

Análise da atividade enzimática para avaliação da saúde do solo

Analysis of enzymatic activity for soil health assessment

Análisis de la actividad enzimática para evaluar la salud del suelo

Fábio Satoshi Higashikawa

Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA, Brasil.

 0000-0002-5601-7931

Marcos Lima Campos do Vale

Epagri. Estação Experimental de Itajaí, Itajaí, Santa Catarina, Brasil.

 0000-0003-1101-1760

Gelton Geraldo Fernandes Guimarães

Embrapa Gado de Leite. Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

 0000-0001-9029-5241

Rafael Ricardo Cantú

Epagri. Estação Experimental de Videira, Videira, Santa Catarina, Brasil.

 0000-0003-2884-9340

Alexandre Visconti

Epagri. Estação Experimental de Itajaí, Itajaí, Santa Catarina, Brasil.

 0000-0002-9925-7177

Resumo: A saúde do solo é um conceito dinâmico e multifacetado, fundamental para a sustentabilidade dos ecossistemas e dos sistemas agrícolas. Um solo saudável é biologicamente ativo, produtivo e capaz de prestar serviços ambientais essenciais. A avaliação da saúde do solo pode ser realizada por meio de bioindicadores, como a atividade das enzimas arilsulfatase (ARIL) e β -glicosidase (BG). Essas enzimas são sensíveis às mudanças no manejo do solo e refletem a “memória do solo” quanto à saúde. Este trabalho de revisão buscou sintetizar pesquisas sobre as atividades enzimáticas de ARIL e BG em diversas regiões e sistemas de manejo no Brasil. Observou-se que a interpretação dos valores enzimáticos requer calibração regionalizada e que práticas conservacionistas, como sistemas agroflorestais, plantio direto e integração lavoura-pecuária, tendem a elevar a atividade dessas enzimas em comparação com o cultivo convencional, o que impacta positivamente o acúmulo de matéria orgânica e a produtividade. Além disso, alguns estudos evidenciam que fatores como a fertilização (nitrogenada) e a calagem influenciam positivamente a atividade enzimática, enquanto a compactação do solo e algumas inoculações microbianas podem exercer efeitos negativos. A variação nos valores das enzimas ARIL e BG, relatada na literatura, reforça a necessidade de estudos regionalizados em diferentes biomas e culturas no país. A revisão objetiva, portanto, criar um mapa regionalizado da saúde do solo com enfoque no estado de Santa Catarina, visando auxiliar na tomada de decisão e no planejamento agrícola.

Palavras-chave: Bioindicadores do Solo; Arilsulfatase; Beta-glicosidase.

Abstract: Soil health is a dynamic and multifaceted concept, fundamental to the sustainability of ecosystems and agricultural systems. Healthy soil is biologically active, productive, and capable of providing essential environmental services. Soil health assessment can be performed using bioindicators, such as arylsulfatase (ARIL) and β -glucosidase (BG) activities. These enzymes are sensitive to changes in soil management and reflect the soil's "memory" regarding its health. This review aimed to synthesize research on the enzymatic activities of ARIL and BG in various regions and management systems in Brazil. It was observed that interpreting enzymatic values requires regional calibration and that conservationist practices, such as agroforestry systems, no-till farming, and crop-livestock integration, tend to increase enzyme activity compared with conventional cultivation, thereby positively impacting organic matter accumulation and productivity. Furthermore, some studies show that factors such as fertilization (nitrogen) and liming positively influence enzymatic activity, whereas soil compaction and certain microbial inoculations can negatively affect it. Variations in ARIL and BG enzyme values reported in the literature reinforce the need for regionalized studies across different biomes and crops nationwide. This review aims to create a regionalized map of soil health for the state of Santa Catarina to assist in decision-making and agricultural planning.

Keywords: Soil Bioindicators; Arylsulfatase; Beta-glucosidase.

Resumen: La salud del suelo es un concepto dinámico y multifacético, fundamental para la sostenibilidad de los ecosistemas y de los sistemas agrícolas. Un suelo sano es biológicamente activo, productivo y capaz de proporcionar servicios ambientales esenciales. La evaluación de la salud del suelo puede realizarse mediante bioindicadores, como la actividad de las enzimas arilsulfatasa (ARIL) y β -glucosidasa (BG). Estas enzimas son sensibles a los cambios en el manejo del suelo y reflejan la "memoria del suelo" con respecto a su salud. Esta revisión tuvo como objetivo sintetizar la investigación sobre las actividades enzimáticas de ARIL y BG en diversas regiones y sistemas de manejo en Brasil. Se observó que la interpretación de los valores enzimáticos requiere una calibración regionalizada y que las prácticas de conservación, como los sistemas agroforestales, la siembra directa y la integración cultivo-ganadería, tienden a aumentar la actividad de estas enzimas en comparación con el cultivo convencional, lo que impacta positivamente en la acumulación de materia orgánica y en la productividad. Además, algunos estudios muestran que factores como la fertilización con nitrógeno y el encalado influyen positivamente en la actividad enzimática, mientras que la compactación del suelo y algunas inoculaciones microbianas pueden tener efectos negativos. La variabilidad de los valores de las enzimas ARIL y BG reportados en la literatura refuerza la necesidad de realizar estudios regionalizados en diferentes biomas y cultivos del país. Por lo tanto, esta revisión tiene como objetivo elaborar un mapa regionalizado de la salud del suelo, enfocado en el estado de Santa Catarina, para facilitar la toma de decisiones y la planificación agrícola.

Palabras clave: Bioindicadores del suelo; Arilsulfatasa; Beta-glucosidasa.

1 INTRODUÇÃO

A atividade enzimática do solo é um bioindicador altamente sensível e de baixo custo, amplamente utilizado para avaliar a saúde do solo e a eficácia dos sistemas de manejo. Nesse contexto, as enzimas arilsulfatase (ARIL) e β -glicosidase (BG) são especialmente relevantes, pois refletem a "memória do solo" quanto ao manejo adotado, indicando a presença de comunidades microbianas ativas e saudáveis (Mendes *et al.*, 2019a; Lopes *et al.*, 2021). O potencial dessas enzimas como indicadores da saúde do solo, aliado à sua sensibilidade e à facilidade de determinação, torna-as ferramentas valiosas para estudos de manejo (Lopes *et al.*, 2013).

No Brasil, devido à sua vasta diversidade de climas, solos e culturas, a pesquisa sobre a atividade enzimática sob diferentes condições é essencial para uma calibração regionalizada e precisa (Sobucki *et al.*, 2021). Este trabalho de revisão busca, portanto, sintetizar e discutir os principais resultados de pesquisas sobre a saúde do solo, com foco na avaliação da atividade das enzimas ARIL e BG em diferentes regiões e sistemas de manejo de culturas agrícolas no Brasil.

Serão abordados temas que vão desde a calibração e a interpretação de valores críticos em diferentes biomas até a influência de práticas agrícolas. Além disso, propõe-se fornecer uma visão abrangente sobre o papel destes bioindicadores na compreensão da saúde dos solos brasileiros. Ademais, o presente trabalho objetiva discutir perspectivas para a determinação dos teores de ARIL e BG especificamente em solos agrícolas do estado de Santa Catarina.

2 SAÚDE DO SOLO

A saúde do solo é definida por sua capacidade contínua de funcionar como um ecossistema vivo e vital para sustentar plantas, animais e humanos, capaz de conectar a agricultura e a ciência do solo às políticas públicas, às necessidades das partes interessadas e ao manejo das cadeias produtivas-chave (Lehmann *et al.*, 2020).

Para identificar e mensurar a saúde do solo, é necessário compreender as propriedades físicas, químicas e biológicas do sistema, bem como a dependência da complexidade e da conectividade entre seus componentes (Harris; Evans; Mooney, 2022). A biota do solo é responsável por serviços ecossistêmicos fundamentais e figura entre as funções mais críticas a serem restauradas para a recuperação de solos degradados (Lehman *et al.*, 2015). Dessa forma, práticas que promovem a recuperação da biota do solo contribuem diretamente para melhorar a saúde do solo e para a recuperação de áreas degradadas. O aumento da atividade biológica de um solo, evidenciado pela atividade enzimática, constitui o primeiro sinal de melhoria do solo e, conseqüentemente, o aumento da atividade biológica favorece o acúmulo de matéria orgânica, impactando a qualidade física e química do solo (Mendes *et al.*, 2021).

Um solo saudável é biologicamente ativo, produtivo e capaz de promover serviços ambientais importantes, como o armazenamento de água e o sequestro de carbono (Mendes *et al.*, 2020). Além dos benefícios ecológicos, a saúde do solo também é essencial para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (Cherubin *et al.*, 2025). De acordo com esses autores, os seguintes ODS (Nações Unidas, 2015) são influenciados pela saúde do solo: ODS 1 (Erradicação da pobreza), ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável), ODS 3 (Saúde e bem-estar), ODS 6 (Água potável e saneamento), ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e ODS 15 (Vida terrestre).

Em sistemas agrícolas, solos saudáveis (Figura 1) apresentam equilíbrio entre as propriedades físicas, químicas e biológicas. A Figura 1 também evidencia a multifuncionalidade do solo, o que significa que o solo é um sistema complexo capaz de desempenhar diversas funções e serviços ecossistêmicos em diferentes níveis e combinações (Kibblewite; Ritz; Swift, 2008). Plantas cultivadas em solos equilibrados são frequentemente resistentes a estresses bióticos e abióticos, além de apresentarem maior produtividade e estabilidade de produção ao longo do tempo (Cherubin; Carvalho; Rodrigues, 2023). Solos biologicamente ativos são mais saudáveis e produtivos, enquanto os menos saudáveis são menos produtivos e mais suscetíveis a estresses ambientais (Mendes *et al.*, 2019a). Além disso, em sistemas integrados, onde os solos são saudáveis, o sequestro de carbono e a produtividade agropecuária avançam simultaneamente (Frazão *et al.*, 2025).

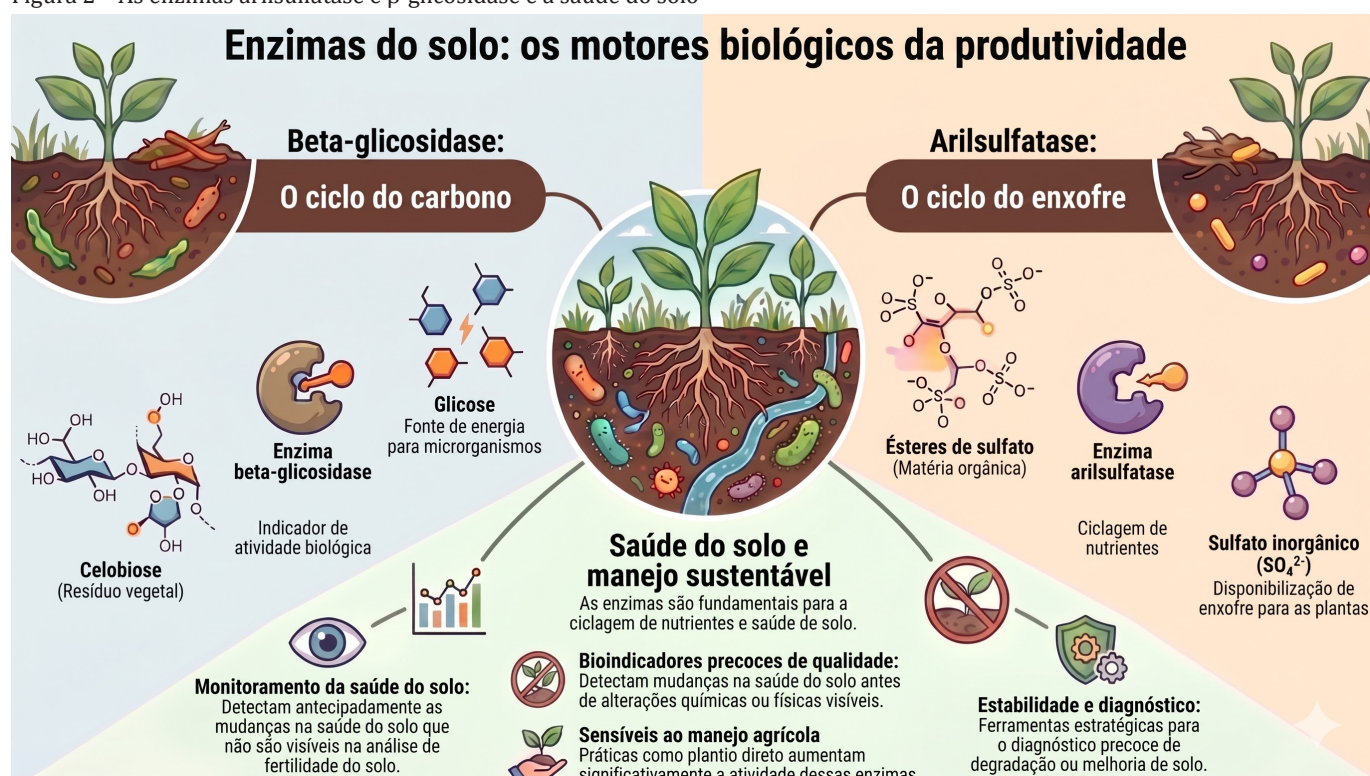
Figura 1 – A saúde do solo depende do equilíbrio entre suas propriedades físicas, químicas e biológicas, o que garante e sustenta a multifuncionalidade do solo



Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio da inteligência artificial Google NotebookLM (2026) e Google Gemini (2026). Adaptado de Cherubin, Carvalho e Rodrigues (2023).

Uma forma de avaliar a saúde do solo consiste na determinação da atividade das enzimas ARIL e BG (Figura 2) em amostras de solo secas ao ar, de camadas de 0 a 10cm (Mendes *et al.*, 2019b). Essas enzimas são bioindicadores altamente sensíveis que mostram se, em solos cultivados, estão sendo adotados sistemas de manejo conservacionistas ou manejos que degradam o solo (Mendes *et al.*, 2019a). Os sistemas de manejo conservacionistas compreendem a aplicação prática de três princípios interligados, a saber: mínimo ou nenhum revolvimento mecânico do solo, cobertura do solo com palhada e diversificação de espécies de culturas, em conjunto com outras boas práticas agrícolas complementares ao manejo integrado de culturas e de produção (Kassam; Friedrich; Derpich, 2018). A sensibilidade das enzimas ARIL e BG para detectar mudanças nos sistemas de manejo indica que, mesmo em solos com atributos químicos semelhantes, a atividade enzimática pode variar, sendo mais elevada em solos saudáveis e produtivos. Por essa razão, é possível concluir que um solo com a análise de fertilidade do solo com os valores adequados de acordo com as recomendações dos manuais de calagem e adubação não garante que nesta área os solos estejam saudáveis e produtivos, especialmente em anos com eventos climáticos adversos, como o veranico (Mendes *et al.*, 2025).

Figura 2 – As enzimas arilsulfatase e β -glicosidase e a saúde do solo



Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio da inteligência artificial Google NotebookLM (2026) e Google Gemini (2026). Adaptado de Sobucki *et al.* (2021).

A determinação de enzimas do solo possui grande potencial como indicador de saúde do solo devido à sua sensibilidade, facilidade de análise e baixo custo (Lopes *et al.*, 2013). A atividade enzimática total resulta do somatório da atividade enzimática de organismos vivos e de enzimas abiônicas, associadas à fração não viva, as quais ficam adsorvidas no complexo húmico-argiloso e protegidas da ação de proteases, sendo uma das vias de formação da “memória do solo” quanto ao manejo ao qual ele foi submetido (Mendes *et al.*, 2019a).

A “memória do solo” reflete os organismos vivos e as enzimas abiônicas nele presentes, indicando, consequentemente, os diferentes manejos adotados (Lopes *et al.*, 2021). Assim, quanto maior a quantidade de matéria orgânica no solo, maiores são os níveis de ARIL, responsável por catalisar a conversão do enxofre orgânico em enxofre inorgânico (Santos *et al.*, 2022). Por sua vez, na atividade de BG, a qualidade da matéria orgânica exerce maior influência, pois esta enzima atua na etapa final da degradação da celulose, com consequente liberação de glicose. Estudos de Mendes *et al.* (2019a) e de Santos *et al.* (2022) demonstram que solos de mata nativa do Cerrado e de áreas de transição entre

Mata Atlântica e Cerrado, com resíduos orgânicos complexos e altos teores de lignina, apresentam menor atividade de BG do que os solos agrícolas das mesmas regiões. Por outro lado, de acordo com Bastos *et al.* (2023), o solo de mata nativa de uma área de transição entre Caatinga e Mata Atlântica apresentou teores de BG superiores aos dos solos agrícolas da mesma região. A detecção do aumento da atividade enzimática pressupõe que o manejo adotado favorece o acúmulo de matéria orgânica do solo e, consequentemente, a saúde do solo (Rodrigues *et al.*, 2021).

A atividade enzimática é modulada principalmente pela dinâmica dos elementos presentes no solo, por fatores ambientais e naturais, bem como por fatores impostos pelo uso. No Brasil, devido à diversidade de climas, solos e culturas, torna-se necessário avaliar a atividade enzimática sob diferentes condições, para que sua interpretação seja calibrada a diferentes regiões, solos e culturas (Sobucki *et al.*, 2021).

3 VALORES DE ARILSULFATASE E B-GLICOSIDASE EM DIFERENTES REGIÕES, SOLOS E CULTURAS BRASILEIRAS

A interpretação dos valores de bioindicadores arilsulfatase e β -glicosidase em Latossolos argilosos do Cerrado brasileiro, baseada nos princípios dos ensaios de calibração de nutrientes, foi proposta por Lopes *et al.* (2013). Os autores utilizaram modelos de regressão linear para correlacionar os valores do rendimento relativo acumulado (RRA) de milho e de soja, ou os teores de carbono orgânico do solo (COS), com os valores das enzimas da camada de 0 a 10cm. Foram estabelecidas as seguintes classes de interpretação para expressar a relação entre RRA ou COS e os indicadores microbianos: $\leq 40\%$ do RRA ou COS - baixo; 41 a 80% do RRA ou COS - moderado; e $> 80\%$ do RRA ou COS - adequado. Os valores considerados adequados foram > 90 e $> 115\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ para ARIL e BG, respectivamente, para RRA, e > 90 e $> 140\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ para ARIL e BG, respectivamente, para COS (Lopes *et al.*, 2013). As primeiras tabelas de interpretação das enzimas arilsulfatase (ARIL) e β -glicosidase (BG) foram desenvolvidas a partir de amostras de solo coletadas na fase de florescimento das culturas e mantidas na umidade natural do solo, pois precisavam ser processadas e analisadas rapidamente em laboratório, o que acarreta dificuldades logísticas (Lopes *et al.*, 2013; Lopes *et al.*, 2018).

Em outro estudo, Mendes *et al.* (2019b) propuseram duas estratégias de amostragem de solo da camada de 0 a 10cm de Latossolo Vermelho argiloso do Cerrado brasileiro. Foram consideradas amostras de solo seco ao ar na fase pós-colheita do milho, bem como amostras de solo úmido durante a floração. Os valores considerados adequados de ARIL e BG foram > 71 e $> 116\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente. Esses valores são baseados nos limites superiores da faixa de valores considerados moderados para solos secos ao ar. Os valores adequados para amostras de solo úmido de ARIL e BG foram > 116 e $> 210\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente; no entanto, a análise em amostras secas ao ar apresenta uma logística superior para a avaliação da atividade enzimática e é igualmente confiável.

Em cultivo de café em Latossolo Vermelho distrófico argiloso no Cerrado, a aplicação de calcário em cobertura sobre a braquiária cultivada nas entrelinhas aumentou as atividades de ARIL (de 115 a 145 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) e de BG (de 151 a 176 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) na estação chuvosa, em relação à ausência de braquiária nas entrelinhas (Rodrigues *et al.*, 2021). Segundo esses autores, este fato deve-se ao efeito nutricional e fisiológico da calagem no sistema com braquiária e ao impacto positivo na biologia do solo. Esses valores de ARIL e BG mencionados anteriormente referem-se ao solo da camada de 0 a 10cm, coletado na estação chuvosa (Rodrigues *et al.*, 2021), sendo considerados adequados para Latossolo (Mendes *et al.*, 2019b). Rodrigues *et al.* (2021) verificaram que o aumento da atividade enzimática proporcionado pelo manejo do café, com a aplicação de calagem e o cultivo de braquiárias nas entrelinhas, favorece o acúmulo de matéria orgânica e, consequentemente, a saúde do solo.

Em pastagens estabelecidas em solos tropicais, destinadas à pecuária de corte, o aumento da taxa de pastoreio afeta negativamente o teor de carbono e a atividade biológica, devido a mudanças nas propriedades físicas e químicas decorrentes da compactação do solo (Santos *et al.*, 2022). Essas pastagens avaliadas neste estudo abrangeram uma área de vegetação de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado em Latossolo Vermelho Distrófico. Segundo esses autores, a pastagem de sequeiro, com taxa moderada de lotação de pastoreio, apresenta atividade de BG superior ($\sim 160\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) à da mata nativa ($\sim 105\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$), devido à maior presença de matéria orgânica lábil. Além disso, de acordo com os mesmos autores, na mata nativa há um retorno ao solo de resíduos de plantas com maior presença de lignina em anéis aromáticos do que em solos agrícolas, o que limita a degradação da celulose e reduz a atividade da BG. Portanto, de acordo com os autores, para BG, a qualidade da matéria orgânica (MO) influencia os valores,

o que é o contrário de ARIL, em que a quantidade de MO aumenta significativamente a atividade. Por essa razão, o valor de ARIL na pastagem de sequeiro, com taxa moderada de lotação de pastoreio ($\sim 488 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$), foi menor do que na mata nativa ($\sim 1250 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) (Santos *et al.*, 2022). Os valores de $\sim 160 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ de BG e de $\sim 488 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ de ARIL são considerados adequados para Latossolo (Mendes *et al.*, 2019b).

Em experimento realizado por Bastos *et al.* (2023), em regiões tropicais, os solos dos sistemas agroflorestais de café e grevêlea e de café e cedro australiano apresentaram maior atividade de ARIL (215,62 e 181,12 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente) do que o monocultivo de café (134,01 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$). Esse estudo avaliou o Argissolo de uma área de transição entre a Caatinga e a Mata Atlântica na Bahia. De acordo com os autores, o fato deve-se à maior quantidade e à melhor qualidade dos resíduos orgânicos depositados nos solos nesses sistemas agroflorestais. No estudo, a atividade da BG foi semelhante entre os sistemas de cultivo do café (87,10 e 102,79 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, para café com grevêlea ou com cedro australiano, respectivamente), mas inferior à observada na mata nativa (130,41 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$). Além disso, no solo da mata nativa, os autores relatam uma comunidade microbiana bem estruturada, diversificada e estabelecida, que desempenha um papel importante na atividade enzimática do solo. Por essa razão, a atividade da BG na mata nativa foi maior do que a dos sistemas de cultivo de café avaliados. Esses valores de ARIL e de BG, encontrados para Argissolo (Bastos *et al.*, 2023), podem ser considerados como referência para o cultivo de café, pois são mais elevados e foram observados em sistemas agroflorestais.

De acordo com Barbosa *et al.* (2023), em um estudo que abrangeu 57 localidades nos seis biomas e oito das treze ordens de solo presentes no Brasil, a matéria orgânica do solo, o carbono, o nitrogênio da biomassa microbiana e o teor de argila correlacionaram-se positivamente com a atividade de ARIL e de BG. Além disso, segundo os autores, valores mais altos de ARIL e de BG estão relacionados a solos com maior diversidade microbológica e a solos agrícolas com culturas de alta produtividade. De acordo com o estudo, os valores médios de ARIL e BG em $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ são: 21 e 84 em sistema de plantio direto no bioma Mata Atlântica; 115 e 168 em sistema de plantio direto no bioma Cerrado; 27 e 87 na integração lavoura-pecuária no bioma Mata Atlântica; 254 e 218 na integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado; 187 e 126 em pastagem na Amazônia, Cerrado e Pampa e 184 e 155 na integração lavoura-pecuária na Amazônia, Cerrado e Pampa (Barbosa *et al.*, 2023). Esses valores podem ser considerados adequados e de referência para os solos estudados, pois foram obtidos em sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária, nos quais a atividade enzimática é mais elevada do que no sistema convencional.

Limites críticos de ARIL e BG em Argissolo do Rio Grande do Sul foram determinados por Sobucki *et al.* (2024), com base em amostras de solo coletadas em lavouras de milho cultivadas sob sistemas de plantio convencional e direto. Segundo os autores, ao utilizar os dados de rendimento relativo acumulado de milho, os valores considerados críticos foram > 452 e $> 154 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente, para ARIL e BG. Quando os autores analisaram a interpretação dos valores dessas enzimas em relação aos teores de carbono orgânico no solo, consideraram críticos os valores de ARIL e BG, de > 406 e $> 139 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente. Esses valores mencionados anteriormente foram considerados adequados para Argissolo de clima subtropical (Sobucki *et al.*, 2024).

Da mesma forma, Camargo *et al.* (2024) avaliaram as atividades da ARIL e da BG em amostras de solo da camada de 0 a 10cm de um Latossolo do Mato Grosso. O estudo retrata um experimento de integração lavoura-pecuária, com aplicação de P e K na soja ou na pastagem (braquiária), com ou sem fertilização nitrogenada durante a fase de pastagem. Neste caso, quando a soja recebeu adubação fosfatada e potássica, os níveis de ARIL foram de $34 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (sem nitrogênio) e $59 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (com 100kg de nitrogênio). Por outro lado, quando a adubação foi aplicada na pastagem, os níveis foram de $60 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (sem nitrogênio) e $51 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (com 100kg de nitrogênio). De acordo com os autores, quando a adubação fosfatada e potássica foi aplicada na soja, os valores de BG, com a ausência ou com a aplicação de 100kg de N na pastagem, foram de 181 e 288 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente. No entanto, quando a adubação fosfatada e potássica foi aplicada na pastagem, os valores de BG, com a ausência ou com a aplicação de 100kg de N, foram de 333 e 334 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente (Camargo *et al.*, 2024). Assim, a atividade enzimática foi menor na soja fertilizada com potássio e fósforo, sem adubação nitrogenada. De acordo com os autores, o uso de fertilizante nitrogenado aumentou a saúde do solo, ao elevar a fração particulada de matéria orgânica do solo, como resultado do aumento de raízes, da parte aérea e do rendimento, acompanhado pelo aumento da atividade microbiana e, conseqüentemente, dos teores de enzimas no solo (Camargo *et al.*, 2024). Os valores para o Latossolo do Mato Grosso, para ARIL e BG, foram de 60 e 334 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (Camargo *et al.*, 2024) e são considerados, respectivamente, moderados e adequados para Latossolo (Mende *et al.*, 2019b).

A atividade das enzimas ARIL e BG da camada de 0 a 10cm de um Latossolo Vermelho em Mato Grosso do Sul, em um experimento de rotação de culturas em sistema de plantio direto de longa duração, com e sem inoculação de *Azospirillum brasilense*, foi avaliada por Ribeiro *et al.* (2025). Os autores verificaram que as atividades de ARIL e BG nas áreas sem inoculação foram de 148 e 159 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente. Esses valores são considerados adequados para Latossolo de acordo com Mendes *et al.* (2019b). Os autores ainda verificaram que a atividade em $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ de ARIL (127) e BG (127) na área inoculada foi, respectivamente, 14,2% e 20,1% menor do que na área não inoculada. De acordo com o estudo, a menor atividade das enzimas em áreas inoculadas pode ter ocorrido devido à competição entre os microrganismos nativos do solo e os introduzidos pela inoculação (Ribeiro *et al.*, 2025).

A atividade enzimática de ARIL e BG foi avaliada em Neossolo Quartzarênico, no oeste da Bahia, em sistema de produção convencional e de plantio direto de algodão, soja e milho (Lopes *et al.*, 2021). Foram avaliados dez tratamentos divididos em dois sistemas. No plantio convencional, analisaram-se os monocultivos de (1) soja, (2) milho e (3) algodão, além das alternâncias de (4) milheto com algodão e de (5) soja com milho e braquiária. No sistema de plantio direto, avaliaram-se: (6) a rotação entre algodão, soja, milheto (*Pennisetum glaucum* L.), milho consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) e crotalária (*Crotalaria spectabilis*); (7) a sucessão soja/crotalária (*Crotalaria ochroleuca*) em rotação com milho, braquiária e crotalária (*Crotalaria spectabilis*); (8) a rotação de milho e braquiária com algodão e sucessão de soja com crotalária; (9) a rotação de algodão e soja com crotalária e consórcio de milho com crotalária; e (10) a sucessão de soja e sorgo (*Sorghum bicolor*) rotacionada com algodão. Os valores de ARIL e de BG variaram de 3 (tratamento 1) a 9 (tratamento 8) e de 26 (tratamento 3) a 44 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (tratamento 8), respectivamente, na camada de 0 a 10cm do solo seco ao ar (Lopes *et al.*, 2021). Segundo esses autores, o aumento da atividade enzimática foi observado devido à presença de plantas de cobertura e ao sistema de plantio direto, e é indicativo da mudança dos teores de matéria orgânica do solo, da ciclagem de nutrientes e do sequestro de carbono no solo. Portanto, para o Neossolo Quartzarênico, os valores de 9 e 44 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente, para ARIL e BG, podem ser considerados de referência.

O efeito de espécies de plantas de cobertura foi avaliado na atividade enzimática (ARIL e BG) e na produtividade de milho em sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho Distroférrico no Mato Grosso do Sul (Oliveira *et al.*, 2026). Os autores verificaram que os tratamentos não influenciaram significativamente a produção de milho nos dois anos avaliados; porém, houve diferença na atividade enzimática entre as espécies. Os tratamentos avaliados pelos autores foram os seguintes: consórcio de *Crotalaria ochroleuca* + milheto (*Pennisetum glaucum* L.) + trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) + braquiária (*Urochloa ochroleuca*) e monocultivos de níger (*Guizotia abyssinica*), braquiária, *Crotalaria spectabilis*, ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Os valores de ARIL variaram de 49,26 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (níger) a 75,75 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (*Crotalaria spectabilis*), e os de BG variaram de 174,46 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (níger) a 223,75 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (*Crotalaria spectabilis*). Esses valores de ARIL são considerados moderados a adequados, e os de BG, adequados para Latossolo (Mendes *et al.*, 2019).

A saúde do solo foi avaliada em comunidade quilombola no estado do Rio de Janeiro, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (Coelho-Júnior *et al.*, 2026), em diferentes sistemas de uso da terra: mata nativa (Mata Atlântica), agrofloresta, rotação de culturas e jardim doméstico. De acordo com este estudo, os valores de BG variaram de 63 (rotação de culturas) a 103 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (mata nativa) e são considerados, respectivamente, baixo e moderado para Latossolos (Mendes *et al.*, 2019b). Por outro lado, de acordo com o estudo de Coelho-Júnior *et al.* (2026), os valores de ARIL variaram de 466 (rotação de culturas) a 643 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (mata nativa), valores bem mais elevados do que o valor (> 71) considerado adequado para o Cerrado (Mendes *et al.*, 2019b). Possivelmente, essa diferença nos valores de ARIL desses biomas se deve a processos pedogenéticos distintos e a condições climáticas, na expressão enzimática, em solos de florestas tropicais (Coelho-Júnior *et al.*, 2026). Além disso, segundo os autores, a elevada atividade da ARIL deve-se a uma forte contribuição de fungos para o funcionamento do solo da Mata Atlântica, o que a distingue de outros biomas tropicais como o Cerrado.

Diante do exposto, foi possível concluir que os valores de ARIL e BG variam significativamente na literatura até mesmo entre o mesmo tipo de solo, o que justifica a necessidade de calibração regionalizada desses valores para as diversas culturas agrícolas presentes nas diferentes regiões brasileiras (Tabela 1). Até o momento da redação deste manuscrito não foram encontrados trabalhos publicados em periódicos sobre a atividade enzimática de ARIL e de BG em solos catarinenses. De modo geral, sistemas produtivos mais conservacionistas apresentaram atividade enzimática mais elevada em relação ao plantio convencional e, por essa razão, os valores encontrados em solos de sistemas conservacionistas de produção constituem referência de saúde do solo estudado quando não se dispõe de curva de calibração para determinar os teores considerados adequados.

Tabela 1 – Valores de arilsulfatase e de β -glicosidase considerados adequados ou de referência em solos agrícolas de diversas regiões do Brasil

Classificação do solo	Arilsulfatase	β -glicosidase	Referência
$\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$			
Latossolo	> 71	> 116	Mendes <i>et al.</i> (2019b)
Latossolo	145	176	Rodrigues <i>et al.</i> (2021)
Latossolo	488	160	Santos <i>et al.</i> (2022)
Latossolo	60	334	Camargo <i>et al.</i> (2024)
Latossolo	148	159	Ribeiro <i>et al.</i> (2025)
Latossolo	75	223	Oliveira <i>et al.</i> (2026)
Neossolo	9	44	Lopes <i>et al.</i> (2021)
Argissolo	215	102	Bastos <i>et al.</i> (2023)
Argissolo	> 452	> 139	Sobucki <i>et al.</i> (2024)
Argissolo	466	63	Coelho-Júnior <i>et al.</i> (2026)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Conservar ou aprimorar a saúde do solo é fundamental para assegurar o funcionamento e a continuidade dos serviços ecossistêmicos associados à agricultura. A atividade enzimática do solo destaca-se como bioindicador sensível para avaliar a saúde do solo e subsidiar a tomada de decisão sobre práticas de manejo mais sustentáveis e eficientes.

O estado de Santa Catarina possui uma agricultura altamente diversificada, abrangendo culturas de grande relevância econômica e social, como arroz, soja, milho, banana, maçã, uva, cebola, tomate, entre outras. Diante dessa diversidade produtiva, o estudo de avaliação e calibração das enzimas ARIL e BG pode ser realizado com culturas representativas distribuídas nas seis mesorregiões do Estado: Vale do Itajaí, Norte Catarinense, Serrana, Grande Florianópolis, Sul Catarinense e Oeste Catarinense.

Para os sistemas de produção de grãos, propõe-se a realização de estudos em áreas cultivadas com arroz; na fruticultura, a inclusão de cultivos como banana e maçã; e, no seguimento das hortaliças, a incorporação de áreas sob sistemas de plantio direto. Em uma perspectiva futura, o mapeamento e a calibração dos valores das enzimas ARIL e BG em todas as mesorregiões do Estado mencionadas anteriormente permitirão a construção de um mapa de saúde do solo de Santa Catarina, contribuindo para o monitoramento da saúde do solo e para o aprimoramento de práticas agrícolas mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. Z.; POGGERE, G.; CORRÊA, R. S.; HUNGRIA, M.; MENDES, I. de C. Soil enzymatic activity in Brazilian biomes under native vegetation and contrasting cropping and management. **Applied Soil Ecology**, v. 190, p. 105014, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139323002123>. Acesso em: 11 jun. 2025.

BASTOS, T. R. dos S.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; MENDES, I. de C.; MONROE, P. H. M.; CARVALHO, F. F. de. Response of soil microbial biomass and enzyme activity in coffee-based agroforestry systems in a high-altitude tropical climate region of Brazil. **CATENA**, v. 230, p. 107270, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816223003612>. Acesso em: 11 jun. 2025.

CAMARGO, T. A. de; ALVES, L. A.; MENDES, I. C.; GASQUES, L. R.; OLIVEIRA, L. G. S. de; PIRES, G. C.; ALMEIDA, T. O.; CARVALHO, P. C. de F.; SOUZA, E. D. de. Enhancing soil quality and grain yields through fertilization strategies in integrated crop-livestock system under no-till in Brazilian Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, v. 121, p. 103613, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1164556324000190>. Acesso em: 12 jun. 2025.

CHERUBIN, M. R.; CARVALHO, M. L.; RODRIGUES, M. Saúde do solo: entendendo os conceitos, relevância e suas aplicações na agricultura e meio ambiente. **Informações Agronômicas Nutrição de Plantas n. 18**, Piracicaba, p. 15–23, 2023.

CHERUBIN, M. R.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; NWAOGU, C.; SOUZA, V. S.; CANISARES, L. P.; GALERA, L. de A.; SOUZA, L. F. N. Saúde do solo: a base para ecossistemas tropicais mais produtivos e resilientes. In: CHERUBIN, M. R.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; CASINARES, L. P.; CERRI, C. E. P. (org.). **Saúde do solo em ecossistemas Tropicais: a base para mitigação e adaptação às mudanças climáticas**. Piracicaba: Fealq, 2025. p. 13–37.

COELHO-JUNIOR, M. G.; SILVA NETO, E. C. da; PINTO, L. A. da S. R.; MENDES, I. de C.; PEREIRA, M. G.; TURETTA, A. P. D.; SILVA, E. M. R. da. Soil health in land-use systems of a quilombola community in Brazil: Integrating soil aggregate analysis and enzymatic indicators. **Applied Soil Ecology**, v. 217, p. 106636, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780891189831.ch11>.

FRAZÃO, L. A.; FREITAS, I. C.; LESSA, M. F. G.; VIANA, F. J.; BIELUCZYK, W.; MENDES, I. C. Benefícios dos sistemas agrícolas integrados para a saúde do solo. In: CHERUBIN, M. R.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; CANISARES, L. P.; CERRI, C. E. P. (org.). **Saúde do solo em ecossistemas Tropicais: a base para mitigação e adaptação às mudanças climáticas**. Piracicaba: Fealq, 2025. p. 315–341.

GOOGLE. Gemini. Versão [Gemini 1.5 Pro]. [S.l.]: Google LLC, 2026. Plataforma de inteligência artificial utilizada no suporte à edição e refinamento visual das Figuras [1 e 2]. Disponível em: <https://gemini.google.com>. Acesso em: 20 fev. 2026.

GOOGLE. NotebookLM [software]. [S.l.]: Google LLC, 2026. Plataforma de assistência de pesquisa utilizada para a geração automática dos infográficos apresentados nas Figuras [1 e 2], a partir das fontes fornecidas pelo autor. Disponível em: <https://notebooklm.google.com>. Acesso em: 20 fev. 2026.

HARRIS, J. A.; EVANS, D. L.; MOONEY, S. J. A new theory for soil health. **European Journal of Soil Science**, v. 73, n. 4, e13292, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ejss.13292>. Acesso em: 30 maio 2024.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. Global spread of Conservation Agriculture. **International Journal of Environmental Studies**, v. 76, n. 1, p. 29–51, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207233.2018.1494927>. Acesso em: 12 fev. 2026.

KIBBLEWHITE, M. G.; RITZ, K.; SWIFT, M. J. Soil health in agricultural systems. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 363, n. 1492, p. 685–701, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17785275/>. Acesso em: 13 fev. 2026.

LEHMAN, R. M.; CAMBARDELLA, C. A.; STOTT, D. E.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; MANTER, D. K.; BUYER, J. S.; MAUL, J. E.; SMITH, J. L.; COLLINS, H. P.; HALVORSON, J. J.; KREMER, R. J.; LUNDGREN, J. G.; DUCEY, T. F.; JIN, V. L.; KARLEN, D. L. Understanding and Enhancing Soil Biological Health: The Solution for Reversing Soil Degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 1, p. 988–1027, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/1/988>. Acesso em: 23 jun. 2025.

LEHMANN, J.; BOSSIO, D. A.; KÖGEL-KNABNER, I.; RILLIG, M. C. The concept and future prospects of soil health. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 10, p. 544–553, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43017-020-0080-8>. Acesso em: 30 maio 2024.

LOPES, A. A. C.; BOGIANI, J. C.; FIGUEIREDO, C. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SOUSA, D. M. G.; MALAQUIAS, J. V.; MENDES, I. C. Enzyme activities in a sandy soil of Western Bahia under cotton production systems: short-term effects, temporal variability, and the FERTBIO sample concept. **Brazilian journal of microbiology**, v. 52, n. 4, p. 2193–2204, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42770-021-00606-z>. Acesso em: 11 jun. 2025.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; DOS REIS, F. B.; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. I. V.; SOUZA, L. M.; CARVALHO MENDES, I. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 12, p. 72–82, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S235200941730130X> Acesso em: 11 jun. 2025.

LOPES, A. A. de C.; SOUSA, D. M. G. de; CHAER, G. M.; JUNIOR, F. B. dos.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. de C. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461–472, 2013. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2136/sssaj2012.0191>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MENDES, I. C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B.; SOUSA, D. M. G.; DANTAS, O. D.; OLIVEIRA, M. I. L.; MALAQUIAS, J. V. **Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo**. Planaltina: Embrapa, 2021. 50 p. (Embrapa. Documentos, 369).

MENDES, I. C.; CHAER, G. M.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; DANTAS, O. D.; OLIVEIRA, M. I. L.; LOPES, A. S. C.; SOUZA, L. M. Bioanálise de solo: a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola. **Informação Agrônômica NPCT n. 8**, Piracicaba, p. 11, 2020.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, L. M.; CHAER, G. M. Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos. In: SEVERIANO, E. C.; MORAIS, M. F.; PAULA, A. M. (org.). **Tópicos em Ciência do Solo v 10**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019a. p. 399–462.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. M.; SOUSA, D. M. G.; LOPES, A. A. C.; REIS JUNIOR, F. B. dos; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85–93, 2019b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139318312253>. Acesso em: 12 jun. 2025.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; CHAER, G. M.; OLIVEIRA, M. I. L.; DANTAS, O. D.; MALAQUIAS, J. V.; PERES, J. R. R. Monitoramento da saúde dos solos brasileiros com base na tecnologia BioAS. In: CHERUBIN, M. R.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; CANISARES, L. P.; CERRI, C. E. P. (org.). **Saúde do solo em ecossistemas Tropicais: a base para mitigação e adaptação às mudanças climáticas**. Piracicaba: Fealq, 2025. p. 103–122.

NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 13 fev. 2026.

OLIVEIRA, B. L.; SOUZA, L. C. F.; MAUAD, M.; MASETTO, T. E.; MENDES, I. C. Efeitos de espécies de cobertura na qualidade do solo e produtividade do milho. **Revista Caatinga**, v. 39, e12642–e12642, 2026. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/12642>. Acesso em: 11 fev. 2026.

RIBEIRO, N. A. A.; MATOS, A. M. S.; MODESTO, V. C.; DE SOUZA JÚNIOR, N. C.; GIRARDI, V. A. N.; MENDES, I. de C.; ANDREOTTI, M. Soil Bioindicators and Crop Productivity Affected by Legacy Phosphate Fertilization and Azospirillum brasilense Inoculation in No-Till Systems. **Applied Sciences**, v. 15, n. 13, p. 7146, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/13/7146>. Acesso em: 17 set. 2025.

RODRIGUES, R. N.; JUNIOR, F. B. dos R.; LOPES, A. A. de C.; ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; VEIGA, A. D.; MENDES, I. de C. Soil enzymatic activity under coffee cultivation with different water regimes associated to liming and intercropped brachiaria. **Ciência Rural**, v. 52, n. 3, 20200532, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/BFC9NSTNQ7bq4pMHsSmyDyL/?lang=en>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SANTOS, J. V.; RAIMUNDO, L. B.; BRESOLIN, J. D.; MITSUYUKI, M. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; CARLOS DE CAMPOS BERNARDI, A.; MENDES, I. C.; MARTIN-NETO, L. The long-term effects of intensive grazing and silvopastoral systems on soil physicochemical properties, enzymatic activity, and microbial biomass. **Catena**, v. 219, p. 106619, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816222006051>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SOBUCKI, L.; JACQUES, R. J. S.; RAMOS, R. F.; PIOVESAN, B. C.; SOMAVILLA, L. M.; MENDES, I. de C.; BAYER, C.; ANTONIOLLI, Z. I. Critical limits for microbiological properties and soil quality in a subtropical Acrisol in southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 38, e00832, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352009424000798>. Acesso em: 12 jun. 2025.

SOBUCKI, L.; RAMOS, R. F.; MEIRELES, L. A.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S. Contribution of enzymes to soil quality and the evolution of research in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KL9nNHnqyQHdVLBQGChSSNn/?format=html&lang=en>. Acesso em: 12. jun. 2025.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Breve currículo dos autores:

Fábio Satoshi Higashikawa

Doutor em Ciência do Solo (UFLA). Mestrado em Ciência do Solo (UFLA). Pesquisador em Ciência do Solo da Embrapa Amazônia Oriental Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/nº, Bairro Marco, CEP: 66095-903, Caixa postal 48, Belém, PA
E-mail: fabio.higashikawa@embrapa.br

Marcos Lima Campos do Vale

Doutor em Agronomia (UFPEL). Mestrado em Agronomia (UFPEL). Pesquisador na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri. Estação Experimental de Itajaí. E-mail. marcosvale@epagri.sc.gov.br

Gelton Geraldo Fernandes Guimarães

Doutor em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas (UFV). Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas (UFV). Pesquisador em Ciência do Solo da Embrapa Gado de Leite. Av. Eugênio do Nascimento, 610 - Aeroporto, CEP: 36038-330, Juiz de Fora – MG. E-mail: gelton.guimaraes@embrapa.br

Rafael Ricardo Cantú

Doutor em Ciência do Solo (UFMS). Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal (UNESP). Pesquisador na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri. Estação Experimental de Videira. E-mail. rrcantu@epagri.sc.gov.br

Alexandre Visconti

Doutor em Agronomia – Proteção de Plantas (UNESP). Mestrado em Agronomia – Proteção de Plantas (UNESP). Pesquisador na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri. Estação Experimental de Itajaí. E-mail. visconti@epagri.sc.gov.br

Contribuição de autoria - Credit:

Fábio Satoshi Higashikawa: conceituação, investigação, metodologia, redação do manuscrito original;

Marcos Lima Campos do Vale: revisão do manuscrito, redação do manuscrito original;

Gelton Geraldo Fernandes Guimarães: revisão do manuscrito, redação do manuscrito original;

Rafael Ricardo Cantú: revisão do manuscrito, redação do manuscrito original;

Alexandre Visconti: revisão do manuscrito, redação do manuscrito original;

Financiamento: Não há

Conflitos de interesse: Sem conflito de interesses

Licença de uso: De acordo com as regras da revista -CCBY 4.0

Preprints: Não se aplica

Aprovação do comitê de ética na investigação: Não se aplica

Consentimento para o uso de imagens: Não se aplica

Disponibilidade dos dados de investigação e outros materiais: Não foram gerados dados originais de pesquisa nesse trabalho.

Acordo com a revisão aberta: Não se aplica nesse trabalho

Agradecimentos: Epagri