta facilitadora do ensino de química. **Caderno Impacto em Extensão**, v. 5, n. 1, 2025. Acesso em: 2 dez. 2025.

SANTANA, V. M.; SILVA, G. M. Aprendizagem baseada em projetos: possibilidade didática de implantação de hortas escolares. **Revista Educação em Páginas**, v. 1, p. e11716, 2022. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Aprendizagem+baseada+em+projetos+hortas+escolares>. Acesso em: 12 set. 2025.

SANTOS, J. P.; ARAÚJO, M. S. Compostagem como ferramenta pedagógica no ensino fundamental. **Revista Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 21, n. 3, p. 234–242, 2020. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Compostagem+como+ferramenta+pedag%C3%B3gica+no+ensino+fundamental>. Acesso em: 15 set. 2025.

SILVA, A. P. F. N.; CAVALCANTI, E. L. D. Experimentação no ensino de ciências: a compostagem como estratégia lúdica na educação ambiental. **Revista Tecné, Episteme y Didaxis**, número especial, p. 602–608, 2021. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Experimenta%C3%A7%C3%A3o+no+ensino+de+ci%C3%A2ncias+compostagem>. Acesso em: 18 set. 2025.

SILVA, E. F.; COSTA, R. S.; ALMEIDA, T. R. Proposta pedagógica interdisciplinar realizada a partir da utilização da composteira numa horta escolar urbana. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 35, 2018. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Proposta+pedag%C3%B3gica+interdisciplinar+composteira+horta+escolar>. Acesso em: 20 set. 2025.

SILVA, K. N. *et al.* Compostagem de resíduos sólidos orgânicos como ferramenta da educação ambiental para aprendizagem e desenvolvimento social. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 16, n. 41, 2020. DOI: 10.3895/rts.v16n41.11811. Acesso em: 27 nov. 2025.

SILVA, T. E. *et al.* O processo de compostagem direto no solo da horta escolar. In: **CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO**, 9., 2023. Anais [...] [S.l.]: CONEDU, 2023. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=O+processo+de+compostagem+direto+no+solo+da+horta+escolar>. Acesso em: 22 set. 2025.

SOARES, A. L. C. *et al.* A importância da compostagem nos núcleos de ensino ambiental. **Energia na Agricultura**, v. 39, p. 112–123, 2024. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=A+import%C3%A2ncia+da+compostagem+nos+n%C3%BAcleos+de+ensino+ambiental>. Acesso em: 25 set. 2025.

USTA, A. N.; GÜVEN, H. Vermicomposting organic waste with *Eisenia fetida* using a continuous flow-through reactor. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 2024. Acesso em: 9 dez. 2025.

WALGENBACH, P. J. S.; GRACIANO, M. J. S.; DIAS, L. D. Compostagem de resíduos orgânicos e educação ambiental. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 14, n. 1, p. 170–185, 2025. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?q=Compostagem+de+res%C3%ADduos+org%C3%A2nicos+e+educa%C3%A7%C3%A3o+ambiental+Fronteiras>. Acesso em: 28 set. 2025.

WWF – World Wide Fund for Nature. **Solucionar a poluição plástica**: transparência e responsabilização. Brasília: WWF-Brasil, 2020. Disponível em:

<https://www.wwf.org.br/?77702/Solucionar-a-poluicao-plastica>. Acesso em: 12 out. 2025.

WWF – World Wide Fund for Nature. **Solucionar a poluição plástica**: transparência e responsabilidade. Brasília: WWF-Brasil, [s.d.]. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/poluicao_plastica/. Acesso em: 15 out. 2025.

CAPÍTULO 3

BIOINVASÃO E TECNOLOGIA: O PAPEL DAS PLATAFORMAS DIGITAIS NA CATALOGAÇÃO E MANEJO DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS NO RIO GRANDE DO NORTE

BIOINVASION AND TECHNOLOGY: THE ROLE OF DIGITAL PLATFORMS IN THE CATALOGING AND MANAGEMENT OF INVASIVE ALIEN SPECIES IN RIO GRANDE DO NORTE

DOI: <https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.03>

Submetido em: 10/02/2026

Revisado em: 11/02/2026

Publicado em: 12/02/2026

Áurea Karla Bezerra e Cunha

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) –
Campus Pau dos Ferros.

<http://lattes.cnpq.br/9221313679684797>

Thiciany Maria Lima Custódio

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) –
Campus Pau dos Ferros.

<http://lattes.cnpq.br/0603554774434383>

Maria José de Holanda Leite

Doutora em Ciências Florestais. Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Pau dos Ferros.

<https://orcid.org/0000-0003-4154-3901>

<http://lattes.cnpq.br/9553311470144119>

Denise Maria Santos

Doutora em Geociências. Instituto Dom José de Educação e Cultura, vinculado a
Universidade Estadual Vale do Acaraú IDJ/UVA.

<https://orcid.org/0000-0001-8886-6439>

<http://lattes.cnpq.br/5971649947403143>

Monica Crisóstomo Padrenosso

Licenciada em Gestão de Recursos Humanos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Pau dos Ferros.

<http://lattes.cnpq.br/0851509865155413>

Resumo

As espécies exóticas invasoras representam uma das maiores ameaças à biodiversidade global, causando desequilíbrios ecológicos e prejuízos econômicos severos. No Rio Grande do Norte, espécies como a algaroba (*Prosopis juliflora*) e o capim-gordura (*Melinis minutiflora*) alteram biomas sensíveis como a Caatinga e a Mata Atlântica. Este trabalho analisa os impactos dessas invasões e a eficácia do uso de plataformas digitais e da Ciência Cidadã como estratégias de monitoramento. Por meio de uma revisão bibliográfica, discute-se como o uso de ferramentas interativas e bancos de dados online pode potencializar a educação ambiental e o manejo sustentável. Conclui-se que a criação de um repositório digital específico para a realidade potiguar é fundamental para a rápida detecção de invasoras e para o engajamento comunitário na preservação dos ecossistemas locais.

Palavras-Chave: Ciência Cidadã; Biologia; Sistemas de Informação Ambiental.

Abstract

Invasive alien species represent one of the greatest threats to global biodiversity, causing ecological imbalances and severe economic losses. In Rio Grande do Norte, species such as the mesquite (*Prosopis juliflora*) and molasses grass (*Melinis minutiflora*) alter sensitive biomes like the Caatinga and the Atlantic Forest. This study analyzes the impacts of these invasions and the effectiveness of using digital platforms and Citizen Science as monitoring strategies. Through a bibliographic review, it discusses how the use of interactive tools and online databases can enhance environmental education and sustainable management. It is concluded that the creation of a digital repository specifically tailored to the local reality of Rio Grande do Norte is fundamental for the rapid detection of invasive species and for community engagement in the preservation of local ecosystems.

Keywords: Citizen Science; Biology; Environmental Information Systems

Introdução

A introdução de espécies exóticas invasoras (EEI) é reconhecida mundialmente como a segunda maior causa de perda de biodiversidade, superada apenas pela destruição direta de habitats. No Brasil, o marco regulatório estabelecido pela Convenção sobre Diversidade Biológica enfatiza a urgência de medidas de prevenção e controle (BRASIL, 2009). Essas espécies, ao serem translocadas de seus habitats originais, exploram nichos ecológicos sem a pressão de predadores naturais, resultando em uma competição desigual com a flora nativa (RICHARDSON *et al.*, 2011).

No contexto do Rio Grande do Norte, a problemática assume contornos críticos devido à fragilidade de seus ecossistemas semiáridos e costeiros. A presença consolidada

da algaroba (*Prosopis juliflora*) e a dispersão da orquídea-monge (*Oeceoclades maculata*) exemplificam como a bioinvasão altera a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade hídrica no solo (MOURA, 2017). Além do dano ecológico, os impactos econômicos são latentes, afetando desde a produtividade agrícola até a infraestrutura hidrelétrica e o potencial turístico da região (PIMENTEL *et al.*, 2005).

Diante da complexidade do manejo que envolve altos custos operacionais e riscos ambientais no uso de métodos químicos a tecnologia surge como uma aliada estratégica. Plataformas digitais e aplicativos baseados em Inteligência Artificial, como o *iNaturalist* e o *Pl@ntNet*, têm revolucionado a identificação taxonômica e o mapeamento geoespacial dessas espécies (MARTIN *et al.*, 2012). A integração entre educação ambiental e ferramentas digitais permite o fortalecimento da "Ciência Cidadã", onde a comunidade local deixa de ser apenas espectadora e passa a atuar como agente ativo no monitoramento ambiental.

Analisar os impactos ambientais e socioeconômicos das espécies exóticas invasoras no Rio Grande do Norte, investigando o potencial das plataformas digitais de catalogação como ferramentas de suporte ao manejo sustentável e à educação ambiental.

Metodologia

Trata-se de uma pesquisa de revisão bibliográfica de natureza qualitativa e caráter exploratório. A coleta de dados foi realizada em bases de dados científicas como Google Acadêmico, SciELO e repositórios institucionais da EMBRAPA e órgãos governamentais. Os descritores utilizados foram: "Agricultura Familiar", "Controle de Pragas", "Sustentabilidade Rural" e "Tecnologias de Informação". Foram selecionados artigos, relatórios técnicos e documentos governamentais publicados entre 2001 e 2024, priorizando fontes que discutem a interseção entre manejo agrícola e inclusão digital.

Desenvolvimento

• Espécies exóticas invasoras e impactos no ecossistema e na economia local

As espécies exóticas invasoras representam uma grave ameaça à biodiversidade no Brasil, alterando ecossistemas, competindo com espécies nativas e causando prejuízos ambientais, econômicos e sociais. Exemplos conhecidos incluem o javali (*Sus scrofa*), que impacta ecossistemas e áreas agrícolas, e o mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), que compromete a qualidade de sistemas aquáticos e infraestrutura hidrelétrica. A

expansão dessas espécies está frequentemente associada à introdução acidental ou intencional de atividades humanas, exigindo ações de manejo e controle. A Convenção sobre Diversidade Biológica destaca a importância de prevenir e mitigar os impactos causados por essas invasões (Brasil, 2009; Ziller; Dechoune, 2022).

No Rio Grande do Norte, as espécies exóticas invasoras também são uma preocupação crescente, principalmente em ecossistemas como a Caatinga e a Mata Atlântica. Um exemplo é a *Oeceoclades maculata* (Figura 1), uma orquídea africana que se adaptou aos habitats do estado, competindo com plantas nativas. Outra espécie de destaque é a algaroba (*Prosopis juliflora*) (Figura 2), que se disseminou amplamente, modificando a estrutura do solo e afetando a flora local.

Essas invasões estão ligadas ao processo de urbanização e ao uso intensivo do solo, reforçando a necessidade de medidas preventivas e manejo sustentável para mitigar os impactos ambientais (Moura, 2017; Fauna e flora do RN, 2024).

Figura 1. Orquídea monge (*Oeceoclades maculata*).



Fonte: Google (2024).

Figura 2. Algaroba (*Prosopis juliflora*).



Fonte: Google (2024).

As espécies exóticas invasoras vegetais são exemplos de plantas que, quando introduzidas fora de seus habitats nativos, causam desequilíbrios ecológicos profundos. Elas se destacam pela alta capacidade de adaptação e pela exploração eficaz de recursos, como nutrientes, luz e espaço. Além disso, apresentam alta taxa de reprodução e métodos eficientes de dispersão, como a produção abundante de sementes, que podem ser transportadas pelo vento, água ou animais (Richardson *et al.*, 2011). Tais características favorecem sua proliferação em novos ecossistemas, onde competem com as espécies nativas, prejudicando a biodiversidade local e os processos ecológicos.

A invasão de espécies exóticas pode resultar em alterações significativas nos ciclos de nutrientes, destruição de habitats e até a extinção de espécies nativas (Pimentel *et al.*, 2005). Um exemplo típico de planta invasora no Brasil é o jacinto-de-água (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), que, além de prejudicar a qualidade da água, interfere nas atividades pesqueiras e no transporte aquaviário (Gollnisch; Prata, 2022). Outro exemplo é a mimosa (*Mimosa pigra* L.), que afeta áreas agrícolas e de pastagem, gerando custos elevados de manejo.

As espécies exóticas invasoras não afetam apenas a biodiversidade, mas também os aspectos econômicos e sociais de uma região. A competição por recursos com as espécies nativas pode reduzir a produtividade agrícola, principalmente em culturas sensíveis. Além disso, essas espécies podem alterar os serviços ecossistêmicos, como a

qualidade da água e a fertilidade do solo, impactando diretamente a economia local (Pimentel *et al.*, 2005).

No Rio Grande do Norte, as invasões de espécies como o capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) (Figura 3) e a acácia (*Acacia mangium* Willd.) (Figura 4) têm se mostrado problemáticas para a agricultura e pecuária, afetando tanto a vegetação nativa quanto a qualidade das pastagens. Essas espécies podem reduzir a produtividade de pastagens, aumentar o custo de manejo e até mesmo prejudicar a atividade de apicultura, devido ao impacto na flora local (Oliveira *et al.*, 2015). O turismo, especialmente nas áreas de ecoturismo e turismo de natureza, também pode ser afetado, pois muitas espécies invasoras alteram a paisagem natural, reduzindo o valor turístico de determinadas áreas

Figura 3. Capim-gordura (*Melinis minutiflora*).



Fonte: Google (2024).

Figura 4. Acácia (*Acacia mangium*).



Fonte: Google (2024).

- **Desafios no controle de espécies exóticas invasoras e resiliência dos ecossistemas**

O controle de espécies invasoras é um desafio complexo que envolve vários métodos de manejo, como controle mecânico, químico e biológico. Cada um desses métodos apresenta limitações e custos. O controle mecânico, como a remoção manual ou o uso de máquinas para erradicar plantas invasoras, pode ser eficaz, mas é dispendioso e demorado. O controle químico, que utiliza herbicidas, pode ser prejudicial ao meio ambiente, afetando plantas e animais nativos (Lal *et al.*, 2019). Já o controle biológico, que envolve a introdução de inimigos naturais das espécies invasoras, é promissor, mas apresenta riscos de desequilíbrios ecológicos se não for bem monitorado.

Além disso, a falta de políticas públicas e a limitação de recursos financeiros muitas vezes dificultam a implementação de programas eficazes de controle. A legislação ambiental e a falta de fiscalização também podem ser entraves significativos (Higgins *et al.*, 2001).

A abordagem sustentável no controle de espécies exóticas invasoras está diretamente relacionada à restauração ecológica. De acordo com Hobbs e Harris (2001), a restauração de ecossistemas deve ser focada na recuperação da biodiversidade e na restauração dos serviços ecossistêmicos, sendo fundamental para a resiliência dos

ecossistemas a longo prazo. Controlar a invasão de espécies exóticas é uma etapa crucial nesse processo, pois muitas delas alteram processos ecológicos, como a ciclagem de nutrientes, que são essenciais para a saúde dos ecossistemas.

- **Educação ambiental e a inclusão da participação comunitária no processo de catalogação**

A catalogação dessas espécies invasoras é essencial para a definição de estratégias de controle e recuperação de áreas invadidas. Um sistema de catalogação eficiente possibilita o monitoramento das áreas mais afetadas e a aplicação de estratégias adequadas de manejo e controle. Nesse contexto, a educação ambiental desempenha papel crucial, pois sensibiliza a população para os riscos associados à introdução de espécies exóticas e promove práticas sustentáveis de manejo (Hollweg *et al.*, 2011). Programas educativos, campanhas de conscientização pública e plataformas digitais, como websites interativos, são ferramentas eficazes para o engajamento da comunidade e a promoção da conservação ambiental.

A participação comunitária é essencial para o sucesso de qualquer iniciativa de gestão ambiental, incluindo o controle de espécies invasoras. Plataformas colaborativas, como iNaturalist, têm sido empregadas com sucesso em vários países para permitir que cidadãos se envolvam ativamente na catalogação de espécies, seja para monitoramento ou controle de invasões (Martin *et al.*, 2012). A criação de um website educativo para o Rio Grande do Norte pode seguir esse modelo, permitindo que a comunidade local seja informada acerca da presença de espécies invasoras e contribua com feedbacks valiosos para o crescimento do site através de discussões.

- **Uso de plataformas digitais na identificação de plantas invasoras**

Estudos apontam que plataformas educativas online são eficazes na conscientização sobre questões ambientais, especialmente quando combinadas com recursos interativos, como quizzes, feedback em tempo real e fóruns de discussão, que incentivam o aprendizado ativo e a troca de informações entre os participantes (Clark; Mayer, 2016).

Com o avanço da tecnologia, especialmente nas áreas de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina, novas ferramentas digitais têm sido desenvolvidas para identificar e monitorar plantas invasoras de maneira eficiente. Essas plataformas, especialmente sites e aplicativos, são cruciais para a rápida detecção de espécies exóticas

invasoras em diferentes ecossistemas, além de oferecerem suporte a produtores rurais no manejo dessas plantas.

Uma das plataformas mais conhecidas para a identificação de espécies vegetais é o iNaturalist, uma rede social que permite aos usuários registrar, identificar e discutir observações de flora e fauna em tempo real. Esse site tem sido uma ferramenta importante não apenas para pesquisadores, mas também para cidadãos e agricultores que desejam identificar rapidamente espécies invasoras em suas propriedades. Os usuários podem tirar fotos de plantas e submetê-las para identificação, com a ajuda de uma comunidade global de especialistas e outros usuários, o que aumenta a precisão das informações (Martin *et al.*, 2012).

A utilização de plataformas como Pl@ntNet, que permite a identificação de plantas por meio de imagens, também é uma ferramenta valiosa para o controle de espécies invasoras. Com a integração de algoritmos de reconhecimento de imagem, essas plataformas conseguem comparar as fotos enviadas com um banco de dados de espécies e fornecer sugestões precisas para a identificação. No caso do Brasil, um site adaptado à realidade local poderia ser um recurso útil para profissionais de meio ambiente, por exemplo, permitindo a catalogação de espécies invasoras típicas da região e fornecendo informações detalhadas sobre como controlá-las (Santos *et al.*, 2020).

Além disso, essas plataformas digitais podem servir como educadores virtuais, oferecendo recursos educativos sobre como as plantas invasoras impactam a fauna local e a saúde dos ecossistemas. Sites especializados também podem fornecer dados atualizados sobre as melhores práticas para o controle dessas espécies, incluindo métodos ecológicos e sustentáveis de manejo, como o uso de técnicas de controle biológico e a reintrodução de espécies nativas (Baker *et al.*, 2013).

Assim, a criação de um website específico para a catalogação de espécies exóticas invasoras no Rio Grande do Norte é uma iniciativa fundamental para consolidar a educação ambiental e o manejo sustentável no estado. Este site não apenas facilitará a identificação e monitoramento dessas espécies, mas também servirá como um repositório centralizado de informações, acessível a produtores rurais, pesquisadores e à comunidade em geral. Ao proporcionar uma plataforma interativa, o site pode informar e conscientizar a população local sobre os impactos ambientais e econômicos causados pelas plantas invasoras. Além disso, ao integrar ferramentas de fácil utilização, como a identificação de espécies por meio de imagens, o website pode proporcionar um suporte direto e

eficiente para as práticas de manejo e controle, promovendo, assim, a preservação dos ecossistemas e da biodiversidade do estado.

Considerações Finais

O controle de espécies invasoras no Rio Grande do Norte exige uma abordagem que integre rigor técnico e participação social. A revisão dos dados demonstra que o manejo isolado é insuficiente se não houver um sistema de monitoramento contínuo e preventivo. As plataformas digitais não apenas reduzem o tempo de resposta entre a detecção de uma nova invasão e a ação de controle, mas também democratizam o conhecimento científico. A criação de um website específico para o estado, que centralize informações sobre a flora invasora local, apresenta-se como uma solução de baixo custo e alto impacto. Tal iniciativa promove a resiliência dos ecossistemas e assegura a proteção da biodiversidade potiguar para as futuras gerações.

Referências

- BAKER, E. A. et al. Digital technology and the future of invasion biology. *Conservation Biology*, v. 27, n. 4, p. 700-710, 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras*. Brasília: MMA, 2009.
- CLARK, R. C.; MAYER, R. E. *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. John Wiley & Sons, 2016.
- FAUNA E FLORA DO RN. *Guia de monitoramento de espécies invasoras*. Natal: IDEMA, 2024.
- GOLLNISCH, A.; PRATA, A. S. Impactos de *Eichhornia crassipes* em sistemas aquáticos brasileiros. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 45, 2022.
- HIGGINS, S. I. et al. Policy predictors of biological invasions. *Ecological Applications*, v. 11, n. 1, 2001.
- HOBBS, R. J.; HARRIS, J. A. Restoration Ecology: Repairing the Earth's Ecosystems in the New Millennium. *Restoration Ecology*, v. 9, n. 2, 2001.
- HOLLWEG, K. S. et al. *Developing a framework for assessing environmental literacy*. Washington, DC: North American Association for Environmental Education, 2011.
- LAL, R. et al. *Chemical and biological control of invasive species: environmental risks*. New York: Academic Press, 2019.

MARTIN, V. Y. et al. The role of citizen science in monitoring and managing invasive species. *Journal of Environmental Management*, v. 110, p. 1-10, 2012.

MOURA, F. T. *Ecologia de invasões no semiárido potiguar*. Natal: Ed. UFRN, 2017.

OLIVEIRA, T. S. et al. Impactos de gramíneas invasoras na apicultura e pecuária. *Ciência Rural*, v. 45, n. 9, 2015.

PIMENTEL, D. et al. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, v. 52, n. 3, p. 273-288, 2005.

RICHARDSON, D. M. et al. *Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton*. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011.

SANTOS, J. P. et al. Inteligência artificial aplicada à botânica: o caso Pl@ntNet no Brasil. *Revista de Tecnologia e Sociedade*, v. 16, n. 42, 2020.

ZILLER, S. R.; DECHOUM, M. S. *Espécies Exóticas Invasoras: Guia de Manejo e Políticas Públicas*. Curitiba: Instituto Horus, 2022.

.

CAPÍTULO 4

**DOAÇÃO DE SANGUE E TECNOLOGIAS DIGITAIS:
INFORMAÇÃO A SERVIÇO DA VIDA**

**BLOOD DONATION AND DIGITAL TECHNOLOGIES:
INFORMATION AT THE SERVICE OF LIFE**

DOI: <https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.04>

Submetido em: 11/02/2026

Revisado em: 11/02/2026

Publicado em: 11/02/2026

Alana Keury da Silva Alves

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) –
Campus Pau dos Ferros.

<http://lattes.cnpq.br/5785959018966350>

Geraldo Camilo de Oliveira Júnior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) –
Campus Pau dos Ferros.

<http://lattes.cnpq.br/6855407977578473>

Maria José de Holanda Leite

Doutora em Ciências Florestais. Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Pau dos Ferros.

<https://orcid.org/0000-0003-4154-3901>

<http://lattes.cnpq.br/9553311470144119>

Monica Crisóstomo Padrenosso

Licenciada em Gestão de Recursos Humanos. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Pau dos Ferros.

<http://lattes.cnpq.br/0851509865155413>

Resumo

O presente trabalho aborda a relevância biológica e social do sangue, destacando sua função vital no transporte de nutrientes e na defesa do organismo. Analisou-se o sistema ABO e o fator Rh como pilares da compatibilidade sanguínea, essencial para a segurança transfusional. Apesar da importância clínica, o Brasil enfrenta desafios na manutenção dos estoques de sangue, exacerbados por lacunas logísticas no Sistema Nacional de Sangue (SINASAN) e por mitos que alimentam a hesitação de potenciais doadores. Diante deste cenário, o estudo explora o papel das tecnologias de desenvolvimento web como ferramentas de transformação social. Discute-se o uso de linguagens como Python e frameworks como Django, além de ferramentas de design como Figma, para a criação de sites informativos eficazes. Conclui-se que a integração entre informação técnico-científica e plataformas digitais acessíveis é fundamental para desmistificar crenças errôneas, engajar a Geração Z e elevar as taxas de doação voluntária no país, garantindo a sustentabilidade do sistema de saúde.

Palavras-chave: Hematologia. Desenvolvimento Web. Conscientização Social.

Abstract

This work addresses the biological and social relevance of blood, highlighting its vital function in nutrient transport and organism defense. The ABO system and the Rh factor are analyzed as pillars of blood compatibility, which is essential for transfusion safety. Despite its clinical importance, Brazil faces challenges in maintaining blood stocks, exacerbated by logistical gaps in the National Blood System (SINASAN) and myths that fuel hesitation among potential donors. Given this scenario, the study explores the role of web development technologies as tools for social transformation. It discusses the use of languages such as Python and frameworks like Django, in addition to design tools such as Figma, for the creation of effective informative websites. The study concludes that the integration of technical-scientific information and accessible digital platforms is fundamental to demystifying erroneous beliefs, engaging Generation Z, and increasing voluntary donation rates in the country, thereby ensuring the sustainability of the healthcare system.

Keywords: Hematology. Web Development. Social Awareness.

Introdução

No pulsar de cada artéria, o sangue carrega não apenas a biologia da vida, mas a urgência da solidariedade humana, fluindo como um tecido líquido que conecta a ciência da sobrevivência ao dever da cidadania. O sangue, do latim *sanguis*, é um fluido viscoso essencial que circula pelo sistema cardiovascular, impulsionado pelo coração, com a missão primordial de transportar oxigênio e nutrientes (AULETE, 2012; DICIONÁRIO LATIM-PORTUGUÊS, 2020). Sua complexidade envolve componentes como hemácias, leucócitos e plaquetas, cujas funções variam do transporte gasoso à defesa imunológica (ASSOCIAÇÃO DA MEDULA ÓSSEA, 2016).

Contudo, a manutenção dessa vida depende da compatibilidade entre doadores e receptores, regida pelos sistemas ABO e Rh, descobertos por Karl Landsteiner (BIOGRAFIA, 2016; PINHEIRO, 2024). No Brasil, embora o SINASAN regule essa rede, a distribuição desigual de hemocentros e a baixa taxa de doação voluntária, agravada

por mitos e desinformação, revelam uma fragilidade estrutural (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2023).

Este trabalho teve como objetivo analisar a importância da doação de sangue no contexto brasileiro e demonstrar como as tecnologias de desenvolvimento web (HTML, CSS, JavaScript, Python e Django) e ferramentas de design (Figma) podem ser empregadas na criação de sites informativos para mitigar o déficit de doações e educar a população.

Metodologia

A pesquisa baseou-se em uma revisão bibliográfica de caráter descritivo e qualitativo. Foram consultadas bases de dados acadêmicas, portais governamentais e documentações técnicas de tecnologias da informação, abrangendo publicações entre 2005 e 2025 para fundamentar a relação entre hematologia e o desenvolvimento de soluções digitais.

Desenvolvimento

• Sangue e sua importância

A palavra “sangue” tem origem no latim “sanguis” (Dicionário Latim-Português, 2020, p. 594). O sangue é um líquido viscoso e vermelho que circula pelo organismo animal através das artérias e vasos, sendo impulsionado pelo coração (Aulete, 2012).

Sua principal função é transportar oxigênio e nutrientes para todos os órgãos do corpo, conforme explicado pela Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo (s.d.). A produção de sangue ocorre na medula óssea dos ossos chatos, como vértebras, costelas, quadril, crânio e esterno. Em crianças, os ossos longos, como o fêmur, também participam desse processo (Hemocentro do Espírito Santo, 2013). Isso demonstra a contribuição contínua de várias partes do corpo para a produção de sangue essencial.

A Associação da Medula Óssea (2016) detalha os principais componentes do sangue: as hemácias (glóbulos vermelhos), que transportam oxigênio dos pulmões para os tecidos e removem o gás carbônico, posteriormente eliminado pelos pulmões; os leucócitos (glóbulos brancos), que defendem o organismo contra agentes infecciosos, como vírus e bactérias, além de protegerem contra substâncias estranhas; e as plaquetas, que integram o sistema de coagulação do sangue, com a função de prevenir hemorragias.

Segundo Biografia (2016), Karl Landsteiner (1868-1943) foi um médico e biólogo

austríaco que classificou os grupos sanguíneos no sistema ABO e descobriu o fator Rh. Dr. Pedro Pinheiro (2024) explica que as hemácias possuem proteínas em sua superfície chamadas antígenos ou aglutinogênios, esses antígenos determinam os grupos sanguíneos A, B, AB e O no sistema ABO, embora existam apenas dois tipos de antígenos: A e B, de acordo com Dr. Marcel Brunetto (2018), antígenos são partículas ou moléculas que estimulam a produção de anticorpos e podem reagir a eles, desencadeando uma resposta do sistema imunológico.

Anticorpos, ou imunoglobulinas, são proteínas que o corpo produz para destruir substâncias estranhas, como vírus e bactérias (antígenos), Segundo Dr. Caique Miranda (2023), o fator Rh é uma proteína encontrada nas hemácias. A presença dessa proteína indica que o sangue é Rh positivo (Rh+), enquanto a ausência dela caracteriza o sangue como Rh negativo (Rh-) (Quadro 1).

Sendo assim, a compatibilidade sanguínea, conforme destacado pela TDSA Sistemas (2022), é crucial para transfusões, pois determina quais tipos de sangue podem ser doados ou recebidos sem causar reações adversas.

Quadro 1 - Compatibilidade de Doação e Recebimento de Tipos Sanguíneos.

Tipo Sanguíneo	Doa para	Recebe de
O-	Todos os tipos sanguíneos	O-
O+	A+, B+, AB+, O+	O-, O+
A-	A-, A+, AB-, AB+	O-, A-
A+	A+, AB+	O-, O+, A-, A+
B-	B-, B+, AB-, AB+	O-, B-
B+	B+, AB+	O-, O+, B-, B+
AB-	AB-, AB+	A-, B-, AB-, O-
AB+	AB+	Todos os tipos sanguíneos

Fonte: Autores (2024).

Portanto, a incompatibilidade sanguínea ocorre quando há diferenças nas proteínas nas hemácias entre o doador e o receptor, o que pode levar a reações adversas durante a transfusão. No Brasil, o Sistema Nacional de Sangue, Componentes e Derivados (SINASAN) regula a coleta e distribuição de sangue em 32 hemocentros coordenadores, 2.800 serviços de hemoterapia e mais de 500 agências transfusionais. Entretanto, a distribuição desigual dos hemocentros, concentrados em áreas urbanas, representa um

obstáculo logístico em regiões de difícil acesso (Ministério da Saúde, 2023).

- **Problemas na doação de sangue**

Em 2020, houve uma redução nas doações de sangue devido à pandemia. Segundo o Ministério da Saúde (2021), estima-se que essa queda tenha variado entre 15% e 20%. Este número revela que apenas uma pequena parcela da população brasileira, aproximadamente 1,4% entre 16 e 69 anos, realiza doações de sangue. Isso corresponde a cerca de 14 doadores por cada mil habitantes, resultando em mais de 3 milhões de doações anuais no Sistema Único de Saúde (SUS). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o ideal é que entre 1% e 3% da população de cada país seja composta por doadores regulares, mas, embora esse número esteja alinhado com as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), o Ministério da Saúde continua a promover esforços para aumentar a conscientização e a taxa de doações no país (Ministério da Saúde, 2022).

No Brasil, a proporção de doadores voluntários é inferior à de países como Cuba e Nicarágua, onde todos os doadores são voluntários. No Brasil, cerca de 59,52% das doações são realizadas por voluntários, enquanto 40,48% são feitas por doadores de reposição, que contribuem por motivos pessoais, como ajudar amigos ou familiares em emergências (BBC, 2015). Essa realidade destaca a necessidade de fortalecer as campanhas de conscientização sobre a importância do ato voluntário.

De acordo com Mayra Franceschi, gerente de Relações Públicas da Rede Hemosul MS, os doadores em potencial geralmente se sensibilizam com a causa ao compreenderem a importância da doação de sangue para futuros receptores (Dum, 2024). A doação de sangue é um ato que deve vir da consciência cidadã. Doar sangue é um dever consciente em prol da vida humana. Quando cultivamos empatia, pensamos no próximo e nos identificamos com suas necessidades, agimos com solidariedade e humanidade.

Apesar de sua importância vital, a doação de sangue ainda enfrenta desafios relacionados a mitos e desinformação. Segundo Naura Faria (2015), chefe de atendimento ao doador do HemoRio, crenças equivocadas, como a ideia de que doar sangue pode causar ganho de peso ou que é necessário doar sempre após uma única vez, ainda persistem. Além disso, o medo de contrair doenças infecciosas durante a coleta também contribui para a hesitação de muitos potenciais doadores. Para reverter essa situação, é fundamental desmistificar essas crenças e informar a população sobre os reais

benefícios e a segurança da doação de sangue. A educação e a conscientização são passos essenciais para aumentar o número de doadores e garantir que o sistema de transfusões possa atender adequadamente às necessidades dos pacientes em situações críticas. Aldamiz-Echevarria e Aguirre-Garcia ressaltam a importância de o hemocentro adotar recursos de marketing para captar novos doadores de sangue e promover ações de fidelização. Para tanto, destaca o uso das redes sociais e das tecnologias digitais para estabelecer proximidade e relacionamento com o doador

Por exemplo, sites estruturados para se conectar tanto ao banco de dados do hemocentro quanto ao e-mail dos usuários oferecem uma forma eficaz de divulgar campanhas de doação de sangue e incentivar os usuários a convidarem amigos para abraçar a causa (Aldamiz-echevarria; Aguirre-Garcia, 2023).

- **Doação de sangue**

O sangue é um recurso humano essencial e insubstituível, com a capacidade de salvar inúmeras vidas diariamente. A demanda global por transfusões de sangue tem aumentado significativamente, impulsionada pelo crescente número de acidentes, taxas de violência e pela sua utilização em procedimentos médicos complexos (Amrighs, 2019). Assim, torna-se evidente que o sangue está se tornando cada vez mais crucial para a preservação da vida.

Instituições como hemocentros e bancos de sangue desempenham um papel social fundamental. De acordo com Ludwig e Rodrigues (2005), essas instituições são responsáveis por fornecer assistência a pacientes que necessitam de transfusões para sobreviver. Além disso, é uma exigência legal que os hospitais mantenham uma unidade de hemoterapia para operar. Este cenário destaca não apenas a importância vital dessas instituições na saúde pública, mas também a responsabilidade dos hospitais em manter suas unidades de hemoterapia plenamente operacionais, assegurando um atendimento adequado e seguro aos pacientes.

Portanto, a doação de sangue é um ato indispensável que desempenha um papel crucial na saúde e na preservação de vidas ao redor do mundo.

O processo de coleta de sangue é altamente controlado e realizado por profissionais qualificados para garantir a segurança do doador. De acordo com Acontece aQI (2023), aproximadamente 450 ml de sangue são coletados de maneira segura, seguido por uma triagem rigorosa. Além disso, o sangue doado passa por testes detalhados para determinar o tipo sanguíneo e verificar a presença de doenças, sendo

armazenado em condições controladas até que esteja pronto para uso. A segurança do doador é uma prioridade, com a utilização exclusiva de materiais estéreis e descartáveis, eliminando qualquer risco de contaminação. O rigoroso cuidado com esses processos reforça a confiança no sistema de doação de sangue, essencial para assegurar um suprimento contínuo e seguro para aqueles que necessitam.

- **Contextualização e Importância das Tecnologias no Desenvolvimento Web**

No cenário digital contemporâneo, a combinação de diferentes tecnologias e ferramentas é essencial para o desenvolvimento eficaz e eficiente de sites e aplicações web. A integração de plataformas de design, linguagens de programação e frameworks proporciona uma base sólida para a criação de produtos digitais que atendem às necessidades e expectativas dos usuários. A compreensão das funcionalidades e aplicações de cada uma dessas ferramentas é crucial para otimizar o desenvolvimento e a implementação de soluções web (Ely, 2018).

Sites informativos desempenham um papel fundamental na disseminação de informações e na educação do público sobre temas variados, incluindo questões de saúde e bem-estar, como a doação de sangue. Essas plataformas fornecem conteúdo extenso e detalhado, facilitando o acesso à informação e promovendo a conscientização. No contexto brasileiro, onde uma significativa parcela da população ainda não doa sangue devido a medos ou falta de informação, sites informativos são cruciais para reduzir essas barreiras. Eles oferecem recursos como ferramentas de pesquisa e navegação intuitiva, contribuindo para a disseminação de informações precisas e acessíveis (Neves, 2024).

As ferramentas de design como o Figma são fundamentais para criar interfaces visuais eficazes e atraentes para aplicações e sites. O Figma, por exemplo, é uma plataforma colaborativa que permite o design de interfaces responsivas e a prototipagem de sistemas, tornando-se uma ferramenta essencial para profissionais da área. Com suas funcionalidades acessíveis diretamente pelo navegador e sua versão gratuita, o Figma democratiza o design e facilita a criação de projetos digitais (Awari, 2023).

No desenvolvimento web, a linguagem de programação Python é amplamente utilizada devido à sua simplicidade e versatilidade. Python é fundamental para o desenvolvimento do back-end de sites e aplicações, gerenciando a lógica de negócios e a interação com bancos de dados (Python Software Foundation, 2025). Juntamente com o framework Django, que acelera o processo de desenvolvimento web e oferece robustez e segurança (Sachinadi, 2024), Python se torna uma escolha popular entre

desenvolvedores.

Para a construção de páginas web, HTML (HyperText Markup Language) e JavaScript são ferramentas indispensáveis. O HTML estrutura o conteúdo das páginas (Marques, 2023), enquanto o JavaScript adiciona funcionalidades dinâmicas e interatividade (Pereira; Silvério, 2023). Ambos são essenciais para criar experiências de usuário envolventes e funcionais, permitindo que os sites atendam a uma variedade de necessidades e requisitos técnicos.

Cada uma dessas ferramentas e conceitos contribui de forma única para o desenvolvimento de soluções web eficazes e inovadoras. A integração desses elementos é vital para a criação de plataformas que não apenas atendem às expectativas dos usuários, mas também oferecem funcionalidades robustas e eficientes. Este referencial teórico explorará cada uma dessas áreas, apresentando suas aplicações e impactos no desenvolvimento de sites informativos e sistemas digitais (Ely, 2018).

- **Sites Informativos**

Os sites informativos são plataformas digitais projetadas para fornecer conteúdo extenso e detalhado sobre uma ampla variedade de tópicos. Conforme apontado pelo portal Insights (2020), esses sites têm como principal objetivo satisfazer a curiosidade dos leitores, oferecendo informações que podem ser acessadas facilmente. Além disso, geralmente incluem ferramentas de pesquisa que facilitam a localização de dados específicos dentro da página.

Esses sites desempenham um papel crucial na redução da falta de informação e no enfrentamento de medos relacionados a temas importantes, como a doação de sangue. Um levantamento realizado pela farmacêutica Abbott (2021) revelou que quase 50% dos brasileiros não doam sangue devido a medos ou à falta de informações claras sobre o processo. Portanto, plataformas online dedicadas à informação sobre a doação de sangue têm o potencial de oferecer esclarecimentos detalhados sobre o procedimento, os benefícios para os receptores e a segurança envolvida. Com isso, podem incentivar mais pessoas a se tornarem doadoras, ajudando a salvar vidas.

O acesso à internet também contribui significativamente para a conscientização e educação sobre a doação de sangue. De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), conduzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 82,7% dos domicílios brasileiros têm acesso à internet (Ministério da Comunicação, 2019). A psicóloga Simone Emmanuel (2020) observa que a geração Z,

que está constantemente conectada e acessa a internet frequentemente, responde bem às informações veiculadas pelas mídias sociais. Portanto, um site informativo bem estruturado, otimizado para dispositivos móveis e promovido através das redes sociais, pode alcançar e engajar efetivamente esse público jovem.

Estudos demonstram a eficácia das redes sociais na motivação para a doação de sangue. Um estudo realizado com 2.920 participantes, majoritariamente na Alemanha, indicou que 7,4% dos entrevistados foram incentivados a doar sangue através das redes sociais. Além disso, aproximadamente 70% dos participantes eram menores de 30 anos, evidenciando o grande potencial de engajamento entre os jovens. Adicionalmente, 26% dos participantes foram influenciados por amigos e familiares (Sümnig *et al.*, 2018). Esses dados destacam a importância de estratégias que integrem redes sociais e incentivos pessoais para promover a doação de sangue de forma eficaz.

Uma pesquisa realizada no Hemocentro de Mato Grosso revelou que, em dezembro de 2022, houve um aumento expressivo nas doações voluntárias. Esse resultado indica a eficácia das campanhas em mídias digitais, já que muitos doadores se dirigiram ao MT-Hemocentro e completaram o processo de doação de sangue (Mendes *et al.*, 2023).

O jogo “Amizade Compatível” está disponível gratuitamente na Play Store e aborda temas relevantes sobre doação de sangue, direcionados ao ambiente familiar e escolar. O jogo busca incentivar futuros doadores, permitindo que crianças e adolescentes aprendam sobre “tipos sanguíneos” de maneira mais significativa, além de promover a doação de sangue e reforçar valores como solidariedade e cidadania (Nunes *et al.*, 2021).

- **Figma**

O Figma é uma plataforma de design colaborativo que tem transformado a forma como designers e desenvolvedores criam e desenvolvem interfaces digitais (Figma, 2019). A principal vantagem do Figma é sua operação baseada na web, o que elimina a necessidade de baixar ou instalar softwares adicionais. Com isso, ele oferece todas as funcionalidades esperadas de um aplicativo, diretamente no navegador (Figma, 2023).

Desenvolvido para tornar o design mais acessível e colaborativo, o Figma disponibiliza uma versão gratuita, permitindo que um número maior de usuários explore a ferramenta e inicie sua jornada no design sem grandes investimentos iniciais. O Figma é amplamente utilizado para uma variedade de tarefas de design, incluindo a criação de

interfaces responsivas para aplicativos e sites, prototipagem, desenvolvimento de fluxos de navegação e implementação de sistemas de design (Design Systems). A ferramenta também é eficiente na criação de peças para e-mail, artes para redes sociais, apresentações, e-books e infográficos.

Além de suas funcionalidades básicas, o Figma oferece suporte para animações e gráficos com dados reais, graças a extensões e recursos adicionais. Essa versatilidade tem revolucionado a rotina de trabalho de muitos profissionais, facilitando a entrega de projetos digitais completos, tanto para a web quanto para aplicativos móveis (EBAC, 2023).

- **Python**

Python é uma linguagem de programação amplamente reconhecida por sua popularidade e versatilidade, destacando-se pela sua simplicidade e clareza. A sintaxe intuitiva e a ampla gama de bibliotecas disponíveis permitem que desenvolvedores criem uma variedade de aplicações, desde as mais básicas até projetos altamente complexos (Python Geral, 2024).

Como uma linguagem de código aberto, Python é mantida pela Python Software Foundation, uma organização sem fins lucrativos que supervisiona o desenvolvimento e a distribuição da linguagem. Isso garante que qualquer pessoa possa utilizar e distribuir o código-fonte do Python gratuitamente, incluindo para fins comerciais (Santana, 2022).

No desenvolvimento web, Python desempenha um papel crucial no back-end, que é a parte do site que opera no servidor e não é visível para os usuários. Enquanto o front-end envolve a interação direta dos visitantes com elementos visuais como imagens, botões e menus, o back-end é responsável por gerenciar os dados do site e garantir o funcionamento correto de todas as funções do front-end. Python é amplamente utilizado para tarefas como a transferência de dados entre servidores, a interação com bancos de dados e a gestão da segurança de sites (Hostinger, 2024).

- **Django**

Django é um framework web de alto nível desenvolvido em Python, projetado para simplificar e acelerar o processo de criação de aplicativos e sites web. Segundo o site oficial do Django ([djangoproject.com](https://www.djangoproject.com), 2024), o framework promove um desenvolvimento ágil e um design limpo e pragmático. Foi criado para muitos dos

desafios comuns no desenvolvimento web, permitindo que os programadores se concentrem na criação de seus aplicativos sem precisar reinventar soluções já existentes.

O Django é gratuito e de código aberto, o que permite a sua ampla utilização sem custos adicionais. Entre suas principais vantagens estão a aceleração do desenvolvimento, permitindo que os projetos sejam concluídos mais rapidamente, e o foco na segurança, ajudando a prevenir muitos erros comuns relacionados a vulnerabilidades. A escalabilidade é uma das características mais destacadas do Django, permitindo que grandes sites da web, como Instagram, Pinterest e Mozilla, o utilizem para atender às suas crescentes demandas (MDN Web Docs, 2024).

- **HTML**

A Linguagem de Marcação de Hipertexto (HTML) é fundamental para a criação de páginas web e aplicativos online, desempenhando um papel essencial na estruturação e formatação do conteúdo na internet. De acordo com a Hostinger (2023), o HTML utiliza um sistema de marcação que permite aos desenvolvedores definirem a estrutura e o estilo dos documentos web. Esse sistema é composto por elementos, tags e atributos que facilitam a organização de seções, parágrafos e links dentro de um documento.

O HTML funciona de maneira direta e intuitiva, como descrito pelo site Segredo.Dev (2022). A principal função do HTML é permitir que os desenvolvedores definam o propósito e a função de cada elemento dentro de uma página web, enquanto o navegador interpreta essas marcações para exibir o conteúdo corretamente. Cada elemento HTML tem uma função específica, e cabe ao desenvolvedor determinar como cada um será utilizado para garantir que o site atenda às suas necessidades e objetivos específicos (Kimmelblat,2024).

- **CSS**

CSS (Cascading Style Sheets) é a linguagem utilizada para estilizar o conteúdo da web. Ao contrário do HTML, o CSS não é uma linguagem de programação ou de marcação, mas sim uma linguagem de estilo, desenvolvida para descrever a apresentação de documentos escritos em HTML ou XML. Com o CSS, é possível especificar como os elementos HTML devem ser exibidos em diferentes meios, como telas, impressões e dispositivos móveis, possibilitando uma personalização abrangente e flexível da aparência visual do site (MDN Web Docs, 2024).

- **JavaScript**

JavaScript é uma linguagem de programação dinâmica e de alto nível, amplamente utilizada para criar interações e funcionalidades em ambientes web. Segundo a Mozilla, responsável pela manutenção da documentação do JavaScript no site MDN Web Docs, a estrutura do JavaScript é baseada em protótipos que permite a construção flexível de objetos (MDN Web Docs, 2024). Além disso, de acordo com a Hostinger (2023), JavaScript permite a criação de interações e elementos dinâmicos que enriquecem a experiência do usuário em sites e aplicativos.

Conforme a EBAC (2023), JavaScript é utilizado tanto no front-end quanto no back-end dos sites e aplicativos. No front-end, a linguagem é responsável por criar e gerenciar elementos interativos e dinâmicos, como animações e atualizações de conteúdo em tempo real. No back-end, JavaScript pode ser usado para desenvolver a lógica de negócios e gerenciar dados. Como uma linguagem de scripts, JavaScript permite a execução de sequências de comandos que são essenciais para o funcionamento e a interatividade das aplicações web (EBAC, 2023).

Considerações Finais

A análise dos dados permite concluir que a doação de sangue no Brasil ainda esbarra em barreiras culturais e informacionais significativas. A transição de um modelo de "doação de reposição" para um modelo de "doação voluntária e altruísta" é o maior desafio do sistema público de saúde.

Nesse sentido, a tecnologia web emerge como uma aliada estratégica. A construção de interfaces intuitivas via Figma e o desenvolvimento de sistemas robustos com Django e Python permitem que a informação correta alcance o cidadão de forma dinâmica. Ao desmistificar medos e facilitar o acesso aos locais de coleta, as plataformas digitais não apenas informam, mas salvam vidas ao transformar o acesso à informação em ação social efetiva.

Referências

ABBOTT BRASIL. **Falta de informação afasta brasileiros da doação de sangue.** 2021. Disponível em: <https://www.abbottbrasil.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.

ACONTECE AQUI. **O processo de doação de sangue e a triagem.** 2023. Disponível em: <https://aconteceaquicom.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.

- ALDAMIZ-ECHEVARRIA, C.; AGUIRRE-GARCIA, M. S. **Marketing de relacionamento e redes sociais na fidelização de doadores**. [S. l.: s. n.], 2023.
- AMRIGS. **A importância vital da doação de sangue**. Porto Alegre: Associação Médica do Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <https://amrigs.org.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- ASSOCIAÇÃO DA MEDULA ÓSSEA (AMEO). **Os componentes do sangue**. São Paulo: AMEO, 2016. Disponível em: <https://ameo.org.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- AULETE, Caldas. **Dicionário Contemporâneo da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Lexicon, 2012.
- AWARI. **Figma: o que é e como usar a ferramenta de design**. 2023. Disponível em: <https://awari.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- BBC BRASIL. **Doação de sangue: Brasil ainda busca voluntariado pleno**. Londres: BBC, 2015. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- BIOGRAFIA. **Karl Landsteiner**. 2016. Disponível em: <https://biografia.inf.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- BRUNETTO, Marcel. **O que são antígenos e anticorpos?**. 2018. Disponível em: <https://drmarcelbrunetto.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- DICIONÁRIO LATIM-PORTUGUÊS. Porto: Porto Editora, 2020.
- DJANGO SOFTWARE FOUNDATION. **Django: The Web framework for perfectionists with deadlines**. 2024. Disponível em: <https://www.djangoproject.com>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- DUIM, G. **Entrevista: A consciência cidadã na doação de sangue**. Campo Grande: Rede Hemosul MS, 2024.
- EBAC. **O que faz um desenvolvedor JavaScript?**. São Paulo: Escola Britânica de Artes Criativas e Tecnologia, 2023. Disponível em: <https://ebaonline.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- ELY, M. J. **Contextualização e Importância das Tecnologias no Desenvolvimento Web**. [S. l.: s. n.], 2018.
- FARIA, Naura. **Mitos e verdades sobre a doação de sangue**. Rio de Janeiro: HemoRio, 2015.
- FIGMA. **Figma: The Collaborative Interface Design Tool**. 2023. Disponível em: <https://www.figma.com>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- HEMOCENTRO DO ESPÍRITO SANTO (HEMOES). **Produção sanguínea e medula óssea**. Vitória: SES-ES, 2013.
- HOSTINGER. **O que é JavaScript e como ele funciona em seu site**. 2023. Disponível em: <https://www.hostinger.com.br/tutoriais>. Acesso em: 11 fev. 2026.

INSIGHTS. **Sites informativos e a experiência do usuário**. 2020. Disponível em: <https://insights.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.

KIMELBLAT, L. **HTML: A base da web**. 2024. Disponível em: <https://segredo.dev>. Acesso em: 11 fev. 2026.

LUDWIG, S. T.; RODRIGUES, A. C. M. **Doação de sangue: uma análise do comportamento do doador**. Brasília: Revista de Saúde Pública, 2005.

MDN WEB DOCS. **CSS: Cascading Style Sheets**. 2024. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/CSS>. Acesso em: 11 fev. 2026.

MENDES, A. et al. **Eficácia das campanhas digitais no Hemocentro de Mato Grosso**. Cuiabá: MT-Hemocentro, 2023.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Ações para o aumento da doação de sangue no Brasil**. Brasília: Ministério da Saúde, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude>. Acesso em: 11 fev. 2026.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **O Sistema Nacional de Sangue (SINASAN)**. Brasília: Ministério da Saúde, 2023.

MIRANDA, Caique. **Fator Rh e compatibilidade**. 2023. Disponível em: <https://drcaiquemiranda.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.

NUNES, J. et al. **Amizade Compatível: incentivando a doação de sangue através de jogos**. [S. l.: s. n.], 2021.

PINHEIRO, Pedro. **Tipos sanguíneos e o Sistema ABO**. 2024. Disponível em: <https://www.mdsaude.com>. Acesso em: 11 fev. 2026.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **Python Language Reference, Version 3.12**. 2025. Disponível em: <https://www.python.org>. Acesso em: 11 fev. 2026.

SÁNCHEZ, J. **Infografia de la sangre**. 2018.

SANTANA, T. **Python: código aberto e a PSF**. 2022. Disponível em: <https://python.org.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.

SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE DE SÃO PAULO. **Funções do sangue e medula óssea**. São Paulo: SES-SP, [s.d.].

SÜMNIG, A. et al. **The role of social media in motivating blood donors**. [S. l.]: Transfusion Medicine and Hemotherapy, 2018.

TDSA SISTEMAS. **Tabela de compatibilidade para transfusão**. 2022. Disponível em: <https://tdsa.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.

CAPÍTULO 5

***Chromobacterium* NA AGRICULTURA: METABÓLITOS,
BIOCONTROLE E CRESCIMENTO DAS PLANTAS**

***Chromobacterium* IN AGRICULTURE: METABOLITES,
BIOCONTROL, AND PLANT GROWTH**

DOI: <https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.05>

Submetido em: 25/03/2026

Revisado em: 06/04/2026

Publicado em: 08/04/2026

Eduardo Guimarães Bonatti

Engenheiro Agrônomo Esalq/USP, Piracicaba-SP

Damiana Roberta dos Santos Alvelino

Engenheira Agrônoma Esalq/USP, Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/0170060015725846>

Natanael Lucena Ferreira

Mestrando em Fitotecnia Esalq/USP, Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/8425857250719845>

Vivyan Justi Conceição

Mestra e doutora em Fitotecnia Esalq/USP, Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/7828199154445595>

Thaís Alves de Carvalho

Doutoranda em Zootecnia (FZEA/USP)

<http://lattes.cnpq.br/5212728671264498>

Antonio Mariano Gomes da Silva Júnior

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

<http://lattes.cnpq.br/3442571369190167>

Jhonatah Albuquerque Gomes

Mestre e doutorando em Fitotecnia Esalq/USP, Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/3551741764979279>

Alasse Oliveira da Silva

Mestre e doutorando em Fitotecnia Esalq/USP, Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/2723161231656669>

Gustavo Goes dos Santos

Agente de Extensão Rural, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Santa Catarina-SC

<http://lattes.cnpq.br/3760561656132393>

Dioclea Almeida Seabra Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

<http://lattes.cnpq.br/8554224619653187>

Resumo

O gênero *Chromobacterium* reúne bactérias Gram-negativas isoladas de solo e ambientes aquáticos tropicais, capazes de produzir metabólitos com atividade antimicrobiana, inseticida e promotora de crescimento vegetal. Este estudo consistiu em revisão narrativa crítica da literatura, com busca na base Scopus, resultando na seleção de 18 artigos publicados até março de 2026. Os trabalhos analisaram ação biopesticida, controle de fitopatógenos, promoção de crescimento e interferência em quorum sensing. Espécies como *Chromobacterium violaceum* produzem violaceína, sideróforos, enzimas hidrolíticas e compostos relacionados à síntese de ácido indol-3-acético e solubilização de fosfato. Apesar dos resultados promissores, a maioria dos estudos foi conduzida em laboratório, com poucos ensaios em sistemas agrícolas, limitando conclusões sobre persistência, formulação e interação com o solo. O uso como bioinsumo depende de validação em campo, desenvolvimento de formulações estáveis e avaliação de biossegurança.

Palavras-chave: *Chromobacterium violaceum*; biocontrole microbiano; bactérias promotoras de crescimento; metabólitos secundários; bioinsumos; quorum sensing

Abstract

The genus *Chromobacterium* comprises Gram-negative bacteria isolated from soil and tropical aquatic environments, capable of producing metabolites with antimicrobial, insecticidal, and plant growth-promoting activity. This study consisted of a critical narrative review of the literature, with a search conducted in the Scopus database, resulting in the selection of 18 articles published up to March 2026. The studies analyzed biopesticide activity, control of phytopathogens, plant growth promotion, and interference in quorum sensing. Species such as *Chromobacterium violaceum* produce violacein, siderophores, hydrolytic enzymes, and compounds related to indole-3-acetic acid synthesis and phosphate solubilization. Despite promising results, most studies were conducted under laboratory conditions, with few trials in agricultural systems, limiting conclusions about field persistence, formulation stability, and interaction with soil microbiota. The use as a bioinput depends on field validation, development of stable formulations, and biosafety evaluation.

Keywords: *Chromobacterium violaceum*; microbial biocontrol; plant growth-promoting bacteria; secondary metabolites; bioinputs; quorum sensing.

Introdução

O gênero *Chromobacterium* compreende bactérias Gram-negativas móveis e pigmentadas isoladas de solo, água doce e ambientes aquáticos tropicais (Rusterholtz & Mallory, 1994; Caroppo *et al.*, 2003; Rogers *et al.*, 2017). Espécies como *Chromobacterium violaceum* e *Chromobacterium subtsugae* possuem genes envolvidos na síntese de metabólitos secundários, incluindo violaceína, sideróforos e enzimas hidrolíticas, compostos associados à inibição de microrganismos e à toxicidade para invertebrados (Ruiu, 2015; Ercole *et al.*, 2026). Esses metabólitos são investigados pelo possível uso no controle de pragas, patógenos e na interação com plantas.

O controle de pragas e doenças na agricultura depende do uso de pesticidas sintéticos, cujo emprego repetido favorece a seleção de populações resistentes e pode causar contaminação ambiental, estimulando a busca por agentes biológicos com mecanismos de ação distintos (Ruiu, 2015). Microrganismos capazes de produzir metabólitos tóxicos, enzimas degradativas ou reguladores de crescimento vegetal são estudados como componentes de bioinsumos agrícolas (Ercole *et al.*, 2026).

Espécies do gênero apresentam sistemas regulatórios dependentes de densidade celular, denominados quorum sensing, que controlam a expressão de genes envolvidos na produção de pigmentos, toxinas e biofilmes (Ghannay *et al.*, 2022). A interferência nesse sistema, denominada quorum quenching, pode reduzir a expressão de fatores de virulência, sendo investigada em modelos de controle biológico (The Bacterial Whispering, 2024). Análises genômicas também indicam genes relacionados à síntese de ácido indol-3-acético, solubilização de fosfato e produção de sideróforos, características associadas a bactérias promotoras de crescimento vegetal (Ercole *et al.*, 2026).

A maioria dos estudos com *Chromobacterium* foi conduzida em laboratório, com menor número de ensaios em sistemas agrícolas, permanecendo dúvidas sobre persistência em campo, estabilidade após formulação e interação com o microbioma do solo (Rogers *et al.*, 2017; Ercole *et al.*, 2026).

Diante disso, este trabalho foi conduzido como revisão narrativa crítica da literatura, com o objetivo de avaliar evidências experimentais sobre o uso de bactérias do gênero *Chromobacterium* na agricultura, considerando mecanismos de ação, controle de insetos, controle de fitopatógenos, promoção de crescimento vegetal e limitações para aplicação em condições de campo.

Metodologia

A busca foi realizada na base Scopus, utilizando descritores relacionados ao microrganismo e às suas aplicações agronômicas, combinados por operadores booleanos.

A estratégia incluiu os termos:

"*Chromobacterium*" AND ("agriculture" OR "biocontrol" OR "biopesticide" OR "plant growth" OR "quorum sensing").

Foram considerados artigos publicados até março de 2026, disponíveis em inglês. A busca resultou em 18 artigos científicos, que compuseram o conjunto de estudos analisados nesta revisão.

- **Crítérios de inclusão e exclusão**

Foram incluídos artigos originais e revisões que abordaram aplicações agrícolas de bactérias do gênero *Chromobacterium* ou de seus metabólitos.

Os critérios de inclusão foram:

I - Trabalhos que avaliaram a ação de *Chromobacterium* spp. no controle de insetos, ácaros ou fitopatógenos;

II - Estudos sobre uso como bactéria promotora de crescimento vegetal;

III - Pesquisas que utilizaram *Chromobacterium* como biossensor em ensaios de inibição de *quorum sensing* com possível aplicação em biotecnologia agrícola.

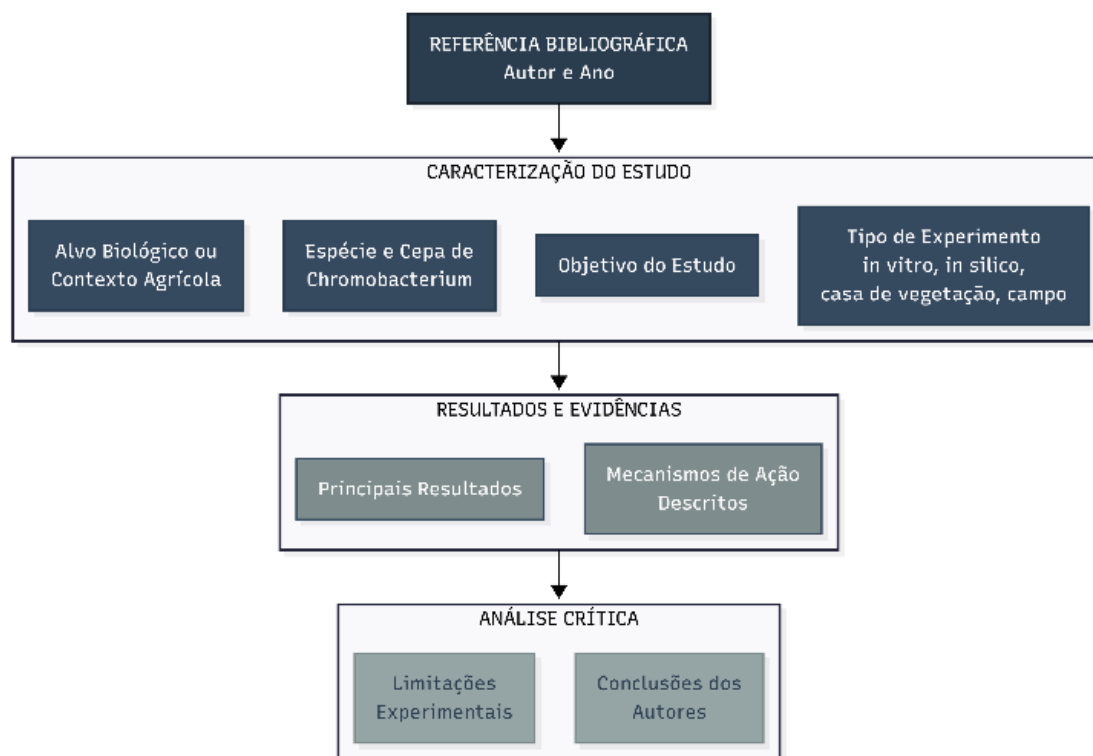
Relatos limitados à ocorrência dessas bactérias em estudos de ecologia microbiana aquática foram consultados, mas não integraram a análise principal. Trabalhos que descreveram espécies de *Chromobacterium* como patógenos em aquicultura foram utilizados apenas para discussão de biossegurança e resistência a antimicrobianos.

- **Extração e organização dos dados**

Os artigos selecionados foram submetidos à leitura exploratória e analítica (figura 1). As informações foram registradas em uma matriz de evidências elaborada pelos autores, com o objetivo de padronizar a coleta de dados e permitir comparação entre os estudos.

Para cada artigo foram extraídas as seguintes informações:

Figura 1 – Fluxo de processo das análises.



Fonte: Autoria própria, 2026.

- **Análise e síntese das informações**

Os dados foram organizados por categorias temáticas conforme a aplicação agrícola das bactérias, nos seguintes eixos:

- I - Ação biopesticida, incluindo controle de insetos e ácaros;
- II - Ação biofungicida, relacionada ao controle de fitopatógenos;
- III - Promoção do crescimento vegetal;
- IV - Uso em modelos biotecnológicos baseados em quorum sensing e estratégias anti-virulência.

A organização permitiu comparar resultados experimentais, identificar mecanismos de ação e reconhecer limitações e lacunas no uso de *Chromobacterium* spp. em sistemas agrícolas.

Desenvolvimento

Características biológicas do gênero *Chromobacterium*

O gênero *Chromobacterium* compreende bactérias Gram-negativas, móveis e pigmentadas, isoladas de solo, água e sedimentos, classificadas como microrganismos heterotróficos com ampla ocorrência em ambientes naturais (Rusterholtz & Mallory, 1994; Caroppo *et al.*, 2003). A presença em diferentes habitats indica tolerância a variações de temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes, condição associada ao uso desses microrganismos em sistemas agrícolas e biotecnológicos, nos quais a sobrevivência do agente microbiano depende da estabilidade ambiental (Rusterholtz & Mallory, 1994).

Entre as espécies estudadas, *Chromobacterium violaceum* apresenta versatilidade metabólica e capacidade de sintetizar metabólitos secundários, como a violaceína, pigmento derivado do triptofano com atividade antimicrobiana, inseticida e nematicida (Ercole *et al.*, 2026). A produção desse composto depende da regulação de genes do metabolismo secundário, ativados em condições ambientais específicas, o que permite a síntese de substâncias com uso no controle de pragas e patógenos.

Análises genômicas mostram que espécies de *Chromobacterium* possuem agrupamentos gênicos biossintéticos relacionados à produção de sideróforos e de outras moléculas antimicrobianas, como viobactina e cromobactina, envolvidas na competição por ferro e na supressão de microrganismos na rizosfera (Ercole *et al.*, 2026). A produção desses compostos favorece a colonização do solo e está associada ao uso dessas bactérias como agentes de biocontrole e promotores de crescimento vegetal.

Espécies do gênero também apresentam sistemas de regulação dependentes da densidade celular, conhecidos como quorum sensing, responsáveis pelo controle da expressão de genes ligados à produção de pigmentos, formação de biofilmes e síntese de metabólitos secundários (The Bacterial Whispering, 2024). Esse sistema regula a ativação coordenada de genes em resposta ao aumento da população bacteriana.

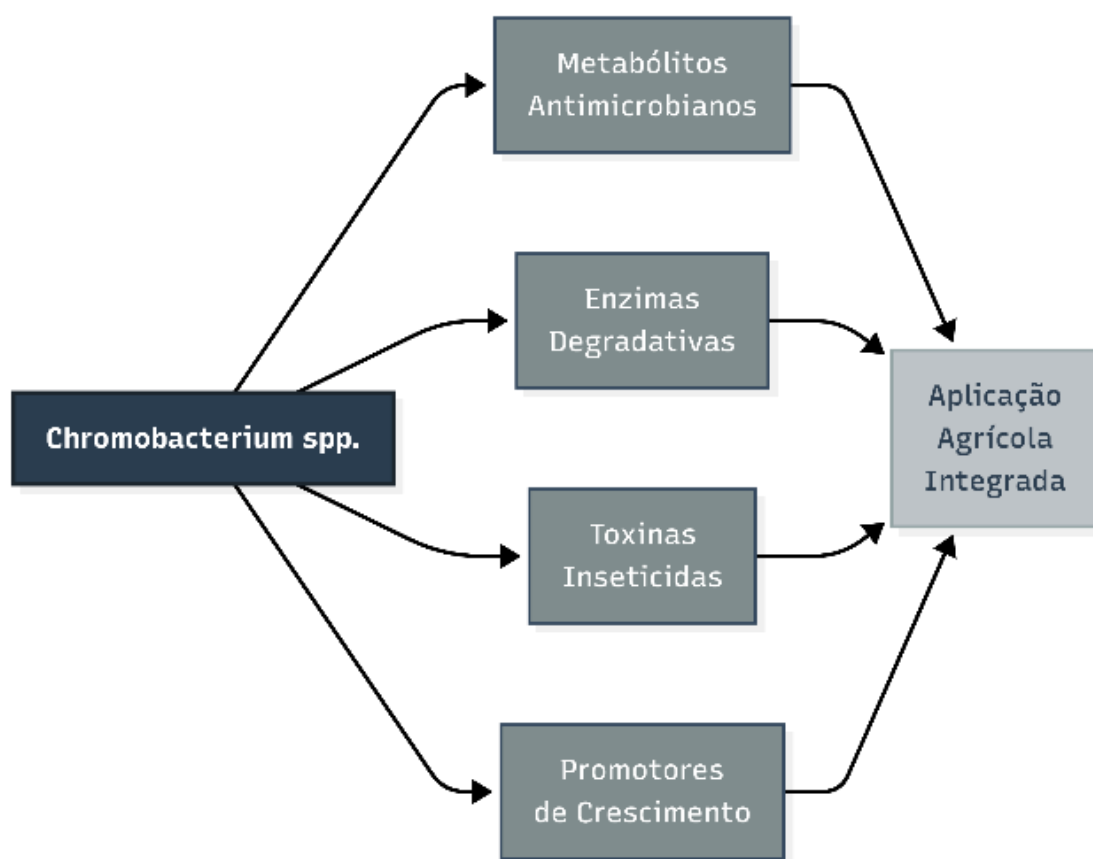
A comunicação celular pode ser interrompida por mecanismos de quorum quenching, nos quais enzimas degradam moléculas sinalizadoras ou bloqueiam seus receptores, reduzindo a expressão de genes relacionados à virulência e à formação de biofilmes (Biocontrol and Anti-Virulence Strategies, 2024). Além da produção de metabólitos antimicrobianos, cepas de *Chromobacterium* apresentam genes associados à

síntese de ácido indol-3-acético e à solubilização de fosfato, características relacionadas à promoção de crescimento vegetal (Ercole *et al.*, 2026).

Mecanismos de ação com potencial agrícola

O uso de bactérias do gênero *Chromobacterium* na agricultura está associado à diversidade de mecanismos que permitem interação com plantas, insetos, fungos e outros microrganismos do solo (Figura 2). Esses microrganismos podem atuar por produção de metabólitos antimicrobianos, enzimas degradativas, toxinas inseticidas, fitormônios, solubilização de nutrientes e regulação por quorum sensing (Kim *et al.*, 2008; Ruiu, 2015; Ercole *et al.*, 2026).

Figura 2. Mecanismos de ação de *Chromobacterium* spp. com potencial aplicação agrícola.



Fonte: Autoria própria, 2026.

A produção de metabólitos secundários com ação antimicrobiana é um dos principais mecanismos descritos para *Chromobacterium*. Análises genômicas indicam que *Chromobacterium violaceum* possui grupos gênicos biossintéticos responsáveis pela síntese de violaceína, viobactina e cromobactina, compostos associados à supressão de

microrganismos e à inibição de patógenos (Ercole *et al.*, 2026). A violaceína, derivada do triptofano, apresenta atividade antifúngica, inseticida e antiparasitária, sendo um dos principais metabólitos bioativos do gênero.

Outro mecanismo envolve a produção de enzimas hidrolíticas, como quitinases, capazes de degradar a parede celular de fungos fitopatogênicos. Kim *et al.* (2008) relataram que *Chromobacterium* sp. C-61 apresentou atividade quitinolítica e reduziu doenças causadas por *Phytophthora capsici* e *Rhizoctonia solani* em ensaios em estufa e campo, indicando ação compatível com microrganismos biofungicidas.

Espécies do gênero também produzem compostos inseticidas. *Chromobacterium subtsugae* apresenta ação contra insetos de diferentes ordens e produz toxinas termoestáveis que atuam por ingestão, reduzindo alimentação, fecundidade e sobrevivência das pragas (Ruiu, 2015).

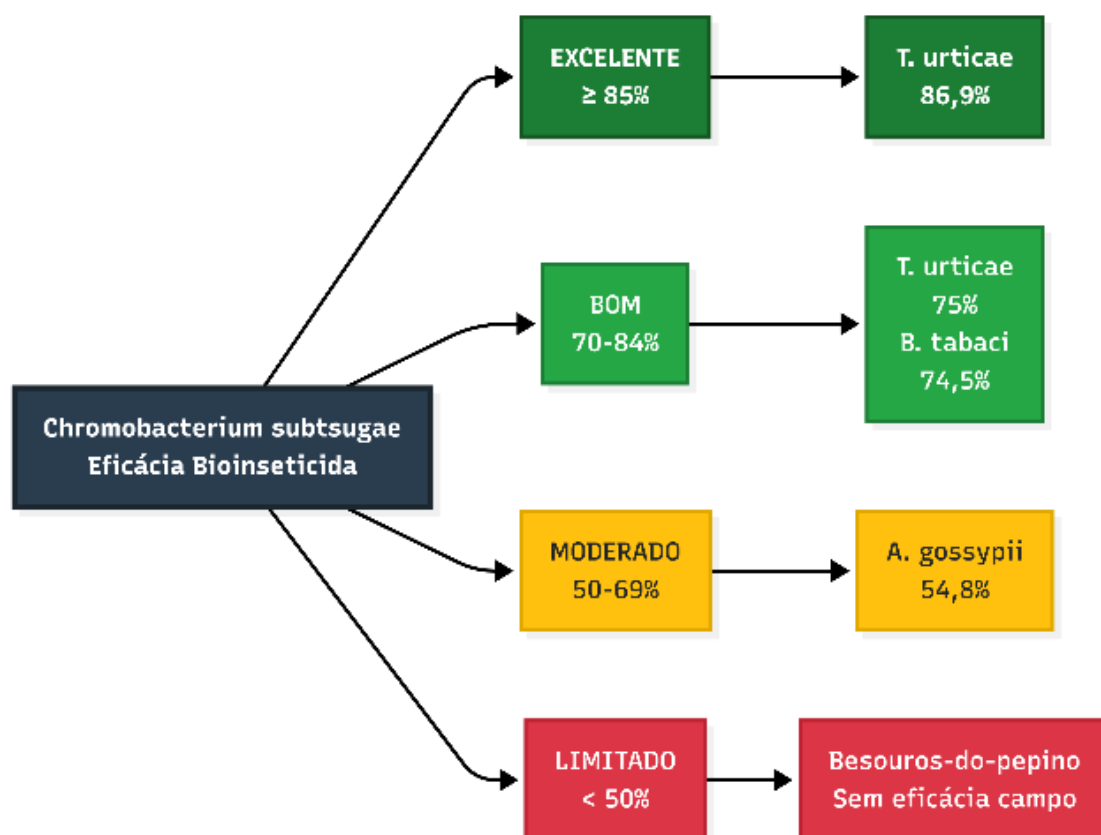
Cepas de *Chromobacterium* apresentam ainda genes relacionados à síntese de ácido indol-3-acético, solubilização de fosfato e produção de sideróforos, mecanismos que aumentam a disponibilidade de nutrientes na rizosfera e favorecem o desenvolvimento radicular (Ercole *et al.*, 2026).

A presença de metabólitos antimicrobianos, enzimas hidrolíticas, toxinas inseticidas e genes ligados à nutrição vegetal indica que *Chromobacterium* spp. reúne múltiplos mecanismos associados ao controle de patógenos, redução de pragas e promoção do crescimento vegetal (Ercole *et al.*, 2026; Kim *et al.*, 2008; Ruiu, 2015).

Uso como bioinseticida

Bactérias do gênero *Chromobacterium* são investigadas como bioinseticidas, com destaque para *Chromobacterium subtsugae*, capaz de produzir metabólitos tóxicos para diferentes insetos-praga (Figura 3). Segundo Ruiu (2015), cepas dessa espécie atuam contra insetos de várias ordens de importância agrícola, indicando potencial uso em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP).

Figura 3: Eficácia de *Chromobacterium subtsugae* como agente bioinseticida em diferentes espécies de pragas agrícolas.



Fonte: Autoria própria, 2026.

A atividade inseticida está associada à produção de compostos bioativos durante a fase estacionária de crescimento bacteriano, o que toxinas termoestáveis e metabólitos secundários que atuam por ingestão. Esses compostos afetam o sistema digestivo dos insetos, reduzem a alimentação, desenvolvimento e fecundidade (Ruiu, 2015). Esse modo de ação difere do observado em inseticidas químicos convencionais e pode contribuir para reduzir a seleção de populações resistentes.

Ensaio experimentais com biopesticidas à base de *C. subtsugae* demonstraram resultados positivos em diferentes sistemas de cultivo. Oppedisano *et al.* (2025) avaliaram a cepa PRAA4-1T no controle de ácaros e cigarrinhas em plantas de cânhamo e observaram mortalidade entre 75% e 86,9% para *Tetranychus urticae*, além de elevada eficiência contra ninfas de *Circulifer tenellus* em condições de estufa. Os autores observaram, entretanto, que o efeito residual foi inferior ao de outros biopesticidas, indicando necessidade de melhorias na formulação para uso em campo.

Resultados semelhantes foram descritos por Shannag (2025) no controle da mosca-branca (*Bemisia tabaci*) em pepino. O tratamento com produto biológico contendo *C. subtsugae* reduziu em 74,5% a eclosão de ovos e diminuiu a sobrevivência de ninfas e adultos, o que demonstra ação sobre estágios do inseto. O efeito foi atribuído à ingestão de metabólitos bacterianos, que reduziram a alimentação e a reprodução.

Entretanto, nem todos os ensaios apresentaram resultados consistentes em condições de campo. Rogers *et al.* (2017) observaram redução no consumo foliar por besouros-do-pepino em testes laboratoriais, porém não houve diminuição significativa da população da praga nem aumento de produtividade em experimentos conduzidos em melão. Os autores relacionaram esse resultado à baixa persistência do microrganismo após exposição à radiação solar, chuva e variações de temperatura.

A eficácia também pode variar conforme a espécie-alvo. Shannag e Al-Salman (2025) relataram que a toxicidade de *C. subtsugae* contra *Aphis gossypii* não excedeu 54,8% de mortalidade, embora tenham sido observados efeitos subletais, como redução da alimentação e atraso no desenvolvimento. O microrganismo pode ser mais eficiente quando utilizado em conjunto com outras estratégias de manejo.

Os trabalhos analisados indicam que *Chromobacterium* spp., especialmente *C. subtsugae*, apresenta atividade inseticida comprovada em ensaios laboratoriais e de estufa, porém limitações relacionadas à estabilidade ambiental, persistência do produto e variação de resposta entre espécies de insetos ainda restringem sua aplicação em condições agrícolas. O desenvolvimento de formulações mais estáveis e a realização de testes em campo são necessários para viabilizar o uso desse microrganismo como componente de bioinseticidas (Rogers *et al.*, 2017; Shannag, 2025; Ruiu, 2015).

Uso como biofungicida e controle de fitopatógenos

Espécies de *Chromobacterium* são investigadas como agentes de biocontrole devido à produção de enzimas hidrolíticas, metabólitos antimicrobianos e compostos que interferem na virulência microbiana. Ensaios mostram inibição de fungos e bactérias fitopatogênicas, principalmente patógenos de solo associados a podridões radiculares e murchas (Kim *et al.*, 2008; Ercole *et al.*, 2026).

A produção de enzimas líticas é um dos principais mecanismos. A cepa *Chromobacterium* sp. C-61 apresentou alta atividade quitinolítica e reduziu doenças causadas por *Phytophthora capsici* e *Rhizoctonia solani* em ensaios *in vitro*, em estufa e

em campo (Kim *et al.*, 2008). Quitinases degradam a parede celular fúngica e limitam a colonização do hospedeiro.

Análises genômicas indicam que *Chromobacterium violaceum* possui genes envolvidos na síntese de sideróforos e metabólitos secundários, como viobactina e cromobactina, associados à competição por ferro na rizosfera e à redução do crescimento de microrganismos patogênicos (Ercole *et al.*, 2026).

A interferência em quorum sensing também contribui para o controle de doenças. Enzimas como lactonases codificadas pelo gene *aiiA* degradam autoindutores do tipo AHL e reduzem a expressão de fatores de virulência (The Bacterial Whispering, 2024; Biocontrol and Anti-Virulence Strategies, 2024). Microrganismos com atividade de quorum quenching apresentaram redução no crescimento de *Xanthomonas campestris*, *Ralstonia solanacearum* e *Clavibacter michiganensis*.

Os resultados indicam ação antifúngica e antibacteriana associada à produção de enzimas líticas, metabólitos antimicrobianos, competição por nutrientes e interferência em sinalização celular, com eficiência dependente da formulação e das condições ambientais (Kim *et al.*, 2008; Ercole *et al.*, 2026).

Uso como promotora de crescimento vegetal

Espécies de *Chromobacterium* apresentam características associadas a rizobactérias promotoras de crescimento vegetal, incluindo produção de fitormônios, síntese de sideróforos e solubilização de nutrientes. Análises genômicas indicam genes relacionados à produção de reguladores de crescimento e à adaptação à rizosfera (Ercole *et al.*, 2026).

A produção de ácido indol-3-acético é um dos mecanismos descritos. O genoma de *Chromobacterium violaceum* possui genes envolvidos na via do triptofano e na formação de intermediários como ácido indol-3-pirúvico, associados à síntese de auxinas que estimulam a formação de raízes laterais e aumentam a área de absorção.

Genes relacionados à síntese de sideróforos indicam capacidade de captação de ferro na rizosfera, o que favorece a nutrição vegetal e reduz a competição microbiana (Ercole *et al.*, 2026). Também foram identificados genes associados à solubilização de fosfato, sugerindo aumento da disponibilidade de fósforo em solos de baixa fertilidade.

A interferência em quorum sensing pode reduzir a expressão de fatores de virulência em fitopatógenos. A colonização radicular e a formação de biofilmes

aumentam a persistência bacteriana e favorecem a interação planta-microrganismo (Biocontrol and Anti-Virulence Strategies, 2024; The Bacterial Whispering, 2024).

Esses resultados indicam que *Chromobacterium* spp. reúne características relacionadas à promoção de crescimento vegetal, incluindo produção de auxinas, sideróforos, solubilização de fósforo e colonização da rizosfera, embora a maioria dos estudos ainda esteja restrita a condições controladas (Ercole *et al.*, 2026).

Uso como modelo em estudos de quorum sensing e anti-virulência

Espécies como *Chromobacterium violaceum* são utilizadas como organismo modelo em estudos de quorum sensing e inibição de virulência. A bactéria possui sistema regulatório dependente da densidade celular que controla a expressão de genes ligados à produção de pigmentos, biofilmes e metabólitos (Ghannay *et al.*, 2022).

A síntese de violaceína depende da ativação desse sistema, o que permite usar *C. violaceum* como biossensor. A presença do pigmento indica sinalização ativa, enquanto sua ausência indica bloqueio do quorum sensing, possibilitando a triagem de substâncias que interferem na comunicação bacteriana (Ghannay *et al.*, 2022; Ramírez-Pool *et al.*, 2024).

O quorum sensing baseia-se na produção de autoindutores que ativam genes quando atingem concentração crítica, regulando fatores de virulência e formação de biofilmes (The Bacterial Whispering, 2024). A inibição desse processo, denominada quorum quenching, pode ocorrer pela ação de lactonases codificadas pelo gene *aiiA*, que degradam moléculas do tipo AHL e impedem a ativação gênica (Biocontrol and Anti-Virulence Strategies, 2024).

Compostos naturais, extratos microbianos e enzimas degradadoras reduzem a produção de violaceína em *C. violaceum*, indicando interrupção da sinalização celular. Esse modelo é usado na triagem de substâncias anti-virulência e no desenvolvimento de estratégias baseadas na inibição da comunicação bacteriana.

A interferência em quorum sensing é relevante no controle de fitopatógenos, pois esse sistema regula virulência e colonização. A inibição da sinalização pode reduzir a agressividade microbiana e aumentar a eficiência de agentes de biocontrole (Ghannay *et al.*, 2022; The Bacterial Whispering, 2024).

Vantagens do uso de *Chromobacterium* spp. na agricultura

Bactérias do gênero *Chromobacterium* apresentam múltiplos modos de ação, incluindo controle de pragas, supressão de patógenos e promoção do crescimento vegetal. Espécies produzem metabólitos antimicrobianos, enzimas hidrolíticas, toxinas inseticidas, sideróforos e fitormônios, o que permite o uso no desenvolvimento de bioinsumos multifuncionais (Ruii, 2015; Ercole *et al.*, 2026).

O uso como bioinseticida é uma das aplicações mais estudadas. Cepas de *Chromobacterium subtsugae* apresentam atividade contra mosca-branca, pulgões, besouros e ácaros, com redução da alimentação, sobrevivência e fecundidade, permitindo inclusão em programas de manejo integrado (Ruii, 2015; Shannag, 2025; Oppedisano *et al.*, 2025).

A produção de enzimas quitinolíticas e metabólitos antimicrobianos permite a supressão de fungos de solo, como *Phytophthora capsici* e *Rhizoctonia solani*, em ensaios de estufa e campo, indicando uso em tratamento de sementes e aplicação no solo (Kim *et al.*, 2008).

Espécies do gênero também apresentam características de bactérias promotoras de crescimento, incluindo produção de ácido indol-3-acético, sideróforos e compostos envolvidos na solubilização de fosfato, associados ao aumento do desenvolvimento radicular e da absorção de nutrientes (Ercole *et al.*, 2026).

A interferência em quorum sensing pode reduzir a expressão de fatores de virulência em microrganismos patogênicos, contribuindo para o controle biológico e reduzindo o risco de seleção de resistência (Biocontrol and Anti-Virulence Strategies, 2024; The Bacterial Whispering, 2024).

A aplicação pode ocorrer por tratamento de sementes, pulverização foliar, incorporação ao solo ou formulações combinadas. A associação de cepas com funções complementares pode aumentar a eficiência em condições agrícolas (Kim *et al.*, 2008).

A presença simultânea de atividade inseticida, antagonismo contra patógenos, promoção de crescimento vegetal e interferência em sinalização bacteriana indica que *Chromobacterium* spp. apresenta perfil compatível com microrganismos utilizados no desenvolvimento de bioinsumos (Rogers *et al.*, 2017; Ercole *et al.*, 2026).

Limitações e riscos do uso de *Chromobacterium* spp. na agricultura

A aplicação destas bactérias na agricultura apresenta restrições relacionadas à estabilidade em campo, variação de eficácia, necessidade de formulações adequadas e aspectos de biossegurança. Resultados obtidos em laboratório nem sempre são reproduzidos em condições de campo, o que limita o uso como bioinsumo (Rogers *et al.*, 2017).

A baixa persistência após a aplicação é um dos principais problemas. Biopesticidas à base de *Chromobacterium subtsugae* reduziram o consumo foliar por besouros-do-pepino em laboratório, mas não diminuíram a população da praga em campo devido à degradação por radiação ultravioleta, chuva e variações de temperatura (Rogers *et al.*, 2017).

A eficácia varia conforme a espécie-alvo e as condições de aplicação. No controle de *Aphis gossypii*, o uso de *C. subtsugae* resultou em mortalidade inferior a 54,8%, com efeitos subletais como redução da alimentação e atraso no desenvolvimento, indicando necessidade de ajustes de dose (Shannag & Al-Salman, 2025).

A atividade depende de fatores ambientais, dose aplicada e pressão do patógeno, que influenciam a produção de metabólitos, a atividade enzimática e a sobrevivência da bactéria no solo ou na superfície das plantas (Kim *et al.*, 2008).

A formulação também é determinante. Culturas bacterianas sem estabilização apresentam baixa persistência, e técnicas como encapsulamento, uso de protetores contra radiação e aplicação de metabólitos purificados podem aumentar a eficiência (Biocontrol and Anti-Virulence Strategies, 2024).

Aspectos de biossegurança devem ser considerados. Isolados de *Chromobacterium violaceum* com resistência a antibióticos foram registrados em ambientes aquáticos, indicando necessidade de seleção criteriosa de cepas (Costa *et al.*, 2021). O efeito sobre organismos não alvo também requer avaliação, pois compostos do gênero podem afetar diferentes artrópodes (Shannag & Al-Salman, 2025).

O uso de *Chromobacterium* spp. como bioinsumo depende de formulações estáveis, validação em campo e análise de biossegurança, sendo necessários estudos adicionais para confirmar a viabilidade no manejo de pragas e patógenos (Kim *et al.*, 2008; Rogers *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2021).

Considerações Finais

Estudos indicam que bactérias do gênero *Chromobacterium* apresentam diferentes mecanismos de interesse agrícola, o que inclui produção de metabólitos antimicrobianos, toxinas inseticidas, enzimas hidrolíticas, sideróforos, fitormônios e sistemas regulados por quorum sensing. Essas características permitem atuação no controle de pragas, na supressão de fitopatógenos e na promoção do crescimento vegetal, com possibilidade de uso no desenvolvimento de bioinsumos.

Resultados obtidos em laboratório nem sempre são reproduzidos em campo. Radiação ultravioleta, temperatura, umidade e interação com a microbiota do solo podem reduzir a sobrevivência bacteriana após a aplicação, limitando a persistência e o efeito residual. A viabilidade agrônômica depende de formulações mais estáveis e de protocolos adequados às condições de cultivo.

Persistem lacunas no entendimento dos mecanismos moleculares envolvidos na produção de metabólitos, na regulação por quorum sensing e na interação com plantas, insetos e microrganismos do solo, o que dificulta a seleção de cepas eficientes e a padronização dos resultados.

A biossegurança também deve ser considerada. A ocorrência de cepas com resistência a antibióticos ou características indesejáveis exige caracterização genética, testes de patogenicidade e avaliação de efeitos sobre organismos não alvo antes do uso agrícola.

O gênero *Chromobacterium* apresenta características compatíveis com o desenvolvimento de bioinsumos, porém a aplicação comercial depende de validação em campo, aprimoramento das formulações e melhor compreensão das interações ecológicas na rizosfera.

Referências

- CAROPPO, C.; STABILI, L.; CAVALLO, R. A. Diatoms and bacteria diversity: study of their relationships in the Southern Adriatic Sea. **Mediterranean Marine Science**, v. 4, n. 2, p. 73-82, 2003.
- COSTA, A. R. et al. Frequency of pathogens in routine bacteriological diagnosis in fish and their antimicrobial resistance. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 42, n. 6, p. 3259, 2021.
- ERCOLE, T. G. et al. Integrated genome mining and phytohormone profiling of six plant growth-promoting elite bacterial strains. **Archives of Microbiology**, v. 208, p. 152, 2026.

GHANNAY, S. et al. In Vitro and In Silico Screening of Anti-Vibrio spp., Antibiofilm, Antioxidant and Anti-Quorum Sensing Activities of Cuminum cyminum L. Volatile Oil. **Plants**, v. 11, n. 17, p. 2236, 2022.

GUZMAN, J. P. M. D.; ALBA, J. M. T.; TORRES, M. L. S. Isolation, screening, and characterization of biosurfactant-producing *Bacillus* spp. from soil and their potential biofilm inhibitory activities against *Pseudomonas aeruginosa*. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 10, n. 2, p. 245-248, 2020.

KIM, Y. C.; JUNG, H.; PARK, S. K. An effective biocontrol bioformulation against *Phytophthora* blight of pepper using growth mixtures of combined chitinolytic bacteria under different field conditions. **European Journal of Plant Pathology**, v. 120, p. 373–382, 2008.

LEWISOSCAR, F. et al. Biofilm Inhibitory Effect of *Spirulina platensis* Extracts on Bacteria of Clinical Significance. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 87, n. 2, p. 537–544, 2017.

OPPEDISANO, T.; RONDON, S. I.; THOMPSON, D. I. Effects of Selected Biopesticides on Two Arthropod Pests of *Cannabis sativa* L. in Northeastern Oregon. **Agrochemicals**, v. 4, p. 19, 2025.

RAMÍREZ-POOL, J. A. et al. *Bacillus* Strains as Effective Biocontrol Agents Against Phytopathogenic Bacteria and Promoters of Plant Growth. **Microbial Ecology**, v. 87, p. 76, 2024.

ROGERS, M. A. et al. Toxicity and efficacy of novel biopesticides for organic management of cucumber beetles on Galia muskmelons. **Organic Agriculture**, v. 7, p. 365–377, 2017.,

RUIU, L. Insect Pathogenic Bacteria in Integrated Pest Management. **Insects**, v. 6, n. 2, p. 352-367, 2015.

SAIYAD, S. M. et al. Anti-biofilm activity of *Bacillus safensis* subsp. *osmophilus* SD2 against multidrug resistant hospital isolates of ESKAPE group. **Biologia**, v. 81, p. 3, 2026.

SHANNAG, H. K. Efficacy of Betaproteobacteria-based insecticides for managing whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on cucumber plants. **Open Agriculture**, v. 10, p. 20250408, 2025.

SHANNAG, H. K.; AL-SALMAN, A. A. Lethal and sublethal effects of selected bacterial and neem-based novel insecticides on cotton aphid, *Aphis gossypii* and the predator, *Coccinella septempunctata*. **Bulletin of Entomological Research**, p. 141–154, 2025.

SILVA, G. J. et al. Spray deposition and drift in soybean crop with different spray nozzles and adjuvants. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1332–1342, 2013. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v29n5a2013-15412>.

SPANOGHE, P. et al. Spray deposition results from drones and ground sprayers used in a cereal field. **Aspects of Applied Biology**, v. 132, p. 99–107, 2016.

YOUNG, B. W. **Adjuvants for herbicides**. In: *HERBICIDE HANDBOOK*. 8. ed. Champaign: Weed Science Society of America, 2003. p. 406–411.

CAPÍTULO 6

MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO NA AGRICULTURA TROPICAL: MECANISMOS, RESPOSTAS AGRONÔMICAS E IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO DO FÓSFORO

PHOSPHATE-SOLUBILIZING MICROORGANISMS IN TROPICAL AGRICULTURE: MECHANISMS, AGRONOMIC RESPONSES, AND IMPLICATIONS FOR PHOSPHORUS MANAGEMENT

DOI: <https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.06>

Submetido em: 23/04/2026

Revisado em: 28/04/2026

Publicado em: 29/04/2026

Alasse Oliveira da Silva

Mestre e doutorando em Fitotecnia Esalq/USP, Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/2723161231656669>

Jhonatah Albuquerque Gomes

Mestre e doutorando em Fitotecnia Esalq/USP, Piracicaba-SP

Dioclea Almeida Seabra Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

Ismael de Jesus Matos Viegas

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

<http://lattes.cnpq.br/5645151005844327>

Maila Pereira de Almeida

Doutoranda em engenharia de sistemas agrícolas Esalq/USP, Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/8563497633674034>

Silvia Kalini dos Santos de Lima

Mestra em Solos e Nutrição de Plantas Esalq/USP, Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/9901888136752818>

Lusiane de Sousa Ferreira

Doutora em Agronomia – Agricultura Unesp/Botucatu

<http://lattes.cnpq.br/2873060128693838>

Layana Gomes do Nascimento

Mestrado em Agronomia (Agricultura) - UNESP, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/4840704420400010>

Mário Jorge Amoras Alves Filho

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Belém-PA

Lorrany Silva Moraes Amoras

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Belém-PA

Resumo

Microrganismos solubilizadores de fósforo (MSMF) são estudados como alternativa para aumentar a disponibilidade de fósforo em solos tropicais ácidos, caracterizados por elevada adsorção de fosfato e baixa eficiência de fertilizantes. Esta revisão sistemática, foi conduzida conforme PRISMA 2020, analisou estudos sobre diversidade microbiana, mecanismos de solubilização e respostas agronômicas em culturas tropicais, com ênfase em milho, soja e arroz. Bactérias, actinobactérias e fungos solubilizadores atuam por produção de ácidos orgânicos e fosfatases, aumentando o fósforo disponível no solo e favorecendo o crescimento vegetal. Em condições de campo, foram observados incrementos em biomassa, teor de P e rendimento, principalmente em solos com baixa disponibilidade inicial e quando a inoculação foi associada a fontes pouco solúveis. Os resultados variam conforme solo, estirpe e manejo, indicando que MSMF devem ser utilizados como parte do manejo integrado do fósforo, com necessidade de validação em diferentes ambientes e desenvolvimento de formulações estáveis.

Palavras-chave: microrganismos solubilizadores de fósforo; solos tropicais; disponibilidade de fósforo; bioinsumos; rizosfera.

Abstract

Phosphate-solubilizing microorganisms (PSM) have been investigated as an alternative to increase phosphorus availability in tropical acid soils with high phosphate fixation and low fertilizer efficiency. This systematic review, following PRISMA 2020 guidelines, evaluated studies on microbial diversity, solubilization mechanisms, and agronomic responses in tropical crops, mainly maize, soybean, and rice. Bacteria, actinobacteria, and fungi release phosphorus through organic acids and phosphatases, increasing soil available P and plant growth. Field studies report gains in biomass, plant P content, and yield, especially in soils with low initial P and when inoculation is combined with low-solubility sources. Results vary according to soil, strain, and management, indicating that PSM should be used as part of integrated phosphorus management and require validation under different field conditions.

Keywords: Phosphate-solubilizing microorganisms; tropical soils; phosphorus availability; bioinputs; rhizosphere.

Introdução

O fósforo (P) está entre os nutrientes que mais limitam a produção agrícola em solos tropicais altamente intemperizados, como Latossolos e Argissolos, que ocupam grande parte das áreas cultivadas no Brasil (SANTOS *et al.*, 2023). Nesses solos, a fração disponível de P apresenta valores inferiores a 10 mg dm⁻³ de P determinado por resina, condição associada à adsorção por óxidos de ferro e alumínio, ao pH ácido (4,5–5,5) e à saturação por alumínio, fatores que reduzem a eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados aplicados ao solo (OLIVEIRA *et al.*, 2024; REIS *et al.*, 2022). Como consequência, parte do P adicionado permanece em formas pouco lábeis, o que aumenta a necessidade de adubação fosfatada e eleva os custos de produção, que podem variar entre R\$ 250 e R\$ 450 ha⁻¹ por safra, conforme estimativas de preços de fertilizantes (CONAB, 2025). A dependência de fertilizantes fosfatados importados permanece elevada no Brasil, o que representa de 85% do consumo nacional, segundo relatórios do setor de fertilizantes (ANDA, 2024).

Nesse contexto, Microrganismos Solubilizadores de Fósforo (MSMF) são estudados como alternativa para aumentar a mobilização de formas pouco solúveis de P no solo (LI *et al.*, 2024). Bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Priestia*, fungos como *Aspergillus* e *Penicillium*, actinobactérias do gênero *Streptomyces* e fungos micorrízicos arbusculares apresentam capacidade de liberar fosfato por meio da produção de ácidos orgânicos, enzimas fosfatases e alterações no pH da rizosfera. Esses mecanismos permitem a conversão de fosfatos associados a alumínio, ferro ou cálcio em formas assimiláveis pelas plantas (SANTOS *et al.*, 2023; BARBOSA *et al.*, 2021). Ensaio conduzidos em condições controladas relatam valores de solubilização entre 200 e 410 µg mL⁻¹, além de aumentos no fósforo disponível no solo e na eficiência de uso de P pelas plantas, com variação conforme a fonte de fósforo e o microrganismo utilizado (OLIVEIRA *et al.*, 2024; REIS *et al.*, 2022).

Apesar desses resultados, a resposta agronômica observada em condições de campo apresenta variação considerável. Revisões da literatura relatam aumentos de produtividade em culturas como milho e soja após inoculação com microrganismos solubilizadores (VERMA *et al.*, 2024), enquanto experimentos conduzidos em solos tropicais mostram respostas dependentes do tipo de solo, da estirpe microbiana, da formulação do inoculante, das condições climáticas e da forma de adubação fosfatada utilizada (RIBEIRO *et al.*, 2015; FIGUEIREDO *et al.*, 2022). A falta de sínteses

sistemáticas específicas para ambientes tropicais, com separação por cultura, tipo de solo e tipo de inoculante, dificulta a interpretação conjunta dos resultados e limita a elaboração de recomendações agronômicas consistentes (LI *et al.*, 2024).

Diante dessa lacuna, objetivo deste trabalho é realizar uma revisão sistemática da literatura sobre microrganismos solubilizadores de fósforo em sistemas agrícolas tropicais. Busca-se: (i) descrever a diversidade taxonômica e os mecanismos de solubilização e mineralização de fósforo em solos ácidos; (ii) compilar resultados experimentais sobre alterações na disponibilidade de P, crescimento e rendimento de culturas como milho, soja e arroz; (iii) comparar interpretações provenientes de revisões globais e de experimentos conduzidos em condições de campo no Brasil; e (iv) identificar demandas de pesquisa relacionadas à validação em múltiplos ambientes, desenvolvimento de formulações estáveis e avaliação econômica do uso de inoculantes.

Metodologia

Esta revisão sistemática foi conduzida de acordo com as diretrizes PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021), com definição prévia da estratégia de busca, critérios de elegibilidade, procedimento de seleção e método de síntese dos resultados.

- **Estratégia de busca e fontes de dados**

A busca bibliográfica foi realizada em março de 2026 nas bases Web of Science, Scopus, SciELO, Portal de Periódicos CAPES, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações e repositórios institucionais da Embrapa (Alice e Infoteca-e). Foram utilizados termos em inglês e português relacionados a solubilização de fósforo, microrganismos, agricultura tropical e ensaios de campo, combinados com operadores booleanos.

Foram aplicados os seguintes filtros: período de 2015 a 2026, idiomas português, inglês ou espanhol, e inclusão apenas de artigos, teses, dissertações ou relatórios técnicos com dados experimentais. Revisões sem dados primários e estudos exclusivamente *in vitro* foram excluídos. A busca foi complementada por verificação das referências dos trabalhos selecionados e por consulta em bases de literatura cinzenta.

- **Crítérios de inclusão e exclusão**

Foram incluídos estudos conduzidos em solos tropicais ou subtropicais com avaliação do efeito de microrganismos solubilizadores de fósforo em plantas cultivadas.

Os trabalhos deveriam apresentar tratamento controle, número mínimo de três repetições por tratamento e dados quantitativos de fósforo disponível, crescimento vegetal ou produtividade.

Foram excluídos estudos sem comparação com controle, ensaios realizados apenas em meio de cultura, trabalhos sem descrição do delineamento experimental, estudos realizados em solos de clima temperado e publicações sem acesso ao texto completo.

- **Seleção dos estudos e extração de dados**

A seleção foi realizada em etapas de identificação, triagem e elegibilidade. Inicialmente foram avaliados títulos e resumos, seguidos da leitura completa dos trabalhos relevantes. A seleção foi realizada por dois revisores de forma independente, com resolução de divergências por consenso.

Para cada estudo incluído foram registrados autor, ano, cultura avaliada, tipo de solo, microrganismo utilizado, dose de inoculante, fonte e dose de fósforo, delineamento experimental, número de repetições e variáveis avaliadas. Entre os desfechos considerados estiveram fósforo disponível no solo, biomassa, rendimento de grãos e variáveis fisiológicas associadas à nutrição fosfatada.

- **Síntese e análise dos resultados**

Os resultados foram organizados de forma comparativa por cultura, tipo de solo, tipo de microrganismo e forma de adubação fosfatada. Devido à heterogeneidade dos métodos e das variáveis avaliadas, não foi realizada metanálise formal. A síntese foi descritiva, com apresentação de intervalos de resposta e frequência de efeitos positivos observados nos estudos incluídos.

A análise estatística limitou-se à estatística descritiva, realizada com planilha eletrônica e programa R, com objetivo de identificar tendências gerais e diferenças entre categorias de estudo.

- **Limitações da revisão**

A comparação entre estudos foi limitada pela diversidade de métodos de determinação de fósforo disponível, diferenças no tipo de solo, variação nas formulações de inoculantes e número reduzido de experimentos de longa duração. Observou-se predominância de estudos conduzidos no Brasil, em solos do Cerrado, o que restringe a extrapolação para outras regiões tropicais. Apesar dessas limitações, o conjunto de

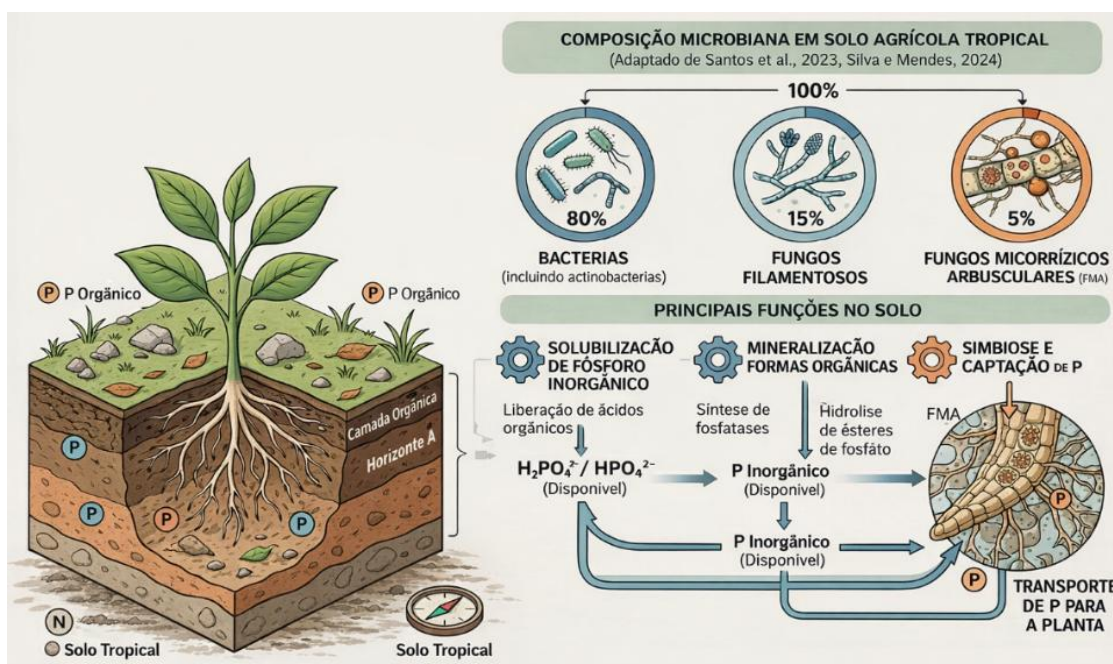
trabalhos selecionados permite avaliar tendências consistentes quanto ao efeito de microrganismos solubilizadores de fósforo em sistemas agrícolas tropicais.

Desenvolvimento

- **Diversidade e mecanismos de microrganismos solubilizadores de fósforo em ambientes tropicais**

A biomassa microbiana de solos agrícolas tropicais inclui microrganismos capazes de solubilizar fósforo inorgânico e mineralizar formas orgânicas (figura 2). Entre as linhagens isoladas descritas por Santos *et al.* (2023) e Silva e Mendes (2024), predominam bactérias (80% do total, incluindo actinobactérias), seguidas por fungos filamentosos (15%) e fungos micorrízicos arbusculares (5%). A separação de actinobactérias como grupo independente não se aplica, pois pertencem ao domínio Bacteria, sendo classificadas como filo Actinobacteria.

Figura 2 - Esquema conceitual da dinâmica do fósforo no solo agrícola tropical mediada por microrganismos, incluindo processos de solubilização, mineralização e transporte para a planta.



Entre as bactérias solubilizadoras de fósforo, Cruz *et al.* (2024) identificaram predominância dos gêneros *Bacillus* (incluindo espécies reclassificadas em *Priestia*, 42% dos isolados), *Pseudomonas* (25%), *Enterobacter* (18%) e *Rhizobium* (15%). Esses isolados apresentaram capacidade de solubilização de até $300 \mu\text{g mL}^{-1}$ de P, produção de ácido indolacético até $45 \mu\text{g mL}^{-1}$ e redução da incidência de patógenos entre 50 e 70%,

variáveis quantificadas em ensaios *in vitro* com delineamento inteiramente casualizado e três repetições por tratamento.

Segundo Oliveira *et al.* (2024), actinobactérias do gênero *Streptomyces* isoladas de solos ácidos do Cerrado e de rizosfera de milho e soja apresentaram solubilização de fontes insolúveis de fósforo com valores entre 200 e 410 $\mu\text{g mL}^{-1}$, dependendo da fonte utilizada: fitato (410 $\mu\text{g mL}^{-1}$), fosfato tricálcico (300 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e rocha fosfática (200 $\mu\text{g mL}^{-1}$) (Oliveira *et al.*, 2024). Nos fungos, espécies de *Aspergillus* e *Penicillium* reduziram o pH do meio de 7,0 para valores entre 4,5 e 5,5 e apresentaram índice de solubilização superior a 2,0 em meio sólido contendo fosfatos de cálcio, ferro e alumínio (Nasser e Sahli, 2020; Kumar *et al.*, 2022).

Em solos altamente intemperizados, isolados provenientes de ambientes com pH < 5,5 e saturação por alumínio > 30% apresentaram maior mobilização de fósforo em ensaios com fosfato tricálcico, com média de 68 mg L^{-1} , enquanto isolados de solos com pH próximo da neutralidade apresentaram média de 23 mg L^{-1} (Santoyo *et al.*, 2023).

A combinação de solubilização de fósforo, produção de fitase, síntese de auxinas e atividade antagonista contra patógenos foi associada ao aumento de massa seca, teor foliar de P e produtividade em ensaios de casa de vegetação e campo, variáveis utilizadas como resposta agronômica nos estudos analisados.

- **Efeitos dos microrganismos solubilizadores de fósforo sobre a transformação do P e atributos do solo**

A transformação do fósforo no solo mediada por microrganismos solubilizadores de fósforo (MSMF) envolve solubilização, mineralização e imobilização, processos que alteram o teor de P disponível determinado por resina em solos tropicais (Li *et al.*, 2024). Em revisão mecanística, Li *et al.* (2024) relataram que o fósforo orgânico na forma de fitato corresponde a 30–50% do P total do solo e pode ser convertido em ortofosfato por ação de fitases e fosfatases, enquanto frações inorgânicas associadas a Al (40–60%) e Fe (20–30%) são mobilizadas por excreção de ácidos orgânicos. Em condições de pH entre 4,5 e 5,5, a inoculação com MSMF elevou o P-resina entre 25 e 45% e aumentou a taxa de ciclagem microbiana de P na rizosfera entre 30 e 50% (Li *et al.*, 2024; Santos e Reis, 2022).

Consórcios formados por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e bactérias solubilizadoras de fósforo (BSP) aumentam a absorção de P e a biomassa radicular quando comparados a inoculações isoladas. Verma *et al.* (2024) realizaram uma

metanálise com 22 ensaios conduzidos em solos com pH < 6,0 e P-resina < 12 mg dm⁻³, nos quais a co-inoculação de *Rhizophagus irregularis* com *Bacillus subtilis* ou *Pseudomonas fluorescens* elevou a colonização micorrízica entre 65 e 80%, aumentou o comprimento radicular entre 40 e 55% e elevou o teor de matéria orgânica do solo em 15%, além de aumentar a atividade enzimática total em 42%. Nos mesmos estudos, solos com Al³⁺ superior a 1,5 cmolc dm⁻³ apresentaram maior incremento de P-resina e maior biomassa radicular, com redução de 25–40% na dose de fertilizante fosfatado sem redução de produtividade (Verma *et al.*, 2024; Santos e Reis, 2022).

Resultados obtidos em condições de campo indicam alterações em atributos do solo após inoculação com MSMF. Reis *et al.* (2022) conduziram experimento com milho em Latossolo Vermelho distrófico (pH 5,2; P-resina inicial de 8 mg dm⁻³), em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. A aplicação de consórcio contendo *Priestia megaterium* e *Bacillus subtilis* (10⁸ UFC g⁻¹) elevou o P-resina para 26 mg dm⁻³ aos 60 dias após a semeadura e aumentou a atividade de fosfatase ácida de 120 para 178 µg pNP g⁻¹ h⁻¹, com aumento de 28% na massa seca radicular. Em soja cultivada em solo do Cerrado com 45–55% de argila e aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Pereira *et al.* (2024), observaram aumento de P-resina de 11 para 14 mg dm⁻³ e aumento da fosfatase ácida de 140 para 189 µg pNP g⁻¹ h⁻¹ aos 90 dias após a semeadura, em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Os efeitos foram observados até a colheita, com redução de 18% na dose de superfosfato simples.

- **Respostas em milho e cereais**

Santos e Reis (2022) avaliaram milho em solo com 35–55% de argila e P-resina entre 6 e 9 mg dm⁻³, utilizando consórcio *Bacillus* + *Pseudomonas* (10⁸ UFC ha⁻¹) associado a 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A biomassa aérea aumentou de 2,1 para 2,6 kg planta⁻¹, o comprimento radicular de 45 para 59 cm e a eficiência de uso de P de 12 para 15 g grão g⁻¹ P, com aumento de P-resina de 7 para 9,2 mg dm⁻³ aos 45 dias após o plantio (ANOVA F = 12,4; p < 0,01).

Reis *et al.* (2022) conduziram experimento com milho em Latossolo Vermelho distrófico (pH 5,2; P-resina inicial de 8 mg dm⁻³), utilizando inoculante contendo *Priestia megaterium* e *Bacillus subtilis* (10⁸ UFC g⁻¹). A massa seca radicular aumentou 28% e o P-resina passou de 8 para 26 mg dm⁻³ aos 60 dias após a semeadura, com aumento de 35% na frequência de gêneros solubilizadores na rizosfera. A produtividade variou de 8,2 para 9,1 t ha⁻¹, com influência de precipitação entre 850 e 1.200 mm durante o ciclo.

Ribeiro *et al.* (2015) testaram dez isolados de bactérias solubilizadoras em milho cultivado no Cerrado, com aplicação de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de rocha fosfática. O isolado 310 elevou a produtividade em 19% em relação ao controle, com diferença detectada pelo teste de Tukey a 5%.

Oliveira *et al.* (2016) isolaram 59 microrganismos da rizosfera de milho eficiente em fósforo, com solubilização média de $263 \mu\text{g mL}^{-1}$ em meio contendo fosfato de Araxá e Itafós, e aumento de 41% na biomassa em casa de vegetação sem adição de P solúvel.

- **Respostas em soja e leguminosas**

Barbosa *et al.* (2021) avaliaram *Streptomyces* sp. 3AS4 em soja cultivada em solo com pH 5,0 e aplicação de rocha fosfática equivalente a 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A biomassa aérea aumentou de 4,5 para 5,6 g planta^{-1} , o teor foliar de P de 0,22 para 0,29% e o número de nódulos aumentou em 18 unidades por planta.

Pereira *et al.* (2024) avaliaram co-inoculação de MSMF e rizóbio em solo do Cerrado com 45–55% de argila e aplicação de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 . O rendimento aumentou de 3,2 para 3,8 t ha^{-1} , a atividade de fosfatase passou de 140 para 189 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ aos 90 dias e o número de nódulos aumentou de 45 para 61 por planta, em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições.

Figueiredo *et al.* (2022) avaliaram co-inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e bactérias solubilizadoras em soja durante dois anos em campo, e observaram aumento de 15–20% no rendimento e 28% no teor foliar de P, com quatro repetições por tratamento.

Vilela (2023) avaliou *Bacillus megaterium* B119 e *Bacillus subtilis* B2084 em soja cultivada em Morrinhos-GO, em parcelas de $2 \times 10 \text{ m}$, com quatro repetições, e observou aumento de 25% na absorção de P, aumento de 20% no número de nódulos e retorno econômico positivo calculado a partir do preço de fertilizante fosfatado em 2023.

- **Respostas em arroz e sistemas encharcados**

Kumar *et al.* (2022) avaliaram *Aspergillus* sp. e *Bacillus megaterium* em solo aluvial com pH 5,8 e P-Olsen de 9 mg kg^{-1} . O P disponível aumentou para $11,3 \text{ mg kg}^{-1}$, o número de panículas passou de 250 para 300 m^{-2} e o rendimento aumentou de 5,8 para 6,7 t ha^{-1} , com redução de 25% na dose de fertilizante fosfatado.

Nasser e Sahli (2020) observaram aumento de 22% no rendimento em arroz cultivado sob inundação com inoculação de microrganismos solubilizadores.

Simão (2025) avaliou bactérias promotoras de crescimento em arroz tropical, observando aumento de eficiência de uso de fósforo entre 20 e 30% em solos com baixa disponibilidade.

Ensaio conduzido pela Embrapa em arroz irrigado indicaram aumento de número de grãos por panícula e ausência de toxidez por Fe e Mn após correção do solo e inoculação com microrganismos solubilizadores

- **Respostas em arroz em outras culturas tropicais**

Santos e Reis (2022) observaram aumento de 28% na biomassa de hortaliças cultivadas em solo com P-resina inferior a 8 mg dm^{-3} após inoculação com microrganismos solubilizadores.

Ribeiro *et al.* (2015) verificaram aumento de 18% na produção de colmos de cana-de-açúcar em solo arenoso do Cerrado com aplicação de rocha fosfática associada a bactérias rizosféricas. Cruz *et al.* (2024) relataram aumento de 25% no teor foliar de P e 15% na produtividade em milho doce cultivado em solo com baixa disponibilidade de fósforo.

Oliveira *et al.* (2016) confirmaram capacidade de solubilização entre 200 e 300 $\mu\text{g mL}^{-1}$ em isolados da rizosfera de milho-doce, com aumento de crescimento em casa de vegetação. Verma *et al.* (2024) reportaram aumento entre 12 e 20% na biomassa de feijão e mandioca em solos ácidos, com maior resposta em pH inferior a 5,5.

- **Síntese da literatura**

A revisão dos estudos indica aumento do fósforo disponível no solo e incremento de rendimento em culturas tropicais após inoculação com microrganismos solubilizadores de fósforo, principalmente em solos com P-resina inferior a 10 mg dm^{-3} . Oliveira *et al.* (2024), ao analisarem 28 artigos publicados entre 2010 e 2023, relataram solubilização média de $263 \mu\text{g mL}^{-1}$ e resposta positiva de crescimento na maioria dos experimentos avaliados.

Em condições de campo, Ribeiro *et al.* (2015) registraram aumento de 19% na produtividade de milho com aplicação de rocha fosfática associada a bactérias solubilizadoras, com diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%. Resultados semelhantes foram descritos por Figueiredo *et al.* (2022), que observaram aumento de 15 a 20% no rendimento e maior teor foliar de fósforo em soja inoculada com consórcio microbiano.

Barbosa *et al.* (2021) verificaram maior capacidade de solubilização em isolados nativos do Cerrado quando comparados a inoculantes comerciais, com diferença confirmada por análise de variância. De forma semelhante, Verma *et al.* (2024) relataram maior frequência de resposta positiva quando foram utilizados consórcios microbianos, especialmente em solos ácidos.

Avaliações econômicas apresentadas por Vilela (2023) indicaram redução no uso de fertilizante fosfatado e aumento do retorno econômico em sistemas com inoculação microbiana, considerando os preços vigentes no período experimental. Relatórios nacionais também indicam elevada dependência de fertilizantes fosfatados importados, o que reforça a importância de alternativas que aumentem a eficiência de uso de fósforo em sistemas agrícolas tropicais.

- **Comparação de abordagens e pontos de vista**

A literatura sobre microrganismos solubilizadores de fósforo (MSMF) em sistemas agrícolas tropicais apresenta resultados contrastantes quanto à magnitude e à estabilidade dos efeitos agronômicos. Revisões globais e estudos conduzidos em condições controladas relatam aumentos de crescimento e rendimento, enquanto experimentos de campo em solos tropicais mostram maior variação associada a tipo de solo, clima e manejo. Essa diferença indica que a resposta à inoculação depende da adaptação do isolado, do teor inicial de fósforo no solo e da validação em diferentes ambientes.

Estudos de síntese relatam incrementos entre 15 e 30% no crescimento ou rendimento após inoculação com MSMF, atribuídos à solubilização de fósforo, produção de compostos promotores de crescimento e alterações na rizosfera (Santos e Reis, 2022; Verma *et al.*, 2024). Em contraste, ensaios conduzidos em Latossolos e Argissolos mostram respostas menores ou inconsistentes, como aumento de 11% no rendimento de milho com forte influência da precipitação durante o ciclo (Reis *et al.*, 2022), e efeito significativo apenas para parte dos isolados avaliados em condições do Cerrado (Ribeiro *et al.*, 2015).

Diferenças semelhantes são observadas quanto à redução da adubação fosfatada. Revisões indicam possibilidade de reduzir a dose de fertilizante quando a inoculação é associada a rocha fosfática ou ao fósforo residual do solo (Ribeiro *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2022), enquanto estudos de campo mostram risco de redução de rendimento quando a resposta microbiana é baixa ou instável, principalmente em solos com elevada

variabilidade química e hídrica. Avaliações econômicas indicam retorno positivo em condições experimentais específicas, porém dependente da estabilidade do inoculante e do manejo adotado (Vilela, 2023).

Outro ponto de divergência refere-se à estabilidade dos inoculantes em campo. Isolados obtidos de solos tropicais podem apresentar tolerância à acidez e ao alumínio, com aumento de crescimento em condições de baixa disponibilidade de fósforo (Barbosa *et al.*, 2021). Entretanto, experimentos em condições de campo mostram que microclima, competição com microbiota nativa e armazenamento do inoculante podem reduzir a eficiência, principalmente em ambientes com alta temperatura e variação hídrica (Reis *et al.*, 2022; Ribeiro *et al.*, 2015).

O uso de consórcios microbianos também apresenta resultados variáveis. Revisões relatam aumento de rendimento quando bactérias solubilizadoras são associadas a fungos micorrízicos ou fixadores de nitrogênio (Figueiredo *et al.*, 2022; Verma *et al.*, 2024), enquanto estudos aplicados indicam dificuldades de formulação, registro e padronização em escala comercial, além de maior variabilidade entre ensaios.

De forma geral, os resultados positivos são mais frequentes em solos com baixa disponibilidade de fósforo e quando são utilizados isolados adaptados ao ambiente local. A validação em experimentos multilocais e de longa duração permanece necessária para estabelecer recomendações agronômicas consistentes para sistemas tropicais.

Considerações Finais

Os microrganismos solubilizadores de fósforo podem contribuir para o manejo do fósforo em sistemas agrícolas tropicais, especialmente em solos ácidos e altamente intemperizados, onde a disponibilidade do nutriente é limitada. A diversidade taxonômica e funcional desses microrganismos permite a solubilização de formas inorgânicas, a mineralização de fósforo orgânico e a modificação da rizosfera, com efeitos sobre a disponibilidade de P no solo, o desenvolvimento radicular e o crescimento das plantas. Esses processos assumem maior relevância em ambientes tropicais, nos quais a elevada adsorção de fosfato e a acidez do solo reduzem a eficiência de fertilizantes solúveis.

Os estudos analisados indicam aumento do fósforo disponível no solo, maior teor de P nos tecidos vegetais e incrementos de crescimento em culturas como milho, soja e arroz, principalmente quando a inoculação é associada a fontes pouco solúveis, como rocha fosfática. Entretanto, a magnitude da resposta em campo é variável e depende de fatores como tipo de solo, condições climáticas, estirpe utilizada e manejo da adubação.

Resultados mais consistentes são observados quando há seleção de isolados adaptados ao ambiente, formulações estáveis e integração com práticas de manejo do solo.

Dessa forma, os microrganismos solubilizadores de fósforo devem ser considerados como componente complementar do manejo do fósforo, e não como substituição isolada da adubação fosfatada. O uso combinado com fontes de menor solubilidade e a validação em experimentos multilocais são necessários para definir recomendações agronômicas confiáveis. Estudos futuros devem priorizar ensaios de longa duração, avaliação da estabilidade dos inoculantes e integração de análises agronômicas, econômicas e ambientais, para consolidar o uso desses microrganismos em sistemas agrícolas tropicais.

Referências

ANDA. Relatório anual de fertilizantes fosfatados. Associação Nacional para Difusão de Adubos, São Paulo, 2024. 78 p.

BARBOSA, I. M. et al. An actinobacterium strain from soil of Cerrado promotes phosphorus solubilization and plant growth in soybean plants. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, Lausanne, v. 9, p. 579906, 2021. DOI: 10.3389/fbioe.2021.579906.

CONAB. Acompanhamento de safra: custos de produção. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, DF, 2025. 45 p. (Boletim Técnico, n. 12).

CRUZ, J. C. et al. Fosforo na agricultura tropical brasileira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Piracicaba, v. 48, e0240012, 2024.

FIGUEIREDO, M. V. B. et al. Increase in yield, leaf nutrient, and profitability of soybean with co-inoculation of arbuscular mycorrhiza fungi and rhizobia in field. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 46, e0220066, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbc20220066.

KUMAR, V. et al. Phosphate-solubilizing microorganisms for sustainable phosphorus management in rice. *Rhizosphere*, [S. l.], v. 5, p. 100081, 2022. DOI: 10.1016/j.rhisph.2022.100081.

LI, Y. et al. Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by phosphate-solubilizing microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, Lausanne, v. 15, p. 1383813, 2024. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1383813.

NASSER, A.; SAHLI, H. Phosphate solubilizing microorganisms and their use in sustainable agriculture. *Semantic Scholar*, 2020.

OLIVEIRA, G. S. et al. Microorganismos multifuncionais na agricultura: uma revisão sistemática sobre bactérias solubilizadoras de fósforo. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 17, n. 1, 2024.

PEREIRA, A. V. et al. Effect of phosphate-solubilizing bacteria on soybean yield in Cerrado soils. *Revista Agrineo*, v. 5, p. 9193, 2024.

RIBEIRO, C. M. et al. Phosphate-solubilizing bacteria and phosphorus fertilization. *Embrapa*, Documentos, n. 1180528, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1180528>>. Acesso em: 25 mar. 2026.

REIS, F. M. et al. Influence of phosphorus-solubilizing microorganisms and phosphorus sources on millet growth. *African Journal of Microbiology Research*, v. 16, n. 3, p. 95-103, 2022.

SANTOS, M. S. et al. Phosphorus-solubilizing microorganisms: a key to sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, Lausanne, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1141181.

SANTOS, R. M.; REIS, F. M. Influence of phosphorus-solubilizing microorganisms on tropical crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2022.

SILVA FILHO, G. N. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 6, p. 847-855, 2002. DOI: 10.1590/S0100-204X2002000600012.

SIMÃO, B. R. Prospecção de bactérias solubilizadoras de fosfato para culturas tropicais. 2025. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2025.

VERMA, R. et al. Phosphate-solubilizing microorganisms for soil health and sustainable agriculture. *PMC*, v. 12, 2024.

VILELA, A. P. Microrganismos solubilizadores de fósforo (MSPs) na cultura da soja. [S. l.], Instituto Federal Goiano, 2023. 120 p. (Dissertação Mestrado).

Outras fontes Embrapa citadas:

EMBRAPA. Phosphate-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils. Documentos, n. 1123901, 2016.

EMBRAPA. Inoculantes solubilizadores de fosfato. Infoteca-e, 2023.

CAPÍTULO 7

FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS NO CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS NO BRASIL: UMA REVISÃO DA LITERATURA

ENTOMOPATHOGENIC FUNGI IN THE BIOLOGICAL CONTROL OF PESTS IN BRAZIL: A LITERATURE REVIEW

DOI: <https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.07>

Submetido em: 23/04/2026

Revisado em: 28/04/2026

Publicado em: 29/04/2026

Alasse Oliveira da Silva

Mestre e doutorando em Fitotecnia Esalq/USP, Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/2723161231656669>

Dioclea Almeida Seabra Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

Karen Nascimento Campos

Estudante de Agronomia - Esalq/USP, Piracicaba-SP

Antonio Carlos Inforçato Rodrigues

Estudante de Agronomia - Esalq/USP, Piracicaba-SP

Allan Mayron Rodrigues Costa

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

Maria Rafaela Carvalho Carvalho

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

Janilson Santos dos Anjos

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

Edinalva da Silva Gomes

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

Thaynara Reis Corrêa

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

Livia Vitória Das Neves Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia, Departamento de Agronomia, Capanema-PA

Resumo

Os fungos entomopatogênicos constituem um dos grupos de microrganismos mais estudados e relevantes no controle biológico de pragas agrícolas no Brasil. Espécies como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Cordyceps fumosorosea* demonstram elevado potencial como biopesticidas, com mecanismos de infecção que envolvem adesão cuticular, germinação de conídios, produção de enzimas degradadoras e colonização sistêmica do inseto hospedeiro. O Brasil, detentor de vasta biodiversidade fúngica e um dos maiores mercados globais de biopesticidas, tem consolidado o uso de micoinseticidas em culturas como cana-de-açúcar, milho, soja e citros. O objetivo dos autores foi revisar a literatura científica sobre o uso de fungos entomopatogênicos no controle biológico de pragas no contexto brasileiro e discutir os principais agentes fúngicos, seus mecanismos de ação, culturas-alvo, resultados de eficácia reportados e perspectivas futuras. As evidências reunidas indicam que os fungos entomopatogênicos são alternativas viáveis, eficazes e ambientalmente seguras aos agrotóxicos convencionais, com perspectivas crescentes de expansão no mercado nacional.

Palavras-chave: *Beauveria bassiana*; *Metarhizium anisopliae*; biopesticidas; Manejo Integrado de Pragas; controle microbiano; bioinsumos.

Abstract

Entomopathogenic fungi constitute one of the most studied and relevant groups of microorganisms for the biological control of agricultural pests in Brazil. Species such as **Beauveria bassiana**, **Metarhizium anisopliae**, and **Cordyceps fumosorosea** show high potential as biopesticides, with infection mechanisms that involve cuticular adhesion, conidial germination, production of degrading enzymes, and systemic colonization of the insect host. Brazil, which holds vast fungal biodiversity and is one of the largest global markets for biopesticides, has consolidated the use of mycoinsecticides in crops such as sugarcane, maize, soybean, and citrus. The objective of the authors was to review the scientific literature on the use of entomopathogenic fungi for biological pest control in the Brazilian context and to discuss the main fungal agents, their mechanisms of action, target crops, reported efficacy results, and future perspectives. The gathered evidence indicates that entomopathogenic fungi are viable, effective, and environmentally safe alternatives to conventional pesticides, with increasing prospects for expansion in the national market.

Keywords: *Beauveria bassiana*; *Metarhizium anisopliae*; biopesticides; Integrated Pest Management; microbial control; bioinputs.

Introdução

A agropecuária brasileira é um dos pilares da economia nacional, e coloca o Brasil entre os maiores produtores e exportadores mundiais de commodities como soja, milho, cana-de-açúcar, algodão e frutas tropicais. Esse modelo produtivo intensivo, que combina múltiplas safras anuais, criação contínua de animais e monocultura em larga escala, gera condições favoráveis ao desenvolvimento e à proliferação de pragas agrícolas e exige estratégias sistemáticas e eficazes de controle. Conforme discutido por Oliveira (2023), a

necessidade da implementação estratégica de táticas de controle de insetos-praga é uma realidade inerente à agricultura brasileira moderna, com impacto direto sobre a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção.

O histórico de uso de fungos entomopatogênicos no Brasil remonta ao final da década de 1960, com o pioneiro programa de controle da cigarrinha *Mahanarva posticata* com *Metarhizium anisopliae* na cana-de-açúcar nordestina, que se tornou referência mundial e prova de conceito para o desenvolvimento de novos programas. Desde então, o setor de biopesticidas no país expandiu-se consideravelmente, e o mercado brasileiro de biopesticidas foi estimado em US\$ 257,25 milhões em 2024, com projeção de atingir US\$ 408,73 milhões até 2029, segundo a Mordor Intelligence (2023). O Programa Nacional de Bioinsumos, lançado em 2019, reforçou ainda mais o ambiente regulatório e econômico favorável à expansão do uso desses agentes biológicos.

O objetivo dos autores foi realizar revisão da literatura científica sobre os principais fungos entomopatogênicos utilizados no controle biológico de pragas no Brasil. A análise abrange histórico, taxonomia, mecanismos de infecção, eficácia reportada em culturas economicamente relevantes, fatores condicionantes do desempenho em campo, aspectos de mercado e perspectivas futuras.

Metodologia

Este estudo consiste em revisão narrativa da literatura. As buscas foram realizadas nas seguintes bases de dados e repositórios científicos: Google Acadêmico, SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), *ScienceDirect*, Portal de Publicações da Embrapa, Repositório Institucional CAPES, Repositório Digital UFRRJ, Repositório UNESP, Repositório UFPE, Repositório UFPB, Repositório IF Goiano e BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações).

Os descritores utilizados nas buscas, isolados ou combinados, foram: fungos entomopatogênicos; controle biológico; pragas agrícolas Brasil; *Beauveria bassiana*; *Metarhizium anisopliae*; *Cordyceps fumosorosea*; *Isaria fumosorosea*; *Nomuraea rileyi*; micoinseticidas; biopesticidas; Manejo Integrado de Pragas; controle microbiano de insetos.

Foram considerados artigos científicos originais, dissertações, teses, publicações técnicas da Embrapa e revisões publicadas, com ênfase no período de 2000 a 2026, com prioridade para publicações dos últimos cinco anos (2021–2026).

Os critérios de exclusão compreenderam trabalhos que não abordassem fungos entomopatogênicos, que não apresentassem dados empíricos ou discussões aplicadas ao contexto brasileiro, ou que tratassem de espécies fúngicas sem aplicação em controle de pragas agrícolas ou vetoriais, com critério semelhante ao empregado por Souto *et al.* (2022).

Após a triagem e leitura integral dos materiais selecionados, as informações foram sistematizadas nas seguintes categorias temáticas: (i) histórico e contextualização; (ii) taxonomia e diversidade; (iii) mecanismos de infecção; (iv) principais espécies e culturas-alvo no Brasil, com dados de eficácia; (v) fatores que influenciam a eficácia em campo; (vi) produção, mercado e políticas públicas; e (vii) desafios e perspectivas futuras. A Tabela 1, resultante da síntese dos dados coletados na etapa de revisão, consolida as informações comparativas entre as principais espécies fúngicas de relevância no Brasil.

Desenvolvimento

• Histórico do Controle Biológico com Fungos no Brasil

A trajetória do controle biológico com fungos entomopatogênicos no Brasil é marcada por iniciativas pioneiras que se tornaram referência mundial. De acordo com Alves (1998), *apud* Loureiro e Moino Jr. (2006), o controle da cigarrinha *Mahanarva posticata* (Stål) com *Metarhizium anisopliae* na região Nordeste, iniciado em 1969, representou o primeiro programa de controle biológico por fungos em grande escala no país, e possivelmente um dos primeiros do mundo nesse modelo. Os resultados foram expressivos: na região de Alagoas, entre 1977 e 1991, foram pulverizados aproximadamente 670.000 ha de cana infestados por *M. posticata*, com redução de aproximadamente 72% nos índices de infestação. No mesmo período, a área tratada com inseticida químico caiu de 150.000 ha por ano para apenas 3.000 ha. Esses resultados comprovam a viabilidade e a eficácia do controle microbiano em grande escala (Almeida & Batista Filho, 2001, citados por Loureiro *et al.*, 2003).

Esse programa expandiu-se para outras regiões e culturas. Segundo dados apresentados por Almeida (2012) na Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB), a produção de *M. anisopliae* para controle da cigarrinha-da-parte-aérea *Mahanarva posticata* no Nordeste atingiu, na safra 2010/2011, 2.000 toneladas de produto, aplicadas em aproximadamente 232.000 ha nos estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe. Para o controle da cigarrinha-da-raiz (*Mahanarva fimbriolata*), a partir de

1999, o programa estendeu-se aos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso e Goiás, com produção de 1.750 toneladas e aplicação em 350.000 ha somente em São Paulo na safra 2011/2012 (Almeida, 2012).

O marco temporal desse programa mostra que o Brasil soube explorar sua biodiversidade fúngica para construir programas de controle biológico de escala inédita. Oliveira (2023) ressalta que a empresa Biomip Agentes Biológicos é exemplo atual dessa tradição e produz os micoinseticidas Biometa® (*M. anisopliae* isolado IBCB 425) e Biobassi® (*B. bassiana* isolado IBCB 66), ambos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), como parte de um mercado brasileiro de fungos entomopatogênicos que se expandiu notavelmente nas últimas décadas. Na consulta ao aplicativo "Bioinsumos", criado pelo MAPA e pela Embrapa, há mais de 700 bioinsumos cadastrados atualmente, o que reflete o expressivo avanço do setor no Brasil (BOLETIM ESALQ, 2024).

- **Taxonomia e Diversidade dos Fungos Entomopatogênicos**

Os fungos entomopatogênicos constituem um grupo funcional e polifilético, com representantes distribuídos principalmente no Filo Ascomycota, Ordem Hypocreales. As famílias Cordycipitaceae e Clavicipitaceae concentram a maioria das espécies de relevância prática no controle de pragas. De acordo com Alves (2006), o número de espécies de fungos entomopatogênicos conhecidas supera 750, e esses organismos são encontrados em todos os ecossistemas do planeta, inclusive em solos tropicais e subtropicais da América do Sul, onde a biodiversidade fúngica ainda é parcialmente desconhecida. No Brasil, foram identificados mais de 20 gêneros com ocorrência natural sobre insetos de importância agrícola, o que constitui patrimônio genético de valor estratégico para a bioeconomia nacional (Embrapa, 2016).

Em levantamento conduzido por pesquisadores da ESALQ/USP, identificaram-se 130 produtos à base de fungos entomopatogênicos em comercialização em escala global, distribuídos em pelo menos dez espécies ou variedades fúngicas (Mascarin & Moura, 2013). No Brasil, Oliveira (2023) destaca que o fungo mais estudado e produzido em escala comercial é *M. anisopliae*, fato que se explica pelo histórico pioneiro do programa de controle biológico das cigarrinhas da cana-de-açúcar, que impulsionou décadas de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e transferência de conhecimento para a cadeia produtiva.

Cabe destacar que a taxonomia dos fungos entomopatogênicos passou por revisões significativas nos últimos anos, com impacto direto na nomenclatura das espécies mais estudadas. Por meio de análises multigênicas, a maior parte das espécies do gênero *Isaria* foi transferida para o gênero *Cordyceps*, de modo que os nomes *Isaria fumosorosea*, *Paecilomyces fumosoroseus* e *Cordyceps fumosorosea* designam a mesma espécie. Da mesma forma, *Cordyceps javanica* é o nome atualmente aceito para o organismo anteriormente denominado *Isaria javanica*. Essas atualizações nomenclaturais são relevantes para a leitura crítica da literatura, pois trabalhos mais antigos utilizam denominações hoje consideradas sinônimas.

- **Mecanismo de Infecção**

O mecanismo de infecção dos fungos entomopatogênicos difere fundamentalmente do modo de ação dos inseticidas químicos convencionais. A infecção ocorre por contato direto com a cutícula do inseto, sem necessidade de ingestão do produto, o que confere a esses microrganismos vantagens importantes em relação aos agrotóxicos de ação estomacal. De acordo com Alves (2006), o processo infectivo inicia-se com a retenção dos conídios na superfície do integumento do inseto, seguida pela germinação e formação do tubo germinativo e, em seguida, pela excreção de enzimas líticas específicas que degradam os componentes da cutícula e permitem a penetração no hospedeiro. O processo conta ainda com a formação do apressório, estrutura que atua como ponto de ancoragem e aplicação de pressão mecânica, conjugada à ação enzimática, para transpor a barreira física do tegumento.

De acordo com informações da Universidade Fundação de Ensino Octávio Bastos (UNIFEQB, 2025), os insetos podem se contaminar através da cutícula, mas também por partes bucais e em dobras intersegmentares, como nas junções das pernas, que são regiões de maior umidade e cutícula mais delgada, o que favorece a penetração fúngica. Uma vez dentro do hemocele, o fungo se desenvolve na forma de corpos hifais que se disseminam ativamente por todos os tecidos do hospedeiro, inclusive músculos, corpos gordurosos, túbulos de Malpighi e hemócitos, e provoca a morte do inseto, em geral, entre 3 e 14 dias após a infecção, a depender da espécie fúngica, da cepa utilizada, da temperatura ambiente e da suscetibilidade do hospedeiro (Alves, 2006).

Após a morte do inseto, o fungo emerge através da cutícula e produz novos conídios na superfície do cadáver, o que possibilita a dispersão secundária do patógeno na população hospedeira. Esse ciclo confere ao controle microbiano uma característica

de efeito epidêmico, ausente nos inseticidas químicos, em que uma única aplicação pode desencadear infecções em cadeia na população de insetos. A letalidade e virulência de um fungo entomopatogênico estão também associadas à produção de metabólitos secundários com ação tóxica e imunossupressora, como beauvericinas, destruxinas, ciclosporinas e citocalasinas, que suprimem as respostas imunes do artrópode e intensificam a morte do hospedeiro (Oliveira, 2025). Costa Filho (2025) observou, em experimento com *B. bassiana*, *M. anisopliae* e *C. javanica* sobre lagartas de *S. frugiperda*, a emergência de estruturas miceliais a partir do tegumento dos insetos mortos, o que confirmou visualmente o sucesso da infecção e a colonização interna do hospedeiro pelos três fungos avaliados.

- **Principais Espécies e suas Aplicações no Brasil**

***Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, 1883**

Metarhizium anisopliae é o fungo entomopatogênico mais utilizado no Brasil, com mais de cinco décadas de aplicação em grande escala. Pertencente à família Clavicipitaceae, essa espécie apresenta conídios de coloração verde-olivácea a verde-escura, produzidos em colunas densas sobre os cadáveres dos insetos infectados, o que confere o aspecto característico de "múmia verde" aos hospedeiros mortos. No controle das cigarrinhas da cana-de-açúcar, Loureiro e colaboradores (2003) avaliaram a eficiência de três isolados de *M. anisopliae* (IBCB 10, ESALQ 1037 e PL 43) no controle de *Mahanarva fimbriolata* em condições de campo, em experimento instalado na Companhia Energética Santa Elisa (Sertãozinho, SP). Os resultados demonstraram que os isolados ESALQ 1037 (5 aplicações) e IBCB 10 (3 aplicações) mantiveram a população de ninfas abaixo de 3 indivíduos por metro linear durante 131 dias de avaliação, e foram considerados os mais eficientes no controle da praga, ao passo que o isolado PL 43 apresentou menor eficácia nessa condição. Os autores registraram também parasitismo de adultos de até 100% no tratamento com o isolado IBCB 10 em 5 aplicações, o que demonstra a capacidade de persistência e equilíbrio biológico desse fungo na lavoura de cana.

Para o controle da lagarta-do-cartucho-do-milho (*Spodoptera frugiperda*), Santos *et al.* (2024) realizaram bioensaios para avaliar o efeito de *M. anisopliae* e *B. bassiana* sobre ovos de diferentes idades dessa praga, e demonstraram que ambas as espécies fúngicas reduziram a eclosão dos ovos e se mostram promissoras para o MIP. Em experimento conduzido no Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, Costa Filho (2025)

comparou a eficácia de três fungos entomopatogênicos (*B. bassiana*, *C. javanica* e *M. anisopliae*) sobre lagartas de terceiro ínstar de *S. frugiperda* e obteve mortalidade acumulada de 75% para *M. anisopliae*, valor que não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos fúngicos, mas foi significativamente superior ao controle. A mortalidade confirmada por esporulação fúngica, no entanto, foi de 60% para *M. anisopliae*, resultado inferior ao de *B. bassiana* (75%), porém superior ao de *C. javanica* (30%) nesse mesmo experimento.

No cenário do controle vetorial, Souto *et al.* (2022) realizaram revisão sistemática sobre fungos entomopatogênicos nativos do Brasil para controle de *Aedes aegypti* (vetor da dengue, zika e chikungunya) e identificaram *M. anisopliae* como a espécie mais estudada, citada em 36,6% dos estudos revisados, seguida por *B. bassiana*. Os autores ressaltam que pesquisas com fungos nativos brasileiros têm demonstrado eficácia promissora no controle larval e adulto do mosquito, mas que ainda há lacunas em estudos com formulações adequadas e avaliação em condições naturais.

***Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, 1912**

Beauveria bassiana pertence à família Cordycipitaceae e é reconhecida pelo seu espectro de hospedeiros, com registros de patogenicidade em mais de 700 espécies de artrópodes de diferentes ordens. No Brasil, essa espécie tem sido amplamente investigada para o controle de pragas de expressão econômica diversa. Em experimento conduzido por Costa Filho (2025), *B. bassiana* apresentou a maior mortalidade acumulada entre os três fungos testados, acima de 90%, além da maior velocidade de ação sobre lagartas de terceiro ínstar de *S. frugiperda*, com mortalidade observada já a partir do quarto dia após a aplicação, enquanto os demais fungos apresentaram resposta mais tardia. A mortalidade confirmada por desenvolvimento micelial sobre os cadáveres foi de aproximadamente 75% para *B. bassiana*, valor que não diferiu estatisticamente de *M. anisopliae* (60%), mas foi superior a *C. javanica* (30%) nesse ensaio.

Santos *et al.* (2024) verificaram que *B. bassiana* reduziu a eclosão de ovos de *S. frugiperda* de forma significativa em comparação ao tratamento controle, com resultado próximo ao de *M. anisopliae*, o que evidencia eficácia ovicida de ambas as espécies quando aplicadas sobre ovos de diferentes idades. Na perspectiva da seletividade ao controle biológico clássico, pesquisa conduzida por Canali (2017) avaliou a compatibilidade de *B. bassiana* e *M. anisopliae* com o percevejo predador *Ceraeochrysa cincta* (Neuroptera: Chrysopidae), um importante inimigo natural de pragas agrícolas, e

concluiu que os fungos não afetaram significativamente os aspectos biológicos do predador, fato que abre perspectivas promissoras para o uso combinado dessas ferramentas em programas de MIP.

Um avanço tecnológico de alto impacto foi publicado em 2025 por pesquisadores brasileiros e americanos: com a tecnologia de edição genética CRISPR-Cas9, a equipe alterou o gene *Bbsmr1* de *B. bassiana*, e ampliou de modo significativo a capacidade do fungo de eliminar insetos-praga. Segundo a Agência de Defesa Agropecuária da Bahia (ADAB, 2025), a descoberta abre caminho para o desenvolvimento de bioinseticidas de próxima geração, mais potentes e ainda mais seguros ambientalmente, o que representa prova de conceito para o uso de biotecnologia avançada na melhoria de agentes de controle biológico.

***Cordyceps fumosorosea* (Wize) Kepler, B. Shrestha & Spatafora (sin. *Isaria fumosorosea*)**

Cordyceps fumosorosea é um fungo da família Cordycipitaceae com extraordinária diversidade de hospedeiros documentados, com registros em insetos das ordens Diptera, Hemiptera, Lepidoptera, Thysanoptera e Acari, nos citros, essa espécie tem entregado eficiência superior a 80% na mortalidade do psíldeo *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), principal vetor do huanglongbing (HLB ou greening dos citros) no Brasil. Para o controle do ácaro-da-leprose (*Brevipalpus yothersi* Baker), ensaios laboratoriais demonstraram que, mesmo após 8 dias da aplicação, uma dose do micoinseticida à base da cepa ESALQ 1296 de *C. fumosorosea* apresentou eficiência de controle superior a 90%, resultado comparável ao inseticida químico espirodiclofeno utilizado como padrão de referência.

Estudos de temperatura conduzidos na Embrapa Cenargen avaliaram o crescimento vegetativo de isolados de *Isaria fumosorosea* (1364, 1337 e CG1228) em temperaturas, comparativamente a isolados de *B. bassiana* e *Lecanicillium* sp., e demonstraram que *I. fumosorosea* apresenta boa adaptação a temperaturas mais amenas, com implicações para o planejamento das épocas de aplicação em diferentes regiões do Brasil (Embrapa, 2013).

***Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson, 1974**

Nomuraea rileyi é um fungo entomopatogênico especializado no controle de lagartas de lepidópteros de importância agrícola, notadamente na cultura da soja. No Brasil, essa espécie é associada a epizootias naturais sobre populações de *Anticarsia*

gemmatalis (Hübner) (Lepidoptera: Erebidae), conhecida como lagarta-da-soja. De acordo com dados revisados por Moscardi *et al.* (2012), na média de várias safras avaliadas, a mortalidade total da lagarta-da-soja foi de 56%, sendo 29% atribuída a *N. rileyi*, o principal agente de controle biológico natural dessa praga entre todos os inimigos registrados, à frente de parasitoides e outros fungos.

Oliveira *et al.* (2002) simularam o impacto do fungo *N. rileyi* em populações de *A. gemmatalis* e constataram que a concentração do inóculo primário no campo é determinante para o início da epizootia, e que as condições climáticas favoráveis, principalmente temperatura entre 23 e 25°C e umidade relativa acima de 90%, são indispensáveis para que o fungo atinja sua capacidade máxima de controle antes que a praga cause danos econômicos à lavoura.

***Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Gams & Zare, 2001**

Lecanicillium lecanii é um fungo da família Cordycipitaceae com histórico de uso para o controle de hemípteros sugadores, como pulgões, moscas-brancas e cochonilhas. Em experimento conduzido na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), pesquisadores avaliaram o controle da mosca-branca-do-cajueiro (*Aleurodicus cocois*) com o isolado ESALQ 818 de *Lecanicillium lecanii* associado a óleos vegetais, e obtiveram mortalidade de ninfas entre 27% e 51,5% com as formulações testadas, com resultado superior ao controle sem fungo; a formulação com óleo de soja a 1% foi considerada eficiente e com boa relação custo-benefício para o controle da praga (Bittencourt *et al.*, 2004, citados por Lima, UENF). Estudos de temperatura conduzidos na Embrapa Cenargen demonstraram que isolados de *Lecanicillium* sp. (1410 e 1351) apresentam crescimento vegetativo expressivo em faixas de temperatura moderadas, compatíveis com as condições de regiões produtoras de hortaliças no Brasil central e subtropical (Embrapa, 2013).

• **Comparativo entre Principais Espécies: Síntese da Literatura**

A Tabela 1, apresentada a seguir, consolida os dados comparativos extraídos dos estudos revisados acerca das principais espécies de fungos entomopatogênicos de relevância para a agricultura e pecuária no Brasil. Considerada a variabilidade de resultados entre os diferentes estudos, decorrente das diferenças em isolados, concentrações, culturas-alvo, condições experimentais e metodologias, a tabela busca apresentar faixas de eficácia e os autores correspondentes a cada dado reportado.

Tabela 1 – Comparativo das principais espécies de fungos entomopatogênicos utilizados no controle biológico de pragas no Brasil.

Espécie	Pragas-alvo principais	Culturas / Sistemas	Eficácia reportada	Autores
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Mahanarva fimbriolata, M. posticata, Spodoptera frugiperda, Aedes aegypti	Cana-de-açúcar, milho, pastagem	Redução de 72% de infestação de M. posticata em AL; 100% parasitismo de adultos de M. fimbriolata (isolado IBCB 10, 5 apl.); 75% mortalidade acumulada de S. frugiperda; espécie mais estudada para Ae. aegypti (36,6% dos estudos)	Loureiro <i>et al.</i> (2003); Costa Filho (2025); Souto <i>et al.</i> (2022)
<i>Beauveria bassiana</i>	Spodoptera frugiperda, Aphis gossypii, diversas espécies de coleópteros	Milho, algodão, café, hortaliças	>90% mortalidade acumulada de S. frugiperda (3º instar); 75% mortalidade confirmada; controle de pulgão com 52,3–83,8% de eficiência	Costa Filho (2025); Teixeira (UFRPE); Idrees <i>et al.</i> (2022)
<i>Cordyceps fumosorosea</i>	Diaphorina citri, Brevipalpus yothersi, mosca-branca, ácaros	Citros, hortaliças, culturas anuais	>80% mortalidade de D. citri; >90% controle do ácaro-da-leprose após 8 dias (cepa ESALQ 1296)	AgroAdvance (2024)
<i>Cordyceps javanica</i>	Spodoptera frugiperda, moscas-brancas, pulgões	Milho, hortaliças, diversas culturas	75% mortalidade acumulada de S. frugiperda; >60% mortalidade confirmada (isolado CG1228, doses elevadas)	Costa Filho (2025); Costa (2023)

Espécie	Pragas-alvo principais	Culturas / Sistemas	Eficácia reportada	Autores
<i>Nomuraea rileyi</i>	Anticarsia gemmatalis, outros lepidópteros	Soja, milho	29% da mortalidade total de A. gemmatalis (média de safras); epizootias naturais documentadas	Moscardi <i>et al.</i> (2012); Oliveira <i>et al.</i> (2002)
<i>Lecanicillium lecanii</i> / L. longisporum	Mosca-branca, pulgões, cochonilhas	Hortaliças, algodão, cajueiro	27–51,5% mortalidade de ninfas de Aleurodicus cocois; 52,3–83,8% controle de A. gossypii (com B. bassiana)	Bittencourt <i>et al.</i> (2004); Teixeira (UFRPE)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme se observa na Tabela 1, os fungos entomopatogênicos apresentam espectros de hospedeiros e culturas-alvo complementares, o que permite sua utilização estratégica em programas de MIP de acordo com a praga e o sistema de produção envolvido. A variabilidade nos valores de eficácia reportados reforça a importância da seleção criteriosa do isolado, da formulação adequada e da adequação às condições edafoclimáticas locais.

• **Produção, Mercado e Políticas Públicas**

O mercado brasileiro de biopesticidas é um dos mais dinâmicos e promissores do mundo. Segundo a Mordor Intelligence (2023), o setor foi avaliado em US\$ 257,25 milhões em 2024, com projeção de crescimento a uma taxa composta anual (CAGR) de aproximadamente 9% ao ano, com possibilidade de atingir US\$ 408,73 milhões até 2029. Em análise mais ampla do setor de bioinsumos, levantamento da CropLife Brasil apontou crescimento de 15% na safra 2023/2024 em relação ao ciclo anterior, com movimentação de R\$ 3,9 bilhões e alcance de 49,4 milhões de hectares tratados (Magno Máquinas, 2025).

A infraestrutura de produção de micoinseticidas no Brasil inclui desde biofábricas instaladas em unidades sucroalcooleiras, voltadas principalmente à produção de *M. anisopliae* para controle de cigarrinhas na cana-de-açúcar, até empresas privadas especializadas. Segundo Almeida (2012), na safra 2011/2012, as usinas paulistas

produziam 1.750 toneladas de *M. anisopliae* em suas biofábricas internas para aplicação em 350.000 ha de cana. Segundo levantamento da ESALQ-USP (2024), o aplicativo "Bioinsumos" do MAPA-Embrapa registra mais de 700 bioinsumos disponíveis atualmente no Brasil, número que reflete o crescimento expressivo dos registros na última década.

O Programa Nacional de Bioinsumos, lançado pelo governo federal em 2019, é apontado como catalisador regulatório do setor, e promove o uso de agentes biológicos no campo por meio de estímulos à pesquisa e desenvolvimento, simplificação de registros, incentivos fiscais e fomento à transferência de tecnologia das instituições de pesquisa para o setor produtivo (Embrapa, 2024).

- **Desafios para expansão do uso**

Apesar dos avanços expressivos, o uso de fungos entomopatogênicos em larga escala ainda enfrenta barreiras de natureza técnica, econômica e cultural. Silva (2024) destaca que existe uma competição desigual entre os produtos biológicos e os agrotóxicos convencionais, sob influência de fatores sociopolíticos, históricos e econômicos que desequilibram o mercado, como a cultura produtiva sedimentada, a facilidade de uso, a maior eficácia imediata dos químicos em condições adversas e a menor rastreabilidade dos resultados do controle biológico.

Do ponto de vista técnico-científico, a necessidade de maior padronização e controle de qualidade dos produtos microbiológicos disponíveis no mercado é sinalizada como demanda urgente. Souto *et al.* (2022), aponta que, em levantamentos globais, nem todos os produtos comerciais à base de fungos entomopatogênicos atendem às especificações de concentração de conídios viáveis declaradas nos rótulos, e reforça a necessidade de marcos regulatórios mais rigorosos para a certificação de qualidade dos biopesticidas.

Considerações finais

Os fungos entomopatogênicos constituem componentes do controle biológico de pragas no Brasil, com décadas de uso comprovado em culturas de elevada relevância econômica e ambiental. As evidências científicas revisadas confirmam que *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, *Cordyceps fumosorosea*, *Nomuraea rileyi* e *Lecanicillium lecanii* constituem espécies com espectros de ação complementares,

elevada eficácia documentada e compatibilidade com os princípios do Manejo Integrado de Pragas (Silva, 2024; Costa Filho, 2025; Loureiro *et al.*, 2003).

O mecanismo de infecção por via cuticular, singular entre os agentes de controle biológico, confere a esses microrganismos a capacidade de infectar os insetos por simples contato, dispensa a ingestão do produto e amplia as possibilidades de aplicação em campo. A dispersão secundária dos conídios a partir dos insetos mortos potencializa os efeitos do controle além da área tratada, característica ausente nos inseticidas químicos e que torna o controle microbiano uma opção com efeito sustentado no tempo (Alves, 2006). O crescimento expressivo do mercado de biopesticidas no Brasil, estimado em quase 10% ao ano, e o fortalecimento de políticas públicas como o Programa Nacional de Bioinsumos, criaram um ambiente de expansão sustentada para o setor (Embrapa, 2024).

Avanços tecnológicos recentes, como a modificação genética de *B. bassiana* via CRISPR-Cas9 para amplificação da virulência, sinalizam o surgimento de uma nova geração de bioinseticidas que une a segurança ambiental do controle biológico à precisão e eficácia da biotecnologia moderna (ADAB, 2025).

Referências

- ADAB, Agência de Defesa Agropecuária da Bahia. Com edição genética, fungo ganha mais eficácia no controle de pragas agrícolas. Salvador, 2025. Disponível em: <<http://www.adab.ba.gov.br/noticias>>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- AHMED, I. M. et al. Effect of *Metarhizium anisopliae* on the nutritional physiology of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, Cairo, 2022.
- ALVES, S. B. Mecanismo de ação dos fungos entomopatógenos. *Boletim de Entomologia*, v. 48, n. 12, 2006.
- BEZERRA, J. et al. Avaliação do efeito de pesticidas sobre o crescimento do *Beauveria bassiana*. *Research, Society and Development (RSD)*, v. 13, n. 12, dez. 2024.
- CARNEIRO, R. O. Fungos como agentes de controle biológico de pragas agrícolas: uma revisão bibliográfica. TCC, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, 2023.
- COSTA, K. L. S. Virulência de *Cordyceps javanica* contra *Spodoptera frugiperda* sob condições de laboratório. TCC, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Sorocaba, 2023.
- COSTA FILHO, R. D. A. Eficiência de fungos entomopatogênicos no controle de *Spodoptera frugiperda*, alimentada com grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). TCC, Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2025.

- COSTA, M. A. et al. Sensibilidade de isolados de fungos entomopatogênicos às temperaturas mínima, mediana e máxima em Jaboticabal, SP. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, 2016.
- CROPLIFE BRASIL. Mercado de bioinsumos cresce 15% na safra 2023/2024. In: MAGNO MÁQUINAS, 2025.
- DALZOTO, P. R.; UHRY, K. F. Controle biológico de pragas no Brasil com *Beauveria bassiana*. *Boletim do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 71, n. 1, 2017.
- EMBRAPA. Perspectivas para utilização de fungos entomopatogênicos no controle microbiano. Brasília: Embrapa, 2016.
- EMBRAPA. Influência da temperatura no crescimento vegetativo de fungos entomopatogênicos. Brasília: Embrapa Cenargen, 2013.
- EMBRAPA. Fungos capazes de colonizar diversas pragas são essenciais para o controle biológico. Brasília: Embrapa, set. 2024.
- ESALQ-USP. Desafios enfrentados para maior eficácia de bioinseticidas à base de fungos entomopatogênicos. *Visão Agrícola*, n. 15. Piracicaba: ESALQ/USP, 2024.
- FAPESP. Estudo explica como um fungo pode controlar a principal praga que afeta o cultivo de milho. São Paulo: FAPESP, 2025.
- IDREES, A. et al. Bioassays of *Beauveria bassiana* isolates against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Fungi*, Basel, 2022.
- LOUREIRO, E. S. et al. Eficiência de isolados de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. no controle da cigarrinha-da-raiz da cana-de-açúcar, *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854). *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 70, n. 1, p. 1–8, jul./set. 2003.
- MORDOR INTELLIGENCE. Tamanho do mercado de biopesticidas Brasil e análise de participação. 2023. Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/brazil-biopesticides-market>>.
- MOSCARDI, F. et al. Controle da lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis* Hübner) na cultura da soja. In: EMBRAPA SOJA, Resultados de pesquisa, safras avaliadas.
- OLIVEIRA, N. A. R. Uso de fungos entomopatogênicos no controle biológico: relatório de trabalho. UFLA, Lavras, 2023.
- SUJII, E. R.; TIGANO, M. S.; SOSA-GOMES, D. Simulação do impacto do fungo *Nomuraea rileyi* em populações da lagarta da soja, *Anticarsia gemmatalis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1551-1558, nov. 2002.
- SOUTO, A. L. et al. Revisão sistemática sobre fungos entomopatogênicos nativos do Brasil para controle de *Aedes aegypti*. *Frontiers in Fungal Biology*, 2022.

CAPÍTULO 8

TUBERCULOSE COMO TEMA SOCIOCIENTÍFICO NO ENSINO DE BIOLOGIA: CONTRIBUIÇÕES PARA A EDUCAÇÃO EM SAÚDE

TUBERCULOSIS AS A SOCIO-SCIENTIFIC TOPIC IN BIOLOGY TEACHING: CONTRIBUTIONS TO HEALTH EDUCATION

DOI: <https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.08>

Submetido em: 08/05/2026

Revisado em: 19/05/2026

Publicado em: 25/05/2026

Nívea Paula Cordeiro Silva

União Brasileira de Faculdades (UNIBF) – Curso de Licenciatura em Ciências
Biológicas, João Pessoa-PB.

<http://lattes.cnpq.br/4955575724949557>

Resumo

A tuberculose permanece como um dos principais desafios da saúde pública global, agravado pela emergência de cepas resistentes à rifampicina e por determinantes sociais que influenciam o processo saúde-doença. Este capítulo analisa a evolução científica do controle da tuberculose, desde a identificação do *Mycobacterium tuberculosis* até o uso de tecnologias moleculares contemporâneas, discutindo seu potencial como tema sociocientífico estruturante no Ensino de Biologia. Trata-se de um estudo qualitativo, de natureza bibliográfica, fundamentado em revisão integrativa da literatura, análise documental e reinterpretação de dados epidemiológicos previamente publicados. Os resultados evidenciam que a tuberculose permite articular conteúdos microbiológicos, história da ciência, políticas públicas e desigualdade social, favorecendo abordagens contextualizadas e alinhadas à perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade. Conclui-se que a incorporação da tuberculose como eixo organizador curricular contribui para a alfabetização científica crítica e para a educação em saúde no ensino médio.

Palavras-chave: Tuberculose. Resistência bacteriana. Ensino de Biologia. Tema sociocientífico. Educação em saúde.

Abstract

Tuberculosis remains one of the main challenges of global public health, aggravated by the emergence of rifampicin-resistant strains and by social determinants that influence the health-disease process. This chapter analyzes the scientific evolution of tuberculosis control, from the identification of *Mycobacterium tuberculosis* to the use of contemporary molecular technologies, discussing its potential as a structuring socio-scientific topic in Biology teaching. This is a qualitative, bibliographic study, based on an integrative literature review, documentary analysis, and reinterpretation of previously published epidemiological data. The results show that tuberculosis allows the articulation of microbiological content, history of science,

public policies, and social inequality, favoring contextualized approaches aligned with the Science-Technology-Society perspective. It is concluded that the incorporation of tuberculosis as a curricular organizing axis contributes to critical scientific literacy and to health education in high school.

Keywords: Tuberculosis. Bacterial resistance. Biology teaching. Socio-scientific topic. Health education.

Introdução

A tuberculose não é apenas uma questão biológica ou clínica; ela também está associada a desigualdades sociais que influenciam seu perfil epidemiológico. Embora os avanços científicos tenham permitido grande controle sobre a infecção, os números mais recentes da Organização Mundial da Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2025) mostram que ainda estamos longe de superá-la como problema de saúde pública. Em 2024, estima-se que 10,7 milhões de pessoas adoeceram por tuberculose no mundo, e mais de 1,2 milhão morreram em decorrência da doença. A incidência global é de 131 casos por 100 mil habitantes, e a resistência bacteriana agrava ainda mais o cenário: cerca de 390 mil casos evoluíram para formas resistentes à rifampicina ou multidroga resistentes (TB-MDR/RR).

Mais do que números, esses dados expressam a persistência de um ciclo que combina pobreza, desnutrição, moradia inadequada e acesso precário à saúde, fatores que, no Brasil, mantêm o país entre os 30 com maior carga de tuberculose do mundo, com 78.874 novos casos registrados em 2022 (BRASIL, 2025).

Diante desse cenário, ensinar tuberculose na escola vai muito além de apresentar seu agente etiológico ou seu tratamento. Trata-se de formar sujeitos capazes de compreender como a ciência, a tecnologia e as políticas públicas dialogam com a vida concreta das populações e de perceber que a saúde também é uma questão de cidadania.

No entanto, o ensino de microbiologia nas escolas brasileiras frequentemente aborda as doenças infecciosas de forma descontextualizada, reduzindo processos históricos e sociais complexos à mera descrição de patógenos e sintomas. Críticos como Krasilchik (2016) e Chassot (2020) apontam que essa prática empobrece o potencial formativo da biologia, que deveria promover a compreensão das relações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS), conforme também preconiza a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018).

Metodologicamente, o capítulo foi construído a partir de uma revisão integrativa da literatura sobre tuberculose e ensino de ciências, de análise documental de relatórios

da Organização Mundial de Saúde (OMS), do Ministério da Saúde, e da reinterpretação de dados epidemiológicos previamente publicados (DIAS, 2020).

É nesse contexto que se objetiva demonstrar o potencial da tuberculose como um tema sociocientífico estruturante no ensino de biologia, propondo estratégias didáticas alinhadas à perspectiva CTS e fundamentadas tanto na história da ciência quanto em dados epidemiológicos atuais. Para tanto, o texto está organizado em cinco seções: fundamentação teórica sobre a tuberculose como tema CTS, apresentação de dados epidemiológicos atualizados, propostas didáticas práticas, discussão sobre o potencial integrador da abordagem e considerações finais.

Desenvolvimento

A trajetória do conhecimento sobre a tuberculose oferece um exemplo paradigmático para discutir a natureza da ciência, seus avanços tecnológicos e seus complexos determinantes sociais.

• Marcos Histórico-Científicos e a Natureza do Conhecimento

A revolução científica promovida por Robert Koch em 1882, ao identificar *Mycobacterium tuberculosis*, não foi um evento isolado. Ela consolidou um novo método em microbiologia, sintetizado em seus famosos postulados (BROCK, 1999; GRADMANN, 2009). Esse marco, no entanto, também tem suas limitações, notadamente para patógenos não cultiváveis ou doenças multifatoriais (FREDRICKS; RELMAN, 1996). A evolução posterior, desde o desenvolvimento da rifampicina (1966) até os modernos testes moleculares como o GeneXpert MTB/RIF (2010), ilustra como a ciência responde a novos desafios (como a resistência bacteriana) com inovações tecnológicas, que por sua vez geram novas questões éticas e sociais sobre acesso e equidade. A **Tabela 1** sistematiza essa evolução, servindo como base histórica para as propostas didáticas.

Tabela 1 - Evolução Histórico-Epistemológica do Controle da Tuberculose e seu Potencial Didático

Ano	Marco Científico	Método/Técnica	Contexto Histórico-Social	Impacto	Conceito Científico
1882	Identificação de <i>M. tuberculosis</i>	Microscopia, cultivo em meios sólidos	Revolução Industrial; urbanização	Estabelecimento da microbiologia moderna	Postulados de Koch; etiologia; relação causal
1921	Vacina BCG	Atenuação de <i>M. bovis</i>	Pós-Primeira Guerra; saúde pública	Eficácia variável (40-80%)	Imunidade ativa; vacinas atenuadas; proteção de rebanho
1944	Estreptomicina	Primeiro antibiótico contra TB	Segunda Guerra Mundial	Surgimento de resistência em 5 anos	Seleção natural; pressão seletiva; resistência bacteriana
1952	Isoniazida	Inibição da síntese de ácido micólico	Guerra Fria (investimento em saúde global)	Esquema terapêutico de primeira linha	Quimioterapia combinada; parede celular; ácido micólico
1966	Rifampicina	Inibição da RNA polimerase (<i>rpoB</i>)	Corrida farmacêutica pós-guerra	Redução do tratamento para 6 meses	Transcrição gênica; RNA polimerase; alvo molecular (<i>rpoB</i>)
1983	Descoberta da Reação em Cadeia da Polimerase (PCR)	Amplificação de DNA	Revolução da biotecnologia	Base para diagnósticos futuros	PCR; amplificação de DNA; termociclador
2010	Teste GeneXpert MTB/RIF	PCR em tempo real (<i>rpoB</i>)	Crise global de TB multirresistente	Diagnóstico em 2 horas	qPCR; diagnóstico molecular; mutação pontual
2012	Bedaquilina	Inibição da ATP sintase bacteriana	Emergência de cepas ultra-resistentes	Primeira droga nova em 40 anos	ATP sintase; metabolismo energético; inovação farmacêutica

Fonte: Elaborado pela autora com base em Brock (1999); Gradmann (2009); World Health Organization (2025); e nos dados da dissertação de mestrado (DIAS, 2020) e do trabalho de conclusão de curso (SILVA, 2025).

• A Resistência à Rifampicina: Um Desafio Contemporâneo

A eficácia da rifampicina é ameaçada por mutações no gene *rpoB* da micobactéria. Estudos de vigilância são fundamentais para monitorar esse fenômeno. Dados de um

hospital de referência na Paraíba (DIAS, 2020) revelaram uma prevalência média de resistência à rifampicina de 5,2% entre 2015 e 2019 (**Tabela 2**).

A análise desses dados também aponta desafios operacionais significativos: o tempo médio entre o início dos sintomas e o diagnóstico foi de 67 dias, e a taxa de abandono do tratamento atingiu 23%, estando fortemente associada a condições de vulnerabilidade social (em 62% dos casos, os pacientes residiam em áreas de alta densidade populacional). Esses números evidenciam que a resistência bacteriana é um problema que não se resolve apenas no laboratório, exigindo políticas públicas e ações educativas.

Tabela 2 - Perfil de Resistência à Rifampicina em Hospital de Referência na Paraíba (2015-2019)

Ano	Amostras Analisadas	Casos Resistentes	Prevalência de resistência a rifampicina	Tempo Médio Diagnóstico (Dias)
2015	215	11	5,1%	68
2016	238	13	5,5%	72
2017	224	12	5,4%	65
2018	231	12	5,2%	63
2019	189	10	5,3%	67

Fonte: Dados adaptados de Dias (2020).

Com base na fundamentação teórica, são propostas três atividades práticas que podem ser aplicadas de forma integrada ou independente no ensino de biologia.

➤ **Atividade 1 – Análise de Dados Epidemiológicos**

- Objetivo: Desenvolver a habilidade de interpretar dados de saúde pública e relacioná-los a determinantes sociais.

- Recursos: Tabela 2 deste capítulo, gráficos de casos de TB por município (disponíveis em boletins epidemiológicos), notícias sobre abandono de tratamento.

- Procedimento: Em grupos, os alunos devem:

1. Calcular a prevalência média de resistência nos dados da Tabela 2.
2. Discutir as possíveis razões para o alto tempo de diagnóstico.

3. Relacionar a taxa de abandono (23%) com fatores sociais como pobreza, moradia e acesso a serviços de saúde.

- Competências BNCC trabalhadas: EM13CNT204 (investigar e analisar problemas), EM13CNT305 (avaliar riscos e benefícios de intervenções).

➤ **Atividade 2 – Reconstrução Histórica**

- Objetivo: Compreender a evolução do conhecimento científico e o funcionamento do método científico.

- Recursos: Textos de apoio sobre a história da TB (incluindo a Tabela 1), simulação online de PCR (disponível em repositórios educacionais) e acesso ao *National Center for Biotechnology Information* (NCBI).

- Procedimento:

1. Os alunos constroem uma linha do tempo colaborativa com os principais marcos da Tabela 1.

2. Prática *in silico*, os alunos acessam o NCBI e utilizam a ferramenta BLAST (blastn) para comparar uma sequência do gene *rpoB* de *M. tuberculosis* sensível com uma sequência de cepa resistente depositada no banco *Nucleotide*. Visualizam o alinhamento das sequências e identificam a posição da mutação pontual que torna a bactéria resistente à rifampicina. Discutem: como os postulados de Koch foram superados pelas técnicas moleculares?

3. O professor lança um problema desafiador: “Por que, mais de 100 anos após Koch, ainda não conseguimos erradicar a TB?”

- Competências BNCC trabalhadas: EM13CNT201 (analisar e discutir modelos explicativos), EM13CNT303 (interpretar textos e experimentos).

➤ **Atividade 3 – Debate CTS**

- Objetivo: Exercitar a argumentação ética e política sobre um tema científico.

- Recursos: Documentário "A Luta contra a Tuberculose" (disponível em plataformas de streaming/vídeo), notícias sobre quebra de patentes de medicamentos.

- Procedimento: Organizar um debate com os seguintes papéis:

- a) Pesquisador de fármacos: Defende o investimento em novas drogas.
- b) Médico da atenção básica: Apresenta as dificuldades do tratamento no SUS.
- c) Paciente com TB resistente: Relata as barreiras sociais e de acesso.
- d) Secretário de Saúde: Justifica as políticas públicas existentes.

- Competências BNCC trabalhadas: EM13CNT305 (relacionar princípios científicos a impactos socioculturais e valorizar a postura ética da ciência) e EM13CNT306 (avaliar riscos e benefícios de intervenções científicas e tecnológicas na sociedade).

As propostas didáticas apresentadas articulam três dimensões fundamentais para o ensino de Biologia: a histórica (como o conhecimento científico se constrói), a científica (conceitos de microbiologia, genética e farmacologia) e a social (impacto da desigualdade na saúde). Essa integração é a essência da abordagem CTS, que, conforme defendem Santos e Mortimer (2001), permite ao aluno perceber a ciência como uma atividade humana, não neutra e sujeita a contradições.

Ao analisar os dados reais de resistência à rifampicina (DIAS, 2020), o aluno não apenas aprende sobre mutação genética, mas também reflete sobre as condições que favorecem o aparecimento e a disseminação de bactérias resistentes. Ao reconstruir a história de Koch, ele aprende que o "método científico" é uma prática coletiva, histórica e passível de revisão. Dessa forma, a tuberculose deixa de ser um mero tópico do livro didático e se torna uma lente para entender a relação entre ciência e vida em sociedade.

Considerações Finais

Este capítulo demonstrou que a tuberculose, por sua complexidade biológica e histórica, constitui um tema privilegiado para o ensino de biologia na perspectiva CTS. A análise da evolução do conhecimento científico, articulada com dados epidemiológicos reais sobre resistência bacteriana, revela o potencial de se construir pontes entre o conhecimento produzido nos laboratórios e os desafios vividos nas salas de aula e nas comunidades.

As propostas didáticas sugeridas (análise de dados, reconstrução histórica e debate estruturado) oferecem um caminho viável para o professor que busca superar o ensino meramente descritivo e fragmentado. Elas estão alinhadas às competências da BNCC, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico, da argumentação e da compreensão da ciência como prática social.

Como encaminhamento futuro, recomenda-se a aplicação e validação dessas propostas em diferentes contextos escolares, bem como a criação de um banco de materiais de apoio (infográficos, vídeos curtos, planilhas de dados) para facilitar a implementação pelo professor. Acredita-se que investir em abordagens pedagógicas como esta é um passo fundamental para formar cidadãos mais conscientes, capazes de

compreender e atuar sobre os complexos problemas que afetam a saúde e o ambiente no século XXI.

Referências

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Boletim Epidemiológico de Tuberculose**. Brasília, 2025.

BROCK, T. D. **Robert Koch: a life in medicine and bacteriology**. Washington: ASM Press, 1999.

CHASSOT, A. **A Ciência através dos tempos**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2020.

DIAS, N. P. C. **Análise molecular e fenotípica da sensibilidade de *Mycobacterium tuberculosis* à rifampicina em hospital de referência do estado da Paraíba**. 2020. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

FREDRICKS, D. N.; RELMAN, D. A. Sequence-based identification of microbial pathogens: a reconsideration of Koch's postulates. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 9, n. 1, p. 18-33, jan. 1996.

GRADMANN, C. **Laboratory Disease: Robert Koch's Medical Bacteriology**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2009.

KRASILCHIK, M. **Prática de Ensino de Biologia**. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2016.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. **Abordagem CTS no ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez, 2001.

SILVA, Nívea Paula Cordeiro. **De Koch à Rifampicina: ciência, tuberculose e abordagens pedagógicas para o Ensino Médio de Biologia**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) — União Brasileira de Faculdades, João Pessoa, 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global Tuberculosis Report 2025**. Geneva: WHO, 2025.

CAPÍTULO 9

PUBLIQUE COM A SCIENCE EM FLUXO CONTÍNUO

PUBLISH WITH SCIENCE IN CONTINUOUS FLOW



DOI: <https://doi.org/10.56001/25.9786501462516.09>

Submetido em: 23/04/2026

Revisado em: 28/04/2026

Publicado em: 29/04/2026

AUTORES

Universidade Federal do Brasil, Faculdade de Ciências, Localidade-PE

<http://lattes.cnpq.br/>

AUTORES

Universidade Estadual do Brasil, Centro de Ciências, Localidade-PB

<https://orcid.org/>

AUTORES

Instituto Federal do Brasil, Departamento de Ciências, Localidade-SE

<http://lattes.cnpq.br/>

Resumo

Texto

Palavras-chave: Words.

Abstract

Texto

Keywords: Words.

Introdução

Aqui começa sua publicação e história de sucesso.

SOBRE OS ORGANIZADORES DO LIVRO DADOS CNPQ:

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos



Possui Graduação em Bacharelado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2003) e Mestrado em Genética e Biologia Molecular pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2006). Doutor em Biotecnologia pela RENORBIO (Rede Nordeste de Biotecnologia (2013), Área de Concentração Biotecnologia em Saúde atuando principalmente com pesquisa relacionada a genética do câncer de mama. Participou como Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial Nível 3 de relevantes projetos tais como: Projeto Genoma *Anopheles darlingi* (de 02/2008 a 02/2009); e Isolamento de genes de interesse biotecnológico para a agricultura (de 08/2009 a 12/2009). Atualmente é Professor Adjunto III da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, do Centro de Educação e Saúde onde é Líder do Grupo de Pesquisa BASE (Biotecnologia Aplicada à Saúde e Educação) e colaborador em ensino e pesquisa da UFRPE, UFRN e EMBRAPA-CNPA. Tem experiência nas diversas áreas da Genética, Fisiologia Molecular, Microbiologia e Bioquímica com ênfase em Genética Molecular e de Microrganismos, Plantas e Animais, Biologia Molecular e Biotecnologia Industrial. Atua em projetos versando principalmente sobre os seguintes temas: Metagenômica, Carcinogênese, Monitoramento Ambiental e Genética Molecular, Marcadores Moleculares Genéticos, Polimorfismos Genéticos, Bioinformática, Biodegradação, Biotecnologia Industrial e Aplicada, Sequenciamento de DNA, Nutrigenômica, Farmacogenômica, Genética na Enfermagem e Educação.

Pós-Dra. Carliane Rebeca Coelho da Silva



Possui Graduação em Bacharelado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco apresentando monografia na área de genética com enfoque em transgenia. Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas pela Universidade Federal do Rural de Pernambuco com dissertação na área de melhoramento genético com enfoque em técnicas de imunodeteção. Doutora em Biotecnologia pela RENORBIO (Rede Nordeste de Biotecnologia, Área de Concentração Biotecnologia em Agropecuária) atuando principalmente com tema relacionado a transgenia de plantas. Pós-doutorado em Biotecnologia com concentração na área de Biotecnologia em Agropecuária. Atua com linhas de pesquisa focalizadas nas áreas de defesa de plantas contra estresses bióticos e abióticos, com suporte de ferramentas biotecnológicas e do melhoramento genético. Tem experiência na área de Engenharia Genética, com ênfase em isolamento de genes, expressão em plantas, melhoramento genético de plantas via transgenia, marcadores moleculares e com práticas de transformação de plantas via "ovary drip". Tem experiência na área de genética molecular, com ênfase nos estudos de transcritos, expressão diferencial e expressão gênica. Integra uma equipe com pesquisadores de diferentes instituições como Embrapa Algodão, UFRPE, UEPB e UFPB, participando de diversos projetos com enfoque no melhoramento de plantas.

Biologia em Foco

Ciência e Sociedade

“Esperamos que tenham aproveitado todos os trabalhos disponíveis na íntegra e gratuitos para seu conhecimento e consulta.

Esta obra objetivou ampliar os seus horizontes sobre a temática proposta além dos muros acadêmicos, proporcionando uma visão mais realista, ampla e multidisciplinar desta área de estudo seus impactos e descobertas.

Os livros da Science compreendem do conhecimento mais simples ao mais complexo, do mais acadêmico ao mais aplicado, procurando sempre a socialização global com conhecimento científico respaldado e de qualidade, para que a sociedade possa se beneficiar em todos os sentidos.

Agradecemos o seu interesse em chegar até o final deste livro na busca por conhecimento. Aguardem novos títulos e eventos da Editora Science sempre comprometida com a qualidade e o sucesso da sua publicação.”

PARA MAIS INFORMAÇÕES E OBRAS DA EDITORA SCIENCE ACESSE:

www.editorascience.com.br

Siga nossas redes sociais e amplie o alcance dos nossos livros:

Facebook: <http://www.facebook.com/editorascience>

Instagram: <https://www.instagram.com/editorascience>



Todos os Direitos Reservados

