

A SIMBIOSE ENTRE PHASEOLUS VULGARIS L. E BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE O SOLO E A SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA

Cristiano Lucas Soma¹
Domingos Da Costa Chilanda António²
Antónia Andrade Manuel³
Elcimar Simão Martins⁴

RESUMO

Este trabalho analisa o potencial pedagógico da Fixação Biológica de Nitrogênio no Ensino de Ciências, utilizando a associação simbiótica entre o feijoeiro-comum e bactérias diazotróficas como modelo de estudo. Fundamentado em uma revisão de literatura científica publicada entre 2018 e 2025, o estudo investiga os mecanismos fisiológicos, genéticos e biotecnológicos envolvidos nessa interação sob condições de estresse ambiental edáfico, como a acidez e a salinidade dos solos tropicais. Evidencia-se que a eficiência da nodulação e da fixação biológica depende da disponibilidade de fósforo, elemento essencial no fornecimento de energia química, cuja assimilação pode ser otimizada mediante o uso de fertilizantes fosfatados eficientes e microrganismos solubilizadores de fosfato. A pesquisa também destaca a eficácia da co-inoculação de estirpes de *Rhizobium* e *Azospirillum* na promoção do crescimento radicular e no aumento do rendimento agrícola, reduzindo os custos e a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos. No âmbito molecular, demonstra-se que a seletividade e o sucesso do reconhecimento simbiótico são rigorosamente controlados pela expressão de fatores de transcrição, como as subunidades do complexo NF-Y, além de perfis específicos de RNAs não-codificantes do hospedeiro. A transposição didática desses conceitos complexos para a educação básica permite conectar bioquímica, genética aplicada e ecologia agrícola. Dessa forma, a abordagem contextualizada da Fixação Biológica de Nitrogênio supera a visão estritamente patogênica da microbiologia, promovendo o aprendizado sobre o solo como um sistema vivo e articulando a ciência com a sustentabilidade e a segurança alimentar global.

Palavras-chave: Fixação Biológica de Nitrogênio; Ensino de Ciências; *Phaseolus vulgaris* L; Educação ambiental.

Universidade Federal do ABC, Instituto Centro de Ciências Naturais e Humanas, Discente, Pós-graduação em Biotecnociência.,
Discente, c.soma@ufabc.edu.br¹
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERCIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA
NATUREZA, Discente, silanda@aluno.unilab.edu.br²
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERCIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA, Instituto de Ciências da Saúde, Discente,
muzazango@gmail.com³
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERCIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA
NATUREZA, Docente, elcimar@unilab.edu.br⁴

INTRODUÇÃO

O processo de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) constitui um dos mecanismos ecológicos e fisiológicos mais refinados da biologia vegetal, apresentando expressivo potencial pedagógico no Ensino de Ciências para a superação de visões estritamente patogênicas ou simplificadas da microbiologia. Esta associação mutualística envolve a interação molecular entre leguminosas, como o feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), e bactérias diazotróficas. No contexto edáfico de regiões tropicais, a simbiose adquire importância elementar, visto que o uso de estirpes de rizóbios selecionadas e adaptadas a solos com acidez crônica viabiliza o incremento do rendimento e da rentabilidade da cultura, atenuando as limitações nutricionais decorrentes de solos quimicamente desfavoráveis (Oliveira et al., 2023).

No entanto, o ensino de Botânica e Fisiologia Vegetal tem enfrentado barreiras históricas ligadas ao desinteresse discente, à memorização passiva e à fragmentação de conteúdos. Conforme apontam Ursi et al. (2018), há uma necessidade latente de associar o conhecimento vegetal ao encantamento e à educação científica contextualizada, permitindo que os estudantes compreendam o papel das plantas e dos microrganismos na dinâmica planetária. De acordo com Santos (2026), as práticas de ensino tradicionais tendem a focar unicamente no estudo descritivo e na memorização de aspectos da morfologia vegetal, sem demonstrar as conexões ecológicas fundamentais. Esse modelo pedagógico favorece o afastamento dos estudantes em relação ao meio ambiente e aprofunda o fenômeno da impercepção botânica frente à crise ambiental atual.

Ao avaliar as contradições dos documentos curriculares nacionais e as dificuldades que os professores enfrentam para trabalhar esses temas de forma integrada, Faria (2023) adverte que o foco principal reside na seleção dos conteúdos curriculares, isto é, em um conjunto de conceitos cuja complexidade, fluidez e interdisciplinaridade exigem abordagens inovadoras. Todavia, observa-se nos documentos oficiais uma singularidade e um fechamento disciplinar dessas categorias teóricas. Para superar essa limitação, a autora recomenda que a promoção da Educação em Mudanças Climáticas (EMC) ocorra sob uma perspectiva interdisciplinar, amparada por metodologias centradas nos estudantes, capazes de promover experiências de aprendizagem significativas e oportunizar momentos de reflexão crítica ao longo da escolarização (Faria; Torres; Coltri, 2023).

Para reverter esse cenário e consolidar a alfabetização científica, faz-se necessário explorar a biologia vegetal e a microbiologia do solo por meio de problemas reais que afetam diretamente a sociedade e a agricultura sustentável. Sob essa ótica, Sanches (2025) propõe a exploração do reino vegetal por meio de sequências didáticas investigativas fundamentadas na fisiologia vegetal, estimulando a construção do pensamento crítico dos estudantes. Complementando esse panorama, Aubérico e Obara (2023) demonstram que o uso de oficinas pedagógicas e sequências problematizadoras focadas nas mudanças climáticas atua como um espaço privilegiado no ensino de Ciências e Biologia, conectando conceitos moleculares e fisiológicos a impactos visíveis na sobrevivência vegetal e na produção de alimentos.

A otimização fisiológica da FBN e a nodulação radicular dependem intimamente do status nutricional do solo, sendo o fósforo o principal fator energético limitante devido à demanda por ATP na clivagem do nitrogênio gasoso (Guelfi et al., 2022). Paralelamente, o aporte de fósforo pode ser potencializado por vias biológicas complementares via inoculantes com solubilizadores de fosfato (Bittencourt et al., 2024). A abordagem desses fenômenos no Ensino de Ciências permite a construção de discussões contextualizadas que interligam a bioquímica celular, a genética aplicada e a ecologia agrícola contemporânea (Hagn, 2021). Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar como a simbiose entre *Phaseolus vulgaris* L. e bactérias diazotróficas pode ser articulada didaticamente em texto corrido e bem estruturado, integrando o rigor dos avanços científicos

recentes aos referenciais pedagógicos críticos sobre o ensino de plantas, solos e sustentabilidade ambiental.

METODOLOGIA

A investigação realizada evidenciou que a fixação biológica de nitrogênio constitui um eixo estruturante para o Ensino de Ciências, capaz de integrar rigor biológico e relevância pedagógica. Este trabalho configura-se como uma pesquisa de revisão bibliográfica e de caráter qualitativo, com buscas realizadas nas bases Scopus, Web of Science SpringerLink, MDPI, Google Scholar, Nature Portfolio, Frontiers in Plant Science, ALICE/Embrapa e UTFPR entre períodos de 2018 e 2025. A triagem resultou na seleção de estudos considerados centrais, avaliados quanto ao rigor metodológico e à pertinência temática. Os descritores utilizados nas buscas incluíram termos científicos como “*Phaseolus vulgaris*”, “Fixação Biológica de Nitrogênio”, “nodulação”, “transcritômica”, “estresse abiótico” e “rizóbios”, articulados com descritores pedagógicos como “Ensino por Investigação”, “Educação em Mudanças Climáticas”, “impercepção botânica” e “avaliação formativa”. Essa combinação permitiu que a análise de conteúdo reorganizasse os saberes eruditos em eixos temáticos fluidos, conectando regulação gênica, adaptação a estresses ambientais e transição ecológica do solo às metodologias investigativas e às práticas avaliativas.

A estrutura metodológica consolidou uma proposta pedagógica que não se limita à transmissão de conceitos, mas promove a construção de significados, o desenvolvimento da curiosidade científica e a consciência socioambiental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados integrados do levantamento evidenciam que a dinâmica adaptativa e a produtividade de *Phaseolus vulgaris* dependem de uma estreita rede de interações rizosféricas, onde o uso de consórcios bacterianos e metabólitos microbianos promove o crescimento radicular e a qualidade dos grãos produzidos (Moretti et al., 2020). A co-inoculação de rizóbios e *Azospirillum* no sulco de semeadura aperfeiçoa o vigor da cultura e garante alta viabilidade econômica ao produtor pela substituição parcial de adubos nitrogenados sintéticos (Messias et al., 2024). Em nível celular e molecular, a eficiência da fixação biológica e a formação dos nódulos radiculares são mediadas por um rígido controle transcriptômico (mRNAs e lncRNAs) e por fatores de transcrição específicos, como as subunidades PvNF-YA1, PvNF-YB7 e a subunidade C do fator NF-Y, que modulam a organogênese nodular e a preferência por estirpes eficazes (Rípodas et al., 2019; Oliveira et al., 2023). Para operacionalizar a transposição didática desses conceitos complexos sem o uso de estruturas tabulares, a proposta pedagógica foi organizada em texto corrido ao longo de três eixos temáticos articulados, detalhando o saber científico, o embasamento pedagógico-didático, a mediação investigativa e a avaliação formativa.

O primeiro eixo temático aborda a Sinalização Molecular e o Controle Gênico da Simbiose. No âmbito do saber erudito, compreende-se que a infecção e a especificidade simbiótica dependem da expressão de fatores nucleares como o NF-Y e de RNAs longos não-codificantes (lncRNAs), que regulam seletivamente o reconhecimento entre o hospedeiro e as estirpes rizobianas (Clúa et al., 2024; Rípodas et al., 2019). Na dimensão pedagógica, esse conteúdo é transposto para superar a visão fragmentada da biologia e mitigar a impercepção botânica (Ursi et al., 2018) demonstrando que o vegetal é um organismo dinâmico capaz de comunicação química ativa. Como estratégia didática, propõe-se um Estudo de Caso Problematizador centrado no estudante (Sanches, 2025), no qual os alunos analisam dados empíricos de reconhecimento receptor-ligante nas raízes do feijoeiro.

O segundo eixo temático contempla a Resiliência Vegetal e Adaptação a Estresses Abióticos em Cenários de Mudanças Climáticas. O conhecimento científico demonstra que a inoculação com estirpes de rizóbios adaptadas e microbiotas indígenas induz mecanismos fisiológicos de tolerância à salinidade e à seca em *Phaseolus vulgaris* (Oliveira et al., 2022). Sob o prisma pedagógico, dialoga-se diretamente com as diretrizes de Faria (2023) sobre a necessidade de abordar a Educação em Mudanças Climáticas (EMC) de forma interdisciplinar, bem como com as oficinas de problematização propostas por Aubérico e Obara (2023). A estratégia didática consiste em uma Simulação Investigativa de Tomada de Decisão, na qual os estudantes, reunidos em equipes, atuam como consultores e devem propor soluções biotecnológicas para conter os impactos do estresse hídrico no Semiárido brasileiro. A avaliação formativa ocorre por meio de uma rubrica analítica aplicada sobre o parecer técnico dos grupos, valorizando a capacidade crítica, o rigor argumentativo e a fundamentação em evidências científicas.

O terceiro eixo temático foca no Sinergismo Nutricional, Bioinsumos e Transição Ecológica do Solo. O saber acadêmico reporta que o aporte energético do fósforo e a co-inoculação de rizóbios com bactérias solubilizadoras e promotoras de crescimento (como *Azospirillum*) otimizam a FBN, aumentam o retorno financeiro da lavoura e reduzem o uso de fertilizantes sintéticos (Bittencourt et al., 2024). Transposto para a sala de aula, o conceito desconstrói abordagens reducionistas, promovendo a percepção do solo como um sistema vivo e essencial para a sustentabilidade agrícola. A abordagem pedagógica apoia-se em debates regrados e análise de custos socioecológicos, alinhando-se às metodologias ativas defendidas por Sanches (2025); os discentes confrontam a pegada de carbono da adubação nitrogenada química frente aos ganhos socioambientais do manejo biológico.

CONCLUSÕES

A Fixação Biológica de Nitrogênio pode ser um tema muito rico para o Ensino de Ciências, porque ajuda os estudantes a entenderem como o feijão e outras plantas interagem com bactérias do solo para crescer sem depender apenas de adubos químicos. Essa relação mostra que o solo é um sistema vivo e que cuidar dele é essencial para a produção de alimentos e para enfrentar as mudanças climáticas.

Ao trazer esse conteúdo para a sala de aula, o professor pode propor experimentos simples, como comparar o crescimento de feijões em diferentes condições, ou promover discussões sobre sustentabilidade ligadas ao cotidiano dos alunos. Assim, o aprendizado deixa de ser apenas memorização e passa a ser uma investigação ativa, em que os estudantes observam, levantam hipóteses e refletem sobre o papel das plantas e dos microrganismos na vida humana.

Como perspectiva futura, essa abordagem pode ajudar a superar a chamada impercepção botânica, ou seja, o hábito de não reparar na importância das plantas; e formar jovens mais conscientes sobre a necessidade de cuidar do ambiente. Dessa forma, o Ensino de Ciências se torna um espaço para desenvolver curiosidade, pensamento crítico e responsabilidade diante da emergência climática global.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudo, cujo apoio tem sido essencial para essa trajetória acadêmica e desenvolvimento de produções científicas, incluindo este resumo expandido.

REFERÊNCIAS

- AUBÉRICO, Adriene Jaqueline; OBARA, Ana Tiyomi. Oficina como espaço de problematização do tema “Mudanças Climáticas” no ensino de Ciências e Biologia: uma revisão sistemática. **Scientific Journal ANAP**, [S. l.], v. 1, n. 2, 2023.
- BITTENCOURT, C. D.; MESSIAS, M.; WENDLAND, A.; FERREIRA, E. P. B. Inoculante solubilizador de fosfato melhora o desempenho agrônômico do feijoeiro-comum com menor dose de fertilizante fosfatado. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2024.
- CLÚA, J.; RÍPODAS, C.; RODA, C.; EYLENSTEIN, A.; GRECO, M. B.; ARIEL, F. D.; ZANETTI, M. E.; BLANCO, F. A. Subunidade C do fator de transcrição NF-Y modula organogênese de nódulos e infecção durante simbiose em *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology**, 2024.
- FARIA, Daniela Resende de; TORRES, Guilherme Almussa Leite; COLTRI, Priscila Pereira. O Currículo Paulista como instrumento e recurso para o planejamento docente na educação em mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 33, p. 29-49, 2023.
- GUELFY, D.; NUNES, A. P. P.; SARKIS, L. F.; OLIVEIRA, D. P. Tecnologias inovadoras de fertilizantes fosfatados para melhorar a eficiência do uso de fósforo na agricultura. **Sustainability**, v. 14, n. 21, 14266, 2022.
- HAGN, Jaqueline. **Fixação biológica de nitrogênio em feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.
- MESSIAS, M.; FERREIRA, E. P. B.; SILVA, O. F.; WANDER, A. E. Avaliação econômica da coinoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* em feijão-comum. **Agricultural Research**, v. 13, n. 2, p. 216-224, 2024.
- MORETTI, L. G.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEITE, M. F. A.; MOMESSO, L.; BOSSOLANI, J. W.; GARCIA, A. Consórcios bacterianos e metabólitos microbianos aumentam a qualidade de grãos e produtividade da soja. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 4, p. 1923-1934, 2020.
- OLIVEIRA, D. P.; GUELFY, D.; NUNES, A. P. P.; SARKIS, L. F. Estirpes de rizóbio tolerantes à acidez aumentam a produtividade e rentabilidade do feijoeiro em solos tropicais. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 4, p. 922-933, 2022.
- OLIVEIRA, Francielle Santana de; DESTEFANI, Jéssica Delesposte; TAVARES, Letícia Rigo; PÁSCHOA, José Carlos Venâncio da; CRESPO, Aline Marchiori; ARAUJO, Otávio Pereira; PEIXOTO, Priscilla Moreira Curtis; SIQUEIRA, Camila Barbiero; CORTAT, Lucas Henrique; SOUZA, Maurício Novaes. **Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas**. In: *Microrganismos e plantas: interações e aplicações*. [S. l.]: [s. n.], 2023.

RÍPODAS, C.; CASTAINGTS, M.; CLÚA, J.; VILLAFANE, J.; BLANCO, F. A.; ZANETTI, M. E. Subunidades PvNF-YA1 e PvNF-YB7 influenciam a preferência de estirpes na simbiose *Phaseolus vulgaris*-*Rhizobium etli*. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 221, 2019.

SANTOS, Maria Angelica Alves dos. **A arte botânica na representação de espécies vegetais**. 2026. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2026. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/24788>. Acesso em: 6 set. 2026.

SANCHES, Michelle Yamaguchi. **Explorando o reino vegetal pelo ensino de botânica para alfabetização científica nos anos finais do ensino fundamental**. 2025. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade de Passo Fundo, 2025. Disponível em: <https://repositorio.upf.br/items/f484ff91-ed10-445c-8896-f09ac88044a1> . Acesso em: 6 set. 2026.

URSI, Suzana; BARBOSA, Priscilla Platz; SUNTES, Cecília Amaral; BERCHEZ, Flávio Augusto de Souza. Ensino de Botânica: conhecimento e encantamento na educação científica. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 7-24, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0002>