



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTABILIDADE DOS AGREGADOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM
ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO
LOCALIZADO**

JOÃO VICTOR DELAVECHIA GUIMARÃES

Jaboticabal – SP
1º Semestre/ 2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ESTABILIDADE DOS AGREGADOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM
ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO
LOCALIZADO

JOÃO VICTOR DELAVECHIA GUIMARÃES

Orientador: Profa. Dra. Carolina Fernandes
Coorientador: Dra. Ingrid Silva Setúbal

Trabalho apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias
e Veterinárias - UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, para
graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

Jaboticabal – SP
1º Semestre/ 2026

G963e Guimarães, João Victor Delavechia

Estabilidade dos agregados matéria orgânica do solo em
áreas de cana-de-açúcar sob plantio direto e preparo localizado
/ João Victor Delavechia Guimarães. -- Jaboticabal, 2026
44 f. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Carolina Fernandes
Coorientadora: Ingrid Silva Setúbal

1. Solos Manejo. 2. Latossolos. 3. Física do solo. I. Título.

Estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em áreas de cana-de-açúcar sob plantio direto e preparo localizado

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Agrônoma**.

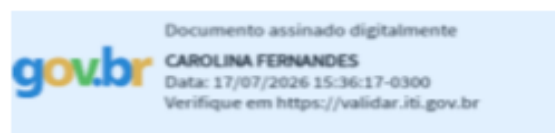
Orientador: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Coorientador (se houver): Dra. Ingrid Silva Setubal

Área de Concentração: Física do Solo

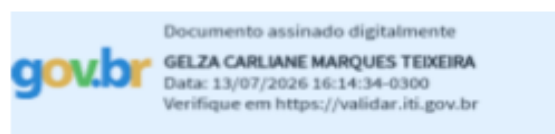
Trabalho aprovado em 11/07/2026

Banca Examinadora:



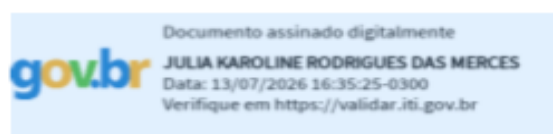
Profª. Dra. Carolina Fernandes

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal



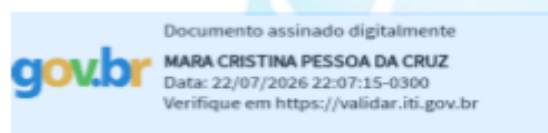
Profª. Dra. Gelza Carliane Marques Teixeira

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal



Dra. Júlia Karoline Rodrigues das Mercês

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal



Prof. Dr. Mara Cristina Pessoa da Cruz
Chefe do Departamento

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e irmãos, Rosemary Delavechia Guimarães, Marcio Guimarães Silva, Ana Beatriz Delavechia Guimarães e Louis Philip Delavechia Guimarães, que me ensinaram, inspiraram e me apoiaram durante toda minha trajetória.

OFEREÇO

À minha orientadora, Carolina Fernandes, e à minha coorientadora Ingrid Silva Setúbal e a Claudia Campos Dela Marta, que contribuíram para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho, pela amizade e suporte.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por colocar em minha vida pessoas que me inspiram, me fortalecem e contribuem diariamente para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus pais, Rosemary Delavechia Guimarães e Marcio Guimarães Silva, por todo amor, apoio, ensinamentos e dedicação ao longo da minha vida em me transformar em um homem honesto e correto. Obrigado pelos esforços realizados para que eu pudesse alcançar meus objetivos, pelos valores transmitidos, especialmente a honestidade, o compromisso e a dedicação, e por serem meus maiores exemplos. Meu pai, pela sua incansável dedicação ao trabalho e força de caráter; minha mãe, pela sabedoria, pelos conselhos e pela forma sensível e inteligente com que enxerga a vida.

Ao meu irmão, Louis Philip Delavechia Guimarães, por ser uma grande inspiração, tanto como engenheiro agrônomo quanto como homem, servindo de exemplo de profissionalismo, competência e caráter.

À minha irmã, Ana Beatriz Delavechia Guimarães, pelo carinho e amor.

À minha namorada, Maria Eduarda Graúna André, por todo amor, apoio e incentivo ao longo dessa trajetória. Obrigado por estar sempre ao meu lado, me motivando a buscar ser alguém melhor a cada dia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos, fundamental para a realização deste trabalho.

Ao Grupo de Pesquisa em Física do Solo, pela oportunidade de aprendizado, convivência e desenvolvimento profissional, além das amizades construídas durante essa caminhada.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. A importância da cana-de-açúcar e os desafios da qualidade física do solo	4
2.2. Como a mineralogia do solo pode influenciar sua agregação	5
2.3 Hierarquia de agregação e o papel da matéria orgânica do solo (MOS)	6
2.4 Dinâmica da MOS sob sistemas de manejo	6
2.5 Sensibilidade temporal dos indicadores físicos	7
3. METODOLOGIA	9
3.1 Determinação da MOS	11
3.2 Determinação do IEA	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5. CONCLUSÃO	27
6. REFERÊNCIAS.....	28

ESTABILIDADE DOS AGREGADOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO LOCALIZADO

RESUMO

O Preparo Localizado (PL) e Plantio Direto (PD) buscam reduzir as mobilizações no solo, conservando sua estrutura e preservando os restos culturais sobre a superfície, assim trazendo diversos benefícios para a física do solo, como o incremento de matéria orgânica que é fator importante para a formação dos agregados do solo. Devido a esses fatores, a cana-de-açúcar pode ser beneficiada por esses sistemas conservacionistas. O estudo teve como objetivo avaliar a influência de dois sistemas de manejo conservacionista, PL e PD, na qualidade de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com cana-de-açúcar (variedade CTC 2994) após a reforma do canavial. Foram coletadas amostras de solo durante o pleno desenvolvimento da cultura, nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m para determinação do Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA) e do teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS). Para determinar o IEA se utilizou agitação úmida para que permanecesse apenas os agregados estáveis da amostra, após a agitação o peso de partículas de areia foi subtraído, por fim dividindo a massa de agregados totais pela massa de agregados estáveis foi obtido o IEA. Para determinar a MOS se oxidou 1g de terra fina seca ao ar e através da leitura em espectrofotômetro UV visível se obteve-se o MOS. Os resultados demonstraram que o IEA não foi influenciado pelos sistemas de manejo nas profundidades avaliadas. Por outro lado, foram observadas diferenças no teor de MOS entre os manejos e as camadas de solo. Na camada superficial de 0,00 a 0,10 m, o PL apresentou maior teor de MOS em comparação ao PD, enquanto na camada de 0,10 a 0,20 m, o PD mostrou valores superiores. A MOS mostrou-se mais sensível às variações de manejo do que o IEA, sendo o PL mais eficiente no acúmulo superficial de matéria orgânica e o PD na sua preservação em profundidade.

Palavras-Chave: Solos Manejo, Latossolos, Física do solo.

AGGREGATE STABILITY AND SOIL ORGANIC MATTER IN SUGARCANE FIELDS UNDER NO-TILLAGE AND LOCALIZED TILLAGE

ABSTRACT

Localized Tillage (LT) and No-Tillage (NT) seek to reduce soil mobilization, conserving its structure and preserving crop residues on the surface, thus bringing several benefits to soil physics, such as the increase of organic matter, which is an important factor for the formation of soil aggregates. Due to these factors, sugarcane can benefit from these conservationist systems. The study aimed to evaluate the influence of two conservationist management systems, LT and NT, on the quality of a Dystrophic Red Latosol cultivated with sugarcane (variety CTC 2994) after sugarcane field renewal. Soil samples were collected during the full development of the crop, in the 0.00 to 0.10 m and 0.10 to 0.20 m layers, to determine the Aggregate Stability Index (ASI) and Soil Organic Matter (SOM) content. To determine the ASI, wet sieving was used so that only the stable aggregates of the sample remained; after sieving, the weight of sand particles was subtracted, and finally, the ASI was obtained by dividing the total aggregate mass by the mass of stable aggregates. To determine the SOM, 1 g of air-dried fine earth was oxidized, and the SOM was obtained through a reading in a UV-visible spectrophotometer. The results demonstrated that the ASI was not influenced by the management systems at the evaluated depths. On the other hand, differences in the SOM content were observed between the management systems and soil layers. In the superficial layer of 0.00 to 0.10 m, LT presented a higher SOM content compared to NT, while in the 0.10 to 0.20 m layer, NT showed higher values. SOM proved to be more sensitive to management variations than the ASI, with LT being more efficient in the superficial accumulation of organic matter and NT in its preservation at depth.

Keywords: Soil management; Oxisols; Soil Physics.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é amplamente cultivada no Brasil. Sua produção vem crescendo a cada ano. Na safra 2025/26 a produção estimada é de 666,4 milhões de toneladas, com o Estado de São Paulo apresentando o maior volume a ser colhido (CONAB, 2025).

A cana-de-açúcar gera diversos produtos como o açúcar e o etanol e subprodutos como o bagaço, usado na produção de energia (Awe et al., 2020), tornando ela uma cultura importante não só economicamente com as diversas fontes de renda, advindas de um produto só, mas também importância social, fornecendo produto alimentício, combustível, energia e emprego também. Assim trazendo uma série de benefícios ambientais, econômicos e sociais (Areias, 2020).

Garantir a qualidade no cultivo e manter a alta performance na produção da cana-de-açúcar no Brasil, mediante o manejo adequado do solo, é

indispensável. Um manejo adequado deve garantir a qualidade do solo, expressa pela combinação dos atributos físicos, químicos e biológicos do meio de cultivo.

Entre esses atributos, alguns são intrínsecos e de difícil mudança, como a textura e a composição mineral. Outros, como a estrutura e o teor de matéria orgânica, podem ser alterados dependendo do manejo (Brady e Weil, 2009). Dentre as diversas formas de manipular a estrutura do solo e o teor de matéria orgânica, os sistemas conservacionistas se destacam por oferecer uma proposta mais sustentável. Já que ao prepararem o solo buscam mobilizar o mínimo possível a estrutura do solo e sua cobertura vegetal, visando o enriquecimento por matéria orgânica, maior estabilidade e estrutura (Ramos, 2023).

A preservação dos restos culturais influencia no enriquecimento do solo com substâncias húmicas, que posteriormente se tornam matéria orgânica que além de servir de fonte de nutrientes para as plantas e microbiota, também contribui significativamente para a formação e estabilização dos agregados do solo, atuando como agente cimentante que une partículas minerais e orgânicas (Brady e Weil, 2009). Esses agregados são fundamentais para estruturar e conferir estabilidade ao meio de cultivo, auxiliando na formação dos macros e micro poros, o que afeta positivamente a capacidade de infiltração e retenção de água, auxiliando no controle da erosão hídrica (Pires et al., 2024).

Diante da necessidade de melhorar a qualidade do solo, os sistemas conservacionistas, como o preparo localizado (PL), são amplamente adotados. Essa técnica envolve o plantio sobre os resíduos da colheita, com operações apenas nas linhas de plantio. Segundo Rossetto et al. (2014), uma das principais

vantagens do PL é a redução da demanda por máquinas, o que diminui os custos operacionais de preparação do solo (Tittoto, 2020; Ribeiro Neto, 2023), levando a um menor uso de diesel pelas máquinas e consequentemente menos compostos liberado pela combustão de diesel, como o gás carbônico liberado para a atmosfera (Chaveiro et al., 2022).

O plantio direto (PD) se destaca pela prática do plantio sob os resíduos orgânicos deixados pela colheita anterior, sem a necessidade de mobilização o solo. Em contrapartida, a cana-de-açúcar, sendo uma cultura semiperene, requer intervalos de preparo do solo que se estendem por períodos prolongados, geralmente de cinco anos ou mais (Arcoverde et al., 2019b), por conta disso sua adoção na cana-de-açúcar ainda está em estágios iniciais (Arcoverde et al., 2019a; Tittoto, 2020). Durante esses intervalos, há um intenso tráfego de conjuntos mecanizados ao longo dos ciclos da cultura (Vischi Filho et al., 2017; Esteban, 2023; Bezerra, 2024).

Portanto, os sistemas conservacionistas, como PD e o PL são fundamentais nesse contexto, pois visam conservar e melhorar a qualidade física, química e biológica do solo, contribuindo para a sua estruturação.

O plantio direto e o preparo localizado podem influenciar de diferentes maneiras a matéria orgânica do solo e o índice de estabilidade dos agregados, podendo beneficiar também a cultura da cana-de-açúcar. O objetivo do estudo foi avaliar como o teor de matéria orgânica do solo e valores do índice de estabilidade dos agregados no cultivo de cana-de-açúcar são afetados sob plantio direto e preparo localizado em diferentes profundidades no Latossolo Vermelho Distrófico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A importância da cana-de-açúcar e os desafios da qualidade física do solo

A cana-de-açúcar consolidou-se como um dos pilares do agronegócio e da economia brasileira, não apenas por sua representatividade no PIB nacional e na geração de empregos agroindustriais, mas também por posicionar o Brasil como maior produtor e exportador mundial de açúcar e bioenergia (SIAMIG BIOENERGIA, 2023).

A importância da cultura está presente em sua vasta extensão territorial de cultivo e nas sucessivas safras recordes acompanhadas por órgãos oficiais (CONAB, 2024). Todavia, sua natureza semiperene, com ciclos médios de cinco a seis anos entre reformas, impõe desafios únicos à conservação do solo. Diferente de culturas anuais, o canavial limita que as propriedades físicas do solo sejam mantidas durante todo o ciclo de cortes.

O intenso tráfego de máquinas para colheita, transbordo e tratos culturais ocorre frequentemente sob variadas condições climáticas, aplicando estresses compressivos que resultam na compactação do solo e afetam a qualidade estrutural da área (Cherubin et al., 2021). Como o solo não recebe intervenção mecânica para descompactação durante vários anos, a ausência de revolvimento durante esse período associada à colheita mecanizada altera significativamente os atributos físicos e a estabilidade hídrica, podendo levar ao adensamento natural das camadas (Vischi Filho et al., 2017; Esteban, 2023, Bezerra, 2024; De Almeida, 2025).

Consequentemente, a qualidade física torna-se o principal gargalo para a longevidade dos canaviais. A degradação estrutural reduz a macro porosidade e afeta diretamente as funções essenciais do solo, limitando o desenvolvimento do sistema radicular, a dinâmica da água e acelerando a necessidade de renovação da área (Arcoverde et al., 2025; Rabot et al., 2018).

2.2. Como a mineralogia do solo pode influenciar sua agregação

A compreensão da dinâmica física de um Latossolo Vermelho Distrófico exige uma análise que integre sua gênese mineralógica aos processos de agregação. Os Latossolos são reconhecidos por representam o estágio avançado de intemperismo (Brady e Weil, 2009) em regiões tropicais, com uma fração argila dominada por caulinita e óxidos de ferro e alumínio.

Esses óxidos e compostos organominerais atuam como fortes agentes cimentantes, promovendo condições para a formação de microagregados altamente estáveis, que compõem a arquitetura fundamental do solo (Totsche et

al., 2018). Essa estruturação mineral confere a esses solos características físicas de excelente drenagem.

Conforme discutido por Six et al. (2002), em solos tropicais altamente intemperizados, essa estabilidade estrutural intrínseca de origem química pode mascarar, em períodos iniciais de observação, os efeitos das mudanças de manejo sobre a agregação. Assim, alterações decorrentes do uso do solo e das taxas de decaimento do carbono (Silva et al., 2020) podem demandar períodos prolongados para se manifestarem de forma significativa nos indicadores estruturais, uma vez que a estabilidade básica garantida pelos complexos organominerais e óxidos é alta (Inácio, 2025; Baumgärtner et al., 2021).

2.3 Hierarquia de agregação e o papel da matéria orgânica do solo (MOS)

A estruturação do solo segue um modelo de hierarquia onde diferentes agentes atuam em níveis distintos. Enquanto os óxidos e argilas constroem e estabilizam os microagregados, a matéria orgânica do solo (MOS) atua integrando essas estruturas menores em macroagregados funcionais e biologicamente ativos (Totsche et al., 2018; Inácio, 2025; Baumgärtner et al., 2021).

Essa arquitetura porosa complexa, que pode ser visualizada em alta resolução por meio de tomografia de raios-X, atua como um indicador direto das funções do solo, sendo essencial para manter as taxas de infiltração, a aeração, a ciclagem de nutrientes e o crescimento radicular (Mooney et al., 2022; Rabot et al., 2018).

2.4 Dinâmica da MOS sob sistemas de manejo

No Preparo Convencional (PC), operações intensivas com grades e arados rompem os agregados e expõem o carbono protegido à oxidação e favorecem assim a rápida mineralização dos resíduos vegetais, causando impacto negativo na qualidade física do solo na renovação dos canaviais, quando comparado a sistemas de menor revolvimento (Arcoverde et al., 2025)

O Sistema PD, que vem apresentando um crescimento histórico contínuo em adoção no Brasil nas últimas décadas (FEBRAPDP, 2021), fundamenta-se no não revolvimento, manutenção de resíduos e rotação de culturas. Na cana-de-açúcar, a adoção de técnicas semelhantes, como o cultivo mínimo durante a reforma, além de melhorar a estrutura do solo em longo prazo, contribui fortemente para a mitigação das perdas de carbono, favorecendo a sustentabilidade ao longo dos ciclos (Arcoverde et al., 2025; LEFEBVRE et al., 2020), já que essas técnicas reduzem a exposição da matéria orgânica e agregados a forças mecânicas externas.

Enquanto o PD erradica essa exposição o PL, restringem o distúrbio mecânico apenas à linha de plantio, limitando a oxidação da matéria orgânica às faixas preparadas e preservando a estrutura na entrelinha (Veras et al., 2023).

2.5 Sensibilidade temporal dos indicadores físicos

A resposta dos atributos do solo às mudanças de manejo varia conforme o tempo de adoção. Atributos químicos e de fertilidade superficial, juntamente com estoques de matéria orgânica mais lábeis, podem apresentar variações e dinâmicas mais rápidas (Veras et al., 2023). Em contrapartida, a reorganização estrutural física e a alteração drástica da porosidade e estabilidade de agregados, dependem da consolidação biológica e do tempo.

Contudo, estudos demonstram que após a transição entre sistemas de preparo intensivo como o PC para o PD, é possível detectar melhorias na física do solo (Arcoverde et al., 2025), indicando que a adoção de práticas conservacionistas reduz a degradação e reinicia o processo de estabilização dos micros e macro agregados (Totsche et al., 2018).

Considerando que indicadores físicos estruturais, como o índice de estabilidade de agregados (IEA), podem apresentar uma resposta mais lenta em virtude da estabilidade básica e mineralógica do solo, enquanto atributos como a Matéria Orgânica do Solo (MOS) possuem alta sensibilidade às variações de oxigenação no curto prazo, torna-se essencial avaliar o comportamento integrado desses fatores no perfil do solo.

3. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em área localizada nas coordenadas geodésicas 21°47'40" S, 48°10'32" W, no município de Araraquara, com altitude média de 664 metros. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, temperado úmido com inverno seco e verão quente, com temperatura média do mês mais quente de 22,8 °C, temperatura média do mês mais frio de 16,8 °C e precipitação média anual de 1352 mm.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura média, com 720 g kg⁻¹ de areia, 260 g kg⁻¹ de argila e 20 g kg⁻¹ de silte na camada de 0 a 0,20 m de profundidade. A análise granulométrica foi determinada de acordo com Teixeira et al. (2017).

A área é destinada à produção de cana-de-açúcar a mais de 20 anos, com colheita de cana crua mecanizada desde 2005. A erradicação mecânica da soqueira da cana-de-açúcar do ciclo produtivo anterior foi realizada em setembro

de 2022. Realizou-se o cultivo de soja no período de novembro de 2022 a março de 2023.

Os dois manejos correspondem a preparo localizado (PL) e plantio direto (PD), adotados após a colheita da soja e antes do plantio da cana-de-açúcar. O preparo localizado caracterizou-se pela mobilização do solo apenas no sulco de plantio, por meio da operação de subsolagem no sentido das linhas, com a utilização de equipamento projetado com pares de hastes espaçados de 1,50 m, que possibilita a mobilização de 0,80 m de largura e profundidade de trabalho de 0,40 m. O plantio direto caracterizou-se pela ausência dessa operação de subsolagem.

A aplicação de corretivos, nas duas áreas, foi realizada com o propósito de elevar a saturação por bases a 70% e a adubação de plantio de acordo com os resultados da análise química do solo. Posteriormente, foi realizado, em abril de 2023, o plantio da cana-de-açúcar (variedade CTC 2994) no sistema mecanizado, com espaçamento entre linhas de 1,5 m. Todas as operações agrícolas, durante o ciclo produtivo da cana-de-açúcar, foram realizadas nas linhas de cultivo. A cultura foi conduzida segundo as recomendações fitotécnicas recomendadas.

A área avaliada compreende 21.000 m² (2,1 ha), sendo 10.500 m² para cada sistema de manejo (PL e PD). Cada sistema de manejo foi constituído de 100 linhas de cana-de-açúcar, espaçadas de 1,5 m entre linhas, com 70 m de comprimento. A área útil de cada sistema de manejo foi representada por 80 linhas de cana-de-açúcar com 50 m de comprimento, ou seja, 6.000m².

A amostragem do solo foi realizada 8 meses após o plantio da cultura, em 6 dezembro de 2023, na fase de pleno desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar. As amostras de solo deformadas foram coletadas com auxílio de trado tipo holandês em cada um dos dois sistemas de manejo, retiradas à 10 cm da linha de plantio, com a amostragem de 10 pontos em duas camadas, 0,00 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m de profundidade. Portanto, foram avaliadas 40 amostras deformadas de solo (2 sistemas de manejo x 10 pontos amostrados x 2 camadas de solo avaliadas).

A avaliação do teor de matéria orgânica do solo (MOS) foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Cambardella e Elliott (1992) para se obter valores de carbono orgânico do solo e posterior multiplicação por fator de conversão para MOS.

3.1 Determinação da MOS

O procedimento de determinação da MOS, consistiu (Figura 1) em utilizar 1g de terra fina seca ao ar, juntamente com 0,667 mol L⁻¹ de dicromato de sódio e 5 mol L⁻¹ de ácido sulfúrico. Após essa etapa, o conteúdo foi transferido para um copo descartável e colocado em uma mesa agitadora orbital (Figura 2) por 10 minutos a 180 rpm.

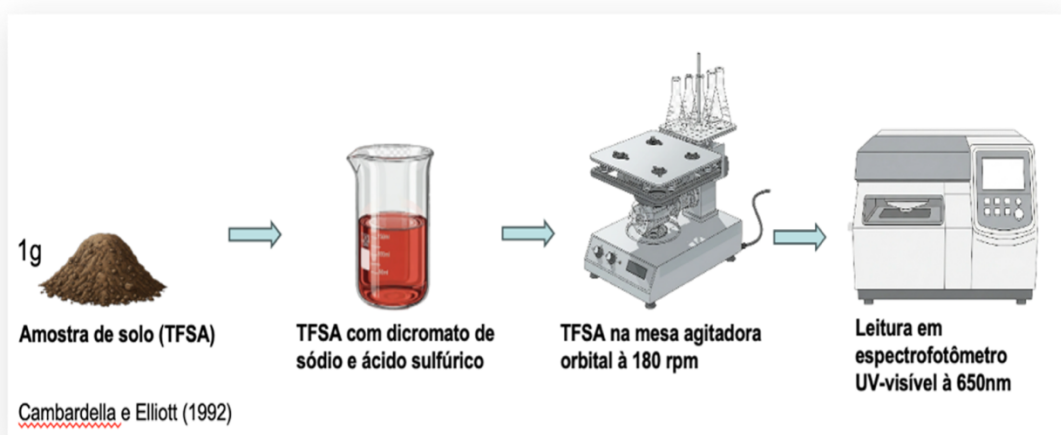


Figura 1. Esquema elaborado pelo autor do presente estudo, sobre o processo metodológico de Cambardella e Elliott (1992) para se obter valores de carbono orgânico do solo.



Figura 2. Mesa agitadora orbital utilizada no processo metodológico para obter valores de carbono orgânico do solo.

Ao final desse tempo, o conteúdo foi colocado em repouso por 1h. Em seguida, foi adicionado 10 mL de hidróxido de sódio como desagregador junto com 50 mL de água deionizada e permaneceu em repouso por uma noite. Depois do período de repouso, foi realizada a leitura em espectrofotômetro (Figura 3) UV-visível a 650nm. O resultado da leitura foi multiplicado pelo fator de conversão de 1,724 para obter a estimativa do teor de matéria orgânica no solo.



Figura 3. Espectrofotômetro utilizado no processo metodológico para obter o valor de carbono orgânico do solo.

3.2 Determinação do IEA

Para avaliar a agregação do solo, foi utilizado o índice de estabilidade dos agregados (IEA) conforme descrito por Nimmo e Perkins (2002). A análise (Figura 4) foi realizada em amostras de solo organizadas em triplicata. Foram transferidos 4 g de agregados, de diâmetro entre 2 e 1 mm, para uma peneira

de 0,250 mm, de forma centralizada, e os agregados foram mantidos sob agitação úmida (Figura 5) por 3 minutos a 35 rotações por minuto.



Figura 4. Esquema elaborado pelo autor do presente estudo, sobre o processo metodológico de Nimmo e Perkins (2002) para obter valores do índice de estabilidade dos agregados.



Figura 5. Tanque de agitação úmida utilizado no processo metodológico para obter o índice de estabilidade dos agregados.

Após a agitação, todo o material retido na peneira de 0,250 mm foi transferido (Figura 6) para um béquer. Este foi levado para uma estufa a 105°C por 24 horas (Figura 7).



Figura 6. Ferramentas utilizadas para transferência do material retido na peneira de 0,250 mm para o béquer.



Figura 7. Estufa utilizada no processo metodológico para obter valores do índice de estabilidade dos agregados.

Após esse período, a amostra foi pesada. Realizou-se a correção da quantidade de areia em cada amostra (Figura 8), transferindo as amostras para uma proveta (Figura 9) junto com 175 mL de água deionizada para agitar junto com 10 mL de hidróxido de sódio para a desagregação da amostra, assim é possível separar a areia da argila e do silte, agitou por 16h à 60 rpm (Figura 10 e 11), após agitar foram lavadas as amostras transferindo-as para uma peneira de 0,250 mm para que ficasse apenas as partículas de areia em seguida foi transferido para um béquer e levado à estufa, após a estufa o conteúdo foi pesado. Por fim foi utilizado a Equação 1 para cálculo do IEA.

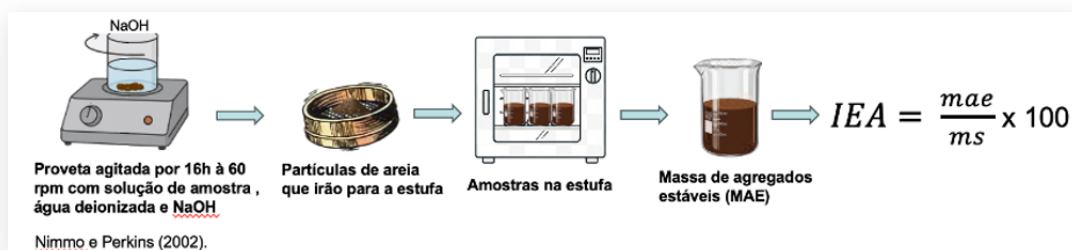


Figura 8. Esquema elaborado pelo autor do presente estudo, sobre o processo metodológico de Nimmo e Perkins (2002) para correção da quantidade de área das amostras.

$$IEA = \frac{(mae - \text{Areia})}{(mt - \text{Areia})} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

IEA = Índice de estabilidade dos agregados (%);

mae = Massa de agregados estáveis (g);

mt = Massa total de agregados (g);

Areia = é a massa das partículas de areia retidas (g).



Figura 9. Provetas utilizadas para o processo metodológico de correção da quantidade de areia.



Figura 10. Equipamento utilizado para acoplar provetas ao agitador.



Figura 11. Agitador utilizado para o processo metodológico de correção da quantidade de areia.

Para analisar os valores dos atributos do solo foi utilizada a estatística descritiva para cada camada de solo, a fim de caracterizar os tratamentos (PD e PL) e obter a média e o erro padrão dos atributos MOS e IEA. Todas essas

análises foram realizadas com o auxílio do software Agroestat® (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de manejo avaliados não apresentaram diferenças significativas no índice de estabilidade dos agregados (IEA) entre as camadas analisadas (Figura 12 e Tabela 1). Esse resultado sugere que apesar da mobilização presente no PL, o período de avaliação não foi suficiente para que os efeitos dos diferentes manejos se refletissem na estabilidade dos agregados, indicando que a estrutura do solo se manteve estável independentemente do sistema adotado.

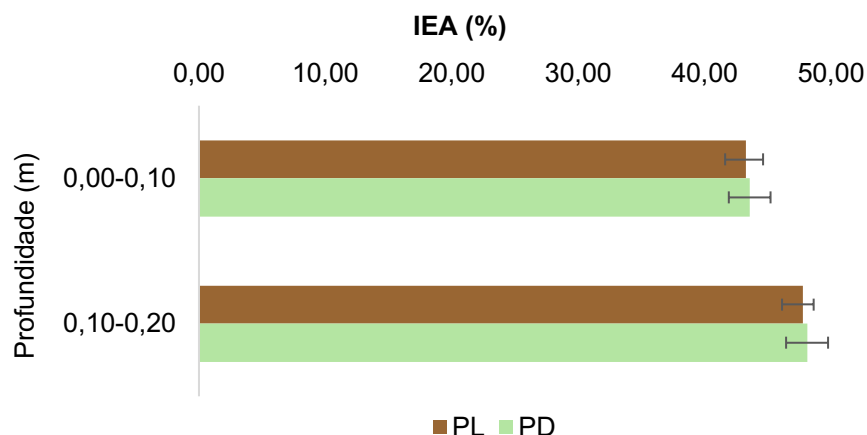


Figura 12. Índice de estabilidade dos agregados (IEA) do plantio direto (PD) e preparo localizado (PL) em função das profundidades de 0,00 a 0,20 m no Latossolo vermelho distrófico.

Tabela 1 – Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) sob diferentes sistemas de manejo e profundidades.

Profundidade (m)	Preparo Localizado - PL (%)	Plantio Direto - PD (%)
0,00 – 0,10	43,26 ± 1,35	43,55 ± 1,65
0,10 – 0,20	47,77 ± 0,84	48,09 ± 1,66

Resultados semelhantes foram relatados por Filizola e Luiz (2018) ao estudarem ciclos de cana-de-açúcar em Latossolo, demonstrando que o tempo de cultivo e o número de cortes influenciam o processo de reconstrução dos atributos físicos, sendo necessário um intervalo mais longo para que mudanças expressivas ocorram na estabilidade dos agregados (De Almeida, 2025). De forma complementar, Schiebelbein (2022) observou que a textura do solo é um fator limitante na avaliação da estrutura, sendo que o Latossolo Vermelho apresentou menor variação na estabilidade de seus agregados frente às mudanças nos sistemas de manejo quando comparado a um solo arenoso,

devido à sua forte estabilização mineral intrínseca. Assim essa variação foi mais pronunciada entre diferentes tipos de solo do que entre sistemas de manejo-

Esses resultados reforçam que propriedades intrínsecas do solo exercem influência mais determinante do que o tipo de preparo (Souza et al., 2009; Schiebelbein, 2022). A ausência de variações significativas na estabilidade dos agregados pode ser elucidada pela natureza mineralógica do solo.

Em Latossolos, a formação de microagregados altamente estáveis. promovem a proteção física da matéria orgânica e contribuem para sua persistência no solo, enquanto a mineralogia característica desses solos desempenha papel fundamental na manutenção da estabilidade estrutural desses ambientes (Baumgärtner et al., 2021; Carvalho et al., 2023).

Outro aspecto importante a ser considerado é o histórico de manejo da área experimental. Áreas cultivadas com cana-de-açúcar por longos períodos tendem a apresentar um estado de relativa estabilidade estrutural, no qual mudanças nos atributos físicos do solo ocorrem de forma gradual e cumulativa (Cherubin et al., 2019).

O teor de matéria orgânica do solo (Figura 13 e Tabela 2) foi significativamente influenciado pelos sistemas de manejo. Isso ocorreu porque a MOS é um atributo dinâmico, que pode ser alterado conforme o manejo propicia maior ou menor entrada de material orgânico e mais ou menos oxigenação (Teixeira et al., 2019).

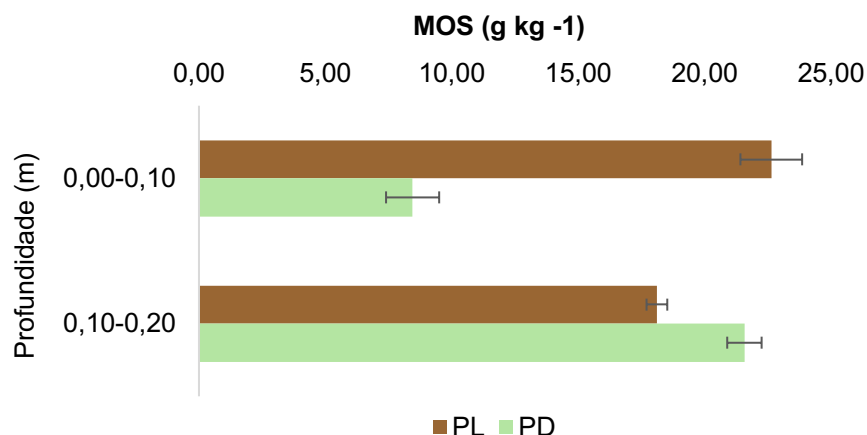


Figura 13. Matéria orgânica do solo (MOS) sob influência do preparo localizado (PL) e do plantio direto (PD) no Latossolo Vermelho com cana-de-açúcar.

Tabela 2 – Teor de matéria orgânica do solo (MOS) sob sistemas de preparo localizado e plantio direto em duas profundidades.

Profundidade (m)	Preparo Localizado - PL (g kg ⁻¹)	Plantio Direto - PD (g kg ⁻¹)
0,00 – 0,10	22,63 ± 1,22	8,45 ± 1,05
0,10 – 0,20	18,11 ± 0,41	21,57 ± 0,68

No PL, o aporte de matéria orgânica na camada 0,00 a 0,10 m foi aproximadamente 1,6 vezes maior que no PD. Os maiores teores observados na camada superficial sob preparo localizado podem estar relacionados à redistribuição dos resíduos vegetais e à incorporação parcial da matéria orgânica promovida pela operação de subsolagem. Entretanto, os mecanismos responsáveis por essa diferença não foram avaliados diretamente neste estudo.

Estudos anteriores indicam que a subsolagem melhora a aeração e os fluxos de ar, água e nutrientes ao longo do perfil do solo (Calfa et al., 2018; Gomes et al., 2026). Aumentando sua acessibilidade à microbiota e favorecendo

a mineralização das frações mais lábeis do carbono, promovendo a redução dos estoques de carbono no solo, caso não haja reposição suficiente de resíduos vegetais (Shen et al., 2021; Noronha, 2025).

Em contraste, no sistema de PD, a ausência de revolvimento favorece a manutenção da proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados, reduzindo sua exposição aos processos de mineralização (Borges, 2023)., levando ao PD apresentar maiores teores de MOS na camada 0,10 a 0,20 m e, ao longo do tempo, ser gradualmente incorporada às camadas subsuperficiais (Ribeiro da Silva et al., 2019; Shen et al., 2021).

Devido a mobilização, mesmo que parcial do solo, intensificou os processos de mineralização da matéria orgânica (Farhate et al., 2022), no PL, a subsolagem aumenta temporariamente a macro porosidade e reduz a densidade aparente (Calfa et al., 2018), intensificando a oxigenação em camadas profundas.

Nessa condição, a menor entrada de resíduos vegetais, combinada com a maior oxigenação, intensifica a decomposição da matéria orgânica pré-existente, resultando em redução do teor de MOS e um efeito de “esgotamento” de subsuperfície (Teixeira et al., 2019). No PD, a ausência de mobilização preserva a estrutura e mantém níveis mais elevados de matéria orgânica nessas camadas (Oliveira et al., 2024; Tang et al., 2024).

Esses resultados indicam que as diferenças entre os sistemas de manejo não se devem apenas ao aporte de resíduos vegetais, mas também à dinâmica física do solo. A relação entre porosidade, aeração e atividade microbiana exerce

papel determinante na decomposição e estabilização da matéria orgânica (Gomes, 2022).

Ademais, estudos recentes em sistemas agrícolas conservacionistas indicam que a dinâmica da matéria orgânica do solo está fortemente associada à intensidade de mobilização do solo e ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície. Sendo que a formação de agregados do solo depende da matéria orgânica e essa depende de um equilíbrio entre o que entra e o que sai de resíduos orgânicos, quando há um saldo positivo ainda é necessário que o tempo aja (Carneiro, 2021). Ramos et al. (2023) enfatizam que os benefícios estruturais da matéria orgânica são cumulativos e dependentes do manejo. E quando as condições são favoráveis o acúmulo de carbono é lento.

Sistemas com menor mobilização tendem a promover maior acúmulo de carbono orgânico ao longo do tempo, contribuindo para melhorias na estrutura do solo, retenção de água e atividade biológica (Ramos et al., 2023; Tang et al., 2024).

Portanto, os resultados indicaram que o IEA do solo não foi influenciado pelos manejos nas camadas avaliadas ao longo do período de observação. Em contrapartida, a matéria orgânica do solo (MOS) apresentou elevada sensibilidade aos diferentes manejos, com diferenças significativas entre eles. Assim, em comparação ao IEA, a MOS mostrou-se um atributo do solo diretamente afetado pela escolha do sistema de manejo adotado. O IEA por sua vez mostrou-se um atributo que assim que suas condições de formações forem atingidas ainda demanda tempo para que seja modificado de forma significativa.

Assim, recomenda-se que estudos futuros avaliem como essas distintas formas de distribuição da matéria orgânica influenciam a produtividade, a qualidade do solo e a longevidade dos canaviais. Adicionalmente, experimentos de longo prazo são necessários para compreender de maneira mais abrangente os efeitos dos sistemas de manejo sobre a estabilidade estrutural do solo e a sustentabilidade dos sistemas de produção de cana-de-açúcar (Cherubin et al., 2019).

5. CONCLUSÃO

O plantio direto e o preparo localizado não alteraram o índice de estabilidade dos agregados dentro do tempo avaliado, mas influenciaram os teores de matéria orgânica do solo. O plantio direto favoreceu o acúmulo de matéria orgânica em profundidade e o preparo localizado, em superfície. Assim, a matéria orgânica mostrou-se mais sensível às mobilizações promovidas pelo PL do que o índice de estabilidade dos agregados.

6. REFERÊNCIAS

AREIAS, A. **Aspectos político-econômicos, sociais e ambientais do uso da biomassa de cana-de-açúcar para geração de energia elétrica**. Scientific Electronic Archives, Sinop, v. 13, n. 3, p. 77-80, 2020. DOI: <<http://dx.doi.org/10.36560/1332020826>>.

ARCOVERDE, S. N.; SOUZA, C.; CORTEZ, J. W.; MACIAK, P. A.; SUÁREZ, A. H. **Soil physical attributes and production components of sugarcane cultivars in conservationist tillage systems**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 39, p. 216-224, 2019a. DOI: <<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n2p216-224/2019>>.

ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A. D.; NAGAHAMA, H. D. J.; MAUAD, M.; ARMANDO, E. J.; CORTEZ, J. W. **Growth and sugarcane cultivars productivity under no-tillage and reduced tillage system**. Revista Ceres, Viçosa, MG, v. 66, p. 168-177, 2019b. DOI: <<https://doi.org/10.1590/0034-737X201966030002>>.

ARCOVERDE, S. N. S.; KURIHARA, C. H.; SILVA, C. J.; OLIVEIRA, G. B. A.; **Physical soil quality under management systems in sugarcane field renewal**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 45, e20240214, 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/6t46qV8YxrcpwgmhfXjN4QM/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 25 mar. 2026.

AWE, G. O.; REICHERT, J. M.; FONTANELA, E. **Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage**. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 196, p. 104447, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198719307998?casa_token=tfwVDE3rCiAAAAAA:wdmvTo96pk8BERmx4N66Jp9iipR27rRIVrZz6pjQ4iSvU0eTKnj_NgtATttBQZYkkk5NVmqclQ. Acesso em: 25 mar. 2026.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação agronômica & Agroestat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015.

BAUMGÄRTNER, L. C.; CORDEIRO, R. C.; RODRIGUES, R. D. A. R., MAGALHÃES, C. A. S., MATOS, E. S. **Estoque e mecanismo de proteção física do carbono no solo sob influência de manejos agrícolas**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 06, p. 3341-3360, 2021. Disponível em: https://www.academia.edu/73997353/Estoque_e_Mecanismo_de_Prote%C3%A7%C3%A3o_F%C3%ADsica_do_Carbono_no_Solo_em_Manejos_Agr%C3%ADcolas?source=swp_share. Acesso em: 18 jun. 2026.

BEZERRA, J. C. R. **Avaliação da compactação do solo em função das colheitas mecanizadas em diferentes ciclos da *Saccharum officinarum* nas áreas comerciais no município de Maxaranguape-RN.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/dcf6c2c2-5361-42b3-8f73-8bd664cb0c51/content>. Acesso em: 18 jun. 2026.

BORGES, S. F. T. **Efeito dos sistemas de colheita da cana-de-açúcar sobre o estoque de carbono no Brasil e qualidade do solo em Alagoas.** 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2023. 132 f. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/16534>. Acesso em: 18 jun. 2026.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009. 716 p.

CALFA, C. H. **Efeito da subsolagem sobre atributos físicos de um latossolo amarelo distrófico argissólico cultivado com citros no estado da Bahia.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 22, n. 1, p. 11–16, jan. 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/898812/1/3461.pdf>. Acesso em: 9 out. 2025.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. **Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence.** Soil Science Society of America Journal, Hoboken, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CARNEIRO, M. P. **Qualidade do solo ao longo de quatro anos de produção de cana-de-açúcar sob diferentes manejos.** 2021. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, São Paulo. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1164563?guid=1781892576557&returnUrl=%2fresultado%2flicar3fguid%3d1781892576557%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d1164563%231164563&i=1>. Acesso em: 18 jun. 2026.

CARVALHO, M. L. MACIEL, V. F., BORDONAL, R. D. O., CARVALHO, J. L. N., FERREIRA, T. O., CERRI, C. E. P., CHERUBIN, M. R. **Stabilization of organic matter in soils: drivers, mechanisms and ecosystem services.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 47, e0230130, 2023. Disponível em: https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/1806-9657-rbcs-47-e0230130/1806-9657-rbcs-47-e0230130.x71912.pdf. Acesso em: 20 jun. 2026.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar safra 2025/3º levantamento**. Brasília, DF, nov. 2025. Disponível em: https://www.novacana.com/pdf/04112025091152_Conab_-_3_levantamento_Cana_NC.pdf. Acesso em: 25 mar. 2026.

CHAVEIRO, A. C.; BONINI, C. dos S. B.; FREITAS, P. G. N.; REIS, D. C. de S.; OLIVEIRA, J. M. K. de; SOUZA, J. A. L. de; HIDALGO, G. F.; OLIVEIRA, A. B. de. **Soil physical and chemical quality on no tillage cultivated with vegetables – a review**. Research, Society and Development, Itabira, v. 11, n. 9, p. e32711931564, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31564>. Acesso em: 24 mai. 2024.

CHERUBIN, M. R.; FRANCHI, M. R. A.; LIMA, R. P.; MORAES, M. T.; LUZ, F. B. **Sugarcane straw effects on soil compaction susceptibility**. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 212, p. 105066, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105066>>.

DE ALMEIDA, A. S. A. **Atributos do solo em área de cana-de-açúcar sob sistemas de manejo e plantas de cobertura**. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2025. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1518737?guid=1781883975986&returnUrl=%2fresultado%2fflistar%3fguid%3d1781883975986%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d1518737%231518737&i=1>. Acesso em: 18 jun. 2026.

ESTEBAN, D. A. A. **Atributos físico-hídricos do solo e risco de compactação sob sistemas de transbordo da cana-de-açúcar**. 2023. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1266257>. Acesso em: 18 jun. 2026.

FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M. D.; CHERUBIN, M. R.; LOVERA, L. H.; OLIVEIRA, I. N. D.; JÚNNYOR, W. D. S. G.; LA SCALA, N. **Soil physical change and sugarcane stalk yield induced by cover crop and soil tillage**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 46, e0210123, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210123>>.

FEBRAPDP (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DO SISTEMA PLANTIO DIRETO). **Evolução da área sob plantio direto no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/14588evolucao-pd-no-bbrazil-2021-jpg.jpg>. Acesso em: 24 maio. 2024.

FILIZOLA, H. F.; LUIZ, A. J. B. **Tempo de cultivo contínuo de cana-de-açúcar e influência nas características físicas e carbono orgânico de latossolos**

vermelhos distróficos em Guaíra/SP. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, Ribeirão Preto, v. 8, n. 1, p. 25–36, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1116235/1/FilizolaTempoCultivo2019.pdf>. Acesso em: 9 out. 2025.

GOMES, M. da S.; MAUAD, M., ARCOVERDE, S. N., KURIHARA, C. H., OLIVEIRA, G., SILVA, C. J. D. **Sistemas de preparo e níveis de palhiço: qualidade biológica do solo e produtividade da cana-de-açúcar.** Revista Caatinga, v. 39, p. e13594, 2026. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/HpZjSxNtR48WXHDxVRBysQK/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 jun. 2026.

GOMES, M. da S. **Sistemas de manejo do solo e níveis de palhiço: decomposição e liberação de nutrientes, qualidade biológica do solo, nutrição e produção de cana-de-açúcar.** 2022. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022. Disponível em: <https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-AGRONOMIA/Teses%20Defendidas/Tese%20Michele%20da%20Silva%20Gomes.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2026.

INÁCIO, A. L. P. **Carbono orgânico do solo e estabilidade de agregados em latossolo sob diferentes usos no Cerrado, MG.** 2025. 34 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/47717>. Acesso em: 18 jun. 2026.

LEFEBVRE, D.; WILLIAMS, A.; MEERSMANS, J.; KIRK, G. J.; SOHI, S.; GOGGIO, P.; SMITH, P. **Modelling the potential for soil carbon sequestration using biochar from sugarcane residues in Brazil.** Scientific Reports, London, v. 10, n. 19479, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1038/s41598-020-76470-y>>.

MOONEY, S. J.; YOUNG, I. M.; HECK, R. J.; PETH, S. (Ed.). **X-ray imaging of the soil porous architecture.** Cham: Springer, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1007/978-3-031-12176-0>>.

RIBEIRO NETO, A. Q. **Produtividade e custos operacionais de diferentes preparos do solo para a cana-de-açúcar,** 2023. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Faculdade de Enfermagem Nova Esperança, João Pessoa, 2023. Disponível em: <https://www.sistemasfacenern.com.br/repositoriopb/admin/uploads/arquivos/663772ea088360f95bac3dc7ffb841be.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2026.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. **Aggregate stability and size distribution.** In: DANE, J. H.; TOP, G. C. (ed.). **Methods of soil analysis part 4: physical methods.** Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 317-328.

Disponível em:

https://www.rcamnl.wr.usgs.gov/uzf/abs_pubs/papers/mosa.ag.pdf. Acesso em: 16 out. 2025.

NORONHA, R. L. **Cana-de-açúcar: preparo de solo e plantas de cobertura num argissolo vermelho**. 2025. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2025. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1526040?guid=1781885445919&returnUrl=%2fresultado%2flistar%3fguid%3d1781885445919%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d1526040%231526040&i=1>. Acesso em: 18 jun. 2026.

OLIVEIRA, I. N. de; SOUZA, Z. M. de; BOLONHEZI, D.; TAVARES, R. L. M.; LIMA, R. P. de; SILVA, R. B. da; ARAÚJO, F. S.; LOVERA, L. H.; LIMA, E. de S. **Effect of conservation management on oxisol in a sugarcane area under a pre-sprouted seedling system**. Agriculture, Basel, v. 14, n. 11, 2024. DOI: <<https://doi.org/10.3390/agriculture14111965>>.

PIRES, M. F. M.; NÓBREGA, J. C. A.; ALMEIDA, M. S.; SILVA, A. F.; NUNES, T. P. M.; FRANÇA, R. S.; SILVA, A. P. M.; COSTA, R. M.; COSTA, S. M. D. M. **Manejo do solo e seu impacto no controle da erosão hídrica: uma revisão bibliográfica**. [S.l.]: 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/ebook/sustentare-wipis-2023-e-book-422831/788721/>. Acesso em: 9 out. 2025.

RABOT, E. WIESMEIER, M.; SCHLÜTER, S.; VOGEL, H. J. **Soil structure as an indicator of soil functions: a review**. Geoderma, Amsterdam, v. 314, p. 122-137, 2018. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>>.

RAMOS, N. P.; ANDRADE, C. A.; ROSSETO, R.; PIRES, A. M. M. **A Cana-de-açúcar e suas relações com a matéria orgânica do solo**. In: BETTIOL, W. et al. (ed.). **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. cap. 23, p. 645-675. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1161251>. Acesso em: 25 mar. 2026.

RIBEIRO DA SILVA, J. C.; RAMOS, N. P.; ANDRADE, C. A. de.; PAZIANOTTO, A. A.; NOGUEIRA, S. F. **Estoques de carbono e nitrogênio no solo em função do número de soqueiras de cana-de-açúcar**. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2019, Campinas. Anais [...] Campinas: UNICAMP, 2019. p. 8. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1116742/1/RamosEstoguesCarbono2019.pdf>. Acesso em: 9 out. 2025.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, C.; CANTARELLA, H. **Fertility maintenance and soil recovery in sugarcane crops**. In: CORTEZ, L. A. B.

(coord.). Sugarcane bioethanol: R&D for productivity and sustainability. São Paulo: Edgard Blücher, 2014. p. 381-404. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/fertility-maintenance-and-soil-recovery-in-sugarcane-crops-19257>. Acesso em: 9 out. 2025.

SCHIEBELBEIN, B. E. **Estabilidade de agregados e estocagem de carbono no solo em áreas de expansão do cultivo de cana-de-açúcar**. 2022. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11042022-085547/publico/Bruna_Emanuele_Schiebelbein_versao_revisada.pdf. Acesso em: 9 out. 2025.

SHEN, Y.; ZHANG, T.; CUI, J.; CHEN, S.; HAN, H.; NING, T. **Subsoiling increases aggregate-associated organic carbon, dry matter, and maize yield on the North China Plain**. Plant Biology, West Sussex, v. 211, p. 105024, 2021. Disponível em: <https://peerj.com/articles/11099/>. Acesso em: 16 out. 2025.

SIAMIG BIOENERGIA. **O protagonismo da cana-de-açúcar na economia brasileira**. Belo Horizonte, 22 abr. 2025. Disponível em: <https://siamigbioenergia.com.br/o-protagonismo-da-cana-de-acucar-na-economia-brasileira/>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SILVA, P. A.; LIMA, B. H.; LA SCALA, N.; PERUZZI, N. J.; CHAVARETTE, F. R.; PANOSSO, A. R. **Spatial variation of soil carbon stability in sugarcane crops, central-south of Brazil**. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 202, p. 104667, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104667>>.

SIX, J.; DENEFF, K.; OGLE, S.; SÁ, J. C. M.; ALBRECHT, A. **Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage**. Agronomie, Paris, v. 22, n. 7-8, p. 755-775, 2002. DOI: <<https://doi.org/10.1051/agro:2002043>>.

SOUZA, Z. M. de.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SÁENZ, C. M. S. **Spatial variability of aggregate stability in Latosols under sugarcane**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 245-253, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Y5Lrjj9vPgNS8JnLfqHkBTx/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 25 out. 2025.

TANG, H.; SHI, L.; WEN, LI; CHENG, K.; LI, C.; LI, W.; XIAO, X. **Effects of tillage management on soil organic carbon mineralization under double cropping rice system of southern China**. Scientific Reports, London, v. 14. p. 21146, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-72042-6>. Acesso em: 16 out. 2025.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2017. 573 p.

TEIXEIRA, J. G.; SOUZA, Z. M. de.; GUIMARÃES, E. M.; FARHATE, C. V. V. **Estoque de carbono em área de cana-de-açúcar utilizando diferentes plantas de cobertura e sistemas de preparo do solo**. Revista dos trabalhos de iniciação científica Unicamp, Campinas, n. 26, out. 2018. Disponível em: <https://econtents.sbu.unicamp.br/eventos/index.php/pibic/issue/archive>. Acesso em: 9 out. 2025.

TITTOTO, L. P. **Manejos conservacionistas do solo e sua influência na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar**. 2020. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/6265> . Acesso em: 18 jun. 2026.

TOTSCHKE, K. U.; AMELUNG, W.; GERZABEK, M.H.; GUGGENBERGER, G.; KLUMPP, E.; KNIEF, C.; LEHNDORFF, E.; MIKUTTA, R.; PETH, S.; PRECHTEL, A.; RAY, N.; KÖGEL-KNABNER, I. **Microaggregates in soils**. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Weinheim, v. 181, n. 1, p. 104-136, 2018. DOI: <<https://doi.org/10.1002/jpln.20160045>>1.

VERAS, L. M.; PISSARRA, T. C. T.; CASTRO, M. D. V.; SANTOS, M. M. M.; PANOSSO, A. R. **Temporal dynamics of soil fertility in sugarcane area with emphasis on sustainable production**. SSRN Electronic Journal, [S.l.], 4400991, 2023. Preprint. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4400991. Acesso em: 25 mar. 2026.

VISCHI FILHO, O. J.; DE SOUZA, Z. M.; DE SOUZA, G. S.; DA SILVA, R. B.; TORRES, J. L. R.; DE LIMA, M. E.; TAVARES, R. L. M. **Physical attributes and limiting water range as soil quality indicators after mechanical harvesting of sugarcane**. *Australian Journal of Crop Science*, Lismore, v. 11, n. 2, p. 169-176, 2017. DOI: <<https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.02.p215>>