



# SUSTENTABILIDADE E SAÚDE DO SOLO EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR: AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA E QUÍMICA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

*Jean Evens Alcinat<sup>1</sup>, Amanda Eustachio Pereira<sup>2</sup>, Samily de Oliveira Souza<sup>3</sup>, Edneia Aparecida de Souza Paccola<sup>4</sup>, Francielli Gasparotto<sup>5</sup>, Anny Rosi Mannigel<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>Mestrando em Tecnologias Limpas, PPGTL, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. Bolsista ICETI-UniCesumar/Fundação Araucária. [alcinajeanevens@gmail.com](mailto:alcinajeanevens@gmail.com)

<sup>2</sup>Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, PR, Brasil. Bolsista CAPES. [maeustachio1998@hotmail.com](mailto:maeustachio1998@hotmail.com)

<sup>3</sup>Mestrando em Tecnologias Limpas, PPGTL, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. Bolsista ICETI-UniCesumar/Fundação Araucária. [anasamily07@gmail.com](mailto:anasamily07@gmail.com)

<sup>4</sup>Doutora, Docente no Curso de Agronomia e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI. [edneia.paccola@unicesumar.edu.br](mailto:edneia.paccola@unicesumar.edu.br)

<sup>5</sup>Doutora Orientadora, Docente no Curso de Agronomia e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI. [francielli.gasparotto@unicesumar.edu.br](mailto:francielli.gasparotto@unicesumar.edu.br)

<sup>6</sup>Doutora Co Orientadora, Docente no Curso de Agronomia, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI. [anny.mannigel@unicesumar.edu.br](mailto:anny.mannigel@unicesumar.edu.br)

## RESUMO

A agricultura sustentável é essencial para garantir a segurança alimentar, conservar os recursos naturais e promover o desenvolvimento econômico. Na produção de cana-de-açúcar, a sustentabilidade exige práticas integradas que conciliem alta produtividade e mitigação de impactos ambientais. Entre essas práticas, destaca-se o terraceamento, que melhora a qualidade física do solo e, indiretamente, suas propriedades químicas e biológicas, favorecendo o crescimento vegetal e a conservação ambiental. Assim, objetivou-se avaliar e comparar a biomassa microbiana, a atividade enzimática e a fertilidade do solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar submetidas ou não ao sistema de terraceamento. Este estudo será realizado no município de Presidente Castelo Branco, Paraná, em duas megaparcelas de cultivo de cana-de-açúcar: uma manejada com sistema de terraços e outra sem essa prática. Serão coletadas amostras de solo em 32 pontos por área, nas profundidades de 0–10 cm e 10–20 cm, totalizando 64 amostras, todas georreferenciadas e submetidas a análises laboratoriais para determinação do carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico e atividade enzimática (fosfatase ácida). Considera-se que áreas cultivadas sem manejo conservacionista apresentam maior risco de degradação estrutural e perda de nutrientes, comprometendo a produtividade e a sustentabilidade a longo prazo. Espera-se que os resultados evidenciem o papel do terraceamento na mitigação desses impactos, contribuindo para o equilíbrio entre viabilidade econômica e preservação ambiental, e subsidiando estratégias de manejo mais sustentáveis que assegurem a produção de cana-de-açúcar e a segurança alimentar frente às mudanças climáticas e ao aumento populacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura sustentável; Conservação do solo, Manejo integrado de nutrientes.

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo adequado do solo é essencial para manter a produtividade agrícola e a qualidade ambiental. O solo, recurso natural estratégico, desempenha papel central na manutenção da vida, participando de diversos ciclos ambientais (Veiga, 2010). A adoção de tecnologias sustentáveis no manejo e na conservação do solo contribui para preservar sua estrutura, aumentar a retenção de água, reduzir a erosão, melhorar a fertilidade e manter a microbiota. No Brasil, a cana-de-açúcar possui importância econômica e energética, gerando emprego e renda, além de contribuir para a matriz energética nacional por meio do etanol, alternativa renovável aos combustíveis fósseis e importante aliada no combate às mudanças climáticas (IBGE, 2021).

Apesar de sua relevância, a produção intensiva dessa gramínea pode gerar degradação física, química e biológica do solo, especialmente quando associada a práticas



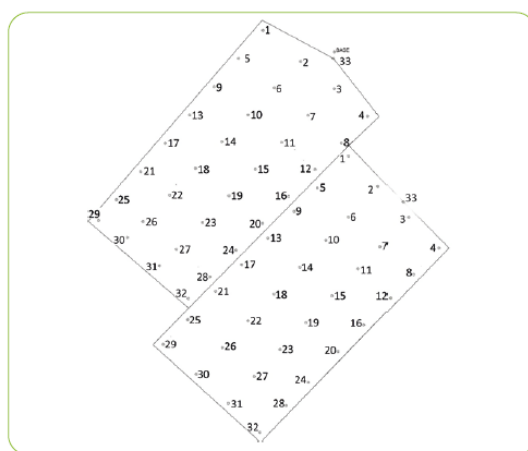
inadequadas de manejo (Morgan, 2005; Lal, 2014). O terraceamento atua como medida preventiva, controlando a erosão, aumentando a infiltração de água e reduzindo a perda de nutrientes (Morgan, 2005; Rose et al., 2017). Por outro lado, áreas sem terraceamento tendem a apresentar maior suscetibilidade à degradação, perda de solo e nutrientes, compactação e redução da atividade biológica, comprometendo a saúde do solo e a produtividade agrícola.

Solos manejados de forma conservacionista apresentam maior resiliência aos impactos da agricultura intensiva, contribuindo para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, como “Fome Zero e Agricultura Sustentável” e “Vida Terrestre” (ONU, 2015).

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a biomassa, a atividade enzimática microbiana e a fertilidade do solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar submetidas ou não ao sistema de terraceamento, buscando compreender seus efeitos sobre a qualidade e a sustentabilidade do solo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na mesorregião Noroeste do Paraná, na cidade de Presidente Castelo Branco, Latitude: 23° 16' 40" Sul, Longitude: 52° 9' 7" Oeste, com solo Latossolo Vermelho distrófico de textura média. As operações da área de plantio, colheita e manejo de pragas e doenças são realizados pelo grupo sucroalcooleiro responsável pela área. A área de estudo será constituída por duas megaparcelas com 2,0 ha cada, uma com o emprego de terraços em nível (CT) e outra sem terraços (ST) (Figura 1).



**Figura 1:** Megaparcelas CT e ST, com os pontos georreferenciados, para realização das coletas de solo utilizadas nas análises microbiológicas em Presidente Castelo Branco-PR

**Fonte:** Livro Manejo e conservação de solo e água

Em cada megaparcela, serão realizadas duas coletas de solo, a primeira foi realizada após a colheita da cana-de-açúcar em 2024 e a segunda será realizada após a colheita de 2025. Em ambas as coletas foram amostrados 32 pontos distintos por área, distribuídos em grid, na camada de 0 a 10cm. As amostras de solo foram embaladas em sacos de papel e transportadas até o Laboratório de Análises Agronômicas - Agrolab – Unicesumar onde foram realizadas as análises da biomassa microbiana do solo.

A biomassa microbiana do solo e sua atividade serão avaliadas por meio da determinação dos teores de carbono e nitrogênio microbianos, utilizando o método de fumigação-extração, conforme descrito por Vance et al. (1987). Nesse procedimento, a



microflora do solo é eliminada pela exposição ao clorofórmio. O carbono e o nitrogênio liberados pela morte dos microrganismos são extraídos quimicamente e quantificados por titulação indireta e leitura em espectrofotômetro.

Para análise, 20 g de solo, em duplicata, serão inicialmente peneirados e pesados, acondicionados em béqueres e divididos em duas categorias: amostras fumigadas e não fumigadas. As amostras fumigadas serão expostas a uma atmosfera de clorofórmio em dessecadores, mantida por 18 horas no escuro sob vácuo. As amostras não fumigadas passarão pelo mesmo processo, utilizando água em substituição ao clorofórmio.

Após a incubação, os extratos de ambas as amostras serão obtidos por extração em solução de sulfato de potássio ( $K_2SO_4$  0,5 M, pH 6,5–6,8), com agitação por 1 hora a 200 rpm, seguida de centrifugação por 8 minutos e filtração. Os extratos resultantes serão armazenados congelados para posterior análise.

A determinação do carbono da biomassa microbiana será realizada por meio de titulometria, onde o carbono presente no extrato será oxidado com o dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) na presença de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ).

A quantidade de carbono das amostras fumigadas e não fumigadas será determinada empregando-se a fórmula 1:

$$C (\mu g C/g \text{ solo}) = (V2 - V1) \times N \times 0,003 \times 80 \times 106 / (8 \times PSS)$$

(Fórmula 1)

onde:

V2 = volume gasto de sulfato ferroso amoniacal 0,03N na prova em branco

V1 = volume gasto do sulfato ferroso amoniacal 0,03N na amostra

N = normalidade do sulfato ferroso amoniacal

80 = volume do extrato

0,003 = meq do C

8 = alíquota do extrato

Pss = peso do solo seco.

E a biomassa microbiana será calculada empregando-se a fórmula 2 e o resultado expresso em  $\mu g$  de C (g de solo seco)<sup>-1</sup>:

$$BMS = Cf - Cnf / Ke$$

(Fórmula 2)

Onde:

Cf = carbono da amostra fumigada

Cnf = carbono da amostra não fumigada

K = fator de correção (0,33) Sparling & West (1988)

Para determinação da respiração basal (RBS) serão pesadas 50g de solo, de cada amostra, em frascos de vidro com tampa hermética de 100 mL em duplicata. Para cada amostra serão pipetados 10mL de NaOH 1M em béqueres de polipropileno de 30ml, transferindo-o de imediato para o interior dos frascos com o solo já pesado, fechará com a tampa e será vedado com plástico insulfilm para que não haja entrada de CO<sub>2</sub> externo ou fuga do CO<sub>2</sub> produzido internamente. Para fazer o controle será usado os frascos brancos, e deve efetuar o mesmo procedimento descrito anteriormente, em frascos que contenham apenas os reagentes, sem o solo.

As amostras e o controle serão encubados entre 28C° e 25C°, em local isento de luminosidade por um período que irá variar entre 5 a 10 dias. Após essa incubação, será retirado os frascos contendo o NaOH e adicionará 2mL de cloreto de bário a 10% (m/v) para completa precipitação; após, adicionará 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v) e será titulado sob agitação magnética com a solução de HCl a 0,5M anteriormente padronizada,



ao final da titulação a coloração da solução irá de rosa à incolor. Após o período experimental a respiração basal será calculada por meio da fórmula 3:

$$RBS (mg C de CO_2 kg^{-1} solo hora^{-1}) = \{[(Vb - Va) \cdot M \cdot 6 \cdot 1000] / Ps\} / T$$

(Fórmula 3)

Onde:

RBS = carbono oriundo da respiração basal do solo;

Vb (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação dos brancos;

Va (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação das amostras;

M = molaridade exata do ácido clorídrico; 0,5 M HCl.

Ps (g) = massa de solo seco;

T = tempo de incubação das amostras em horas.

E o quociente metabólico das amostras de solo em cada área será determinado por meio da fórmula 4:

$$qCO_2 (mgC - CO_2 \cdot g^{-1} BMS - C \cdot h^{-1}) \\ = RBS(mgC - CO_2 \cdot kg^{-1} solo \cdot h^{-1}) / BMS - C (mgC \cdot kg^{-1} solo) \cdot 10^{-3}$$

(Fórmula 4)

Onde:

qCO<sub>2</sub> = Quociente metabólico do solo;

RBS = respiração basal do solo;

BMS -C = Carbono da biomassa microbiana do solo.

A atividade da enzima fosfatase ácida será avaliada adicionando 1,0 g de solo da amostra em erlenmeyer e, em seguida, incrementando 4 mL de tampão MUB pH 6,5 e 1 mL da solução do substrato (p-nitrofenil fosfato 0,05 M), conforme descrito por Tabatabai (1994). Os frascos serão agitados e posteriormente tampados com papel alumínio e colocados para incubar por 1 hora a 37°C.

A reação será evidenciada pela produção de p-nitrofenol de coloração amarela após a hidrólise do substrato p-nitrofenol fosfato. Após o período de incubação, os erlenmeyers serão abertos e neles serão adicionados 1 mL da solução de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub> 0,5 M) e 4 mL da solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,5 M). Posteriormente, os frascos serão agitados e as amostras filtradas em papel filtro (Whatman N° 1). A leitura da absorbância será realizada em espectrofotômetro a 410 nm e a atividade enzimática será expressa em µg p-nitrofenol h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> solo, conforme a fórmula (5):

$$\mu g p - nitrofenol h^{-1} g^{-1} solo = (A - B) \times F \times D$$

(Fórmula 5)

Em que:

A = Absorbância da amostra

B = Absorbância do branco

F = Diluição do método

D = fator de diluição da amostra filtrada

M = Massa do solo úmido

MS = Massa seca do solo

Para determinação da atividade de Teor de fósforo disponível no solo serão pesados 10 g de solo seco e colocados em um erlenmeyer de 125 mL. Em seguida, serão adicionados 100 mL de solução extratora Mehlich-1, e depois serão agitados por 5 minutos. Após 12 horas de descanso, serão pipetados 25 mL do extrato e transferidos para um



recipiente plástico. Em sequência, serão separados 5 mL do extrato e adicionados 10 mL de solução ácida de molibdato diluído e 30 mg de ácido ascórbico. Logo após, serão agitados de 1 a 2 minutos e em seguida, a reação ocorrerá por 1 hora. Finalmente, será medida a absorvância a 660 nm no espectrofotômetro UV-Vis.

Os resultados de cada parâmetro avaliado serão submetidos ao teste de homogeneidade e à análise de variância, verificando-se a significância, as médias serão comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que esta pesquisa forneça informações fundamentais sobre os impactos do manejo com ou sem terraços na qualidade do solo, especialmente em relação à biomassa microbiana, atividade enzimática e fertilidade. A adoção de práticas conservacionistas, como o terraceamento, deverá demonstrar efeitos positivos na mitigação da degradação do solo, contribuindo para a manutenção da sua estrutura, aumento da retenção de água, redução da erosão e preservação dos nutrientes essenciais para a produtividade agrícola.

Além disso, prevê-se que as áreas manejadas com terraços apresentem maior estabilidade biológica e química do solo, favorecendo a atividade microbiana e, conseqüentemente, a sustentabilidade dos sistemas de produção de cana-de-açúcar. A pesquisa também deverá destacar os riscos associados à ausência dessas práticas, evidenciando maior suscetibilidade à compactação, perda de nutrientes e declínio da saúde do solo em áreas sem terraços.

### REFERÊNCIAS

IBGE. **Censo Agropecuário 2021: Produção de Cana-de-Açúcar no Paraná.**

Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 1 dez. 2024.

LAL, R. Soil erosion and its impact on ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, v. 18, p. 56-74, 2014.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation.** Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** 2015. Disponível em:

<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

ROSE, M. T. et al. Soil conservation and enzyme activity in sugarcane farming. **Agricultural Sciences**, v. 54, n. 3, p. 221-234, 2017.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VEIGA, M. **Qualidade física dos solos.** In: REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L.E.A.S. (orgs.). Qualidade física dos solos. Porto Alegre: UFRGS, 2010. p. 1-15.