

● REVISTA

**INOVA** Ciência & Tecnologia

● AGRONOMIA

## PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS E RELAÇÃO COM A COMPACTAÇÃO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR

*José Luiz Rodrigues Torres<sup>1</sup> , Luiz Victorio França Guardieiro<sup>1</sup> ,  
João Pedro Gomes Sousa<sup>1</sup> , Caio Provazi Monteiro Alves<sup>1</sup> ,  
Rafael Daines<sup>1</sup> , Dinamar Márcia da Silva Vieira<sup>2</sup> *

<sup>1</sup>Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba, MG, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Uberlândia (UFU), MG, Brasil.

**RESUMO:** A colheita mecanizada da cana-de-açúcar produz elevada quantidade de palha que é depositada na superfície do solo após cada corte, mantendo-o totalmente coberto, com isso podendo proporcionar sua proteção contra processos erosivos, aumentar o teor de matéria orgânica, ciclar quantidades consideráveis de nutrientes e contribuir para a redução da compactação do solo. Neste estudo, objetivou-se avaliar a produção e decomposição dos resíduos vegetais da cana-de-açúcar depositados na superfície e sua relação com a compactação do solo. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso (DBC), sendo que os tratamentos constaram de sete épocas de avaliação da taxa de decomposição: 0, 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a colheita. Para os atributos físicos, também foi utilizado o DBC, sendo avaliadas seis profundidades: 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40, 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m com cinco repetições. Para avaliar a decomposição, utilizou-se a metodologia das sacolas de decomposição e também se avaliou os seguintes atributos físicos: resistência a penetração das raízes (RP), densidade do solo (DS), umidade e porosidade total (PT) do solo. Após a colheita, ocorreu aporte de 13,8 Mg ha<sup>-1</sup> de palha na superfície do solo e ao final de 120 dias a taxa de decomposição foi de 62%, restando 5,3 Mg ha<sup>-1</sup> deste total. Os maiores valores de RP (4,63 Mpa) e DS (1,68 kg dm<sup>-3</sup>) ocorreram na profundidade 0,30m, onde a PT foi de 39,91%. Nessa condição, pode-se afirmar que no solo arenoso avaliado ainda não está havendo restrição para o desenvolvimento radicular da planta. A camada de palha de 0,09 m sobre o solo colaborou com a manutenção da umidade e diminuição do problema da compactação do solo causado pelo tráfego de máquinas.

**Palavras-chave:** palhada; resistência mecânica à penetração; densidade do solo; umidade; macro e microporosidade.

## PRODUCTION AND DECOMPOSITION OF WASTE AND RELATIONSHIP WITH SOIL COMPACTATION IN AREAS CULTIVATED WITH SUGARCANE

**ABSTRACT:** The mechanized harvesting of sugar cane produces a large amount of straw, which is deposited on the surface of the soil after each cut, keeping it completely covered, providing protection against erosion processes, increasing the content of organic matter, cycling considerable amounts of nutrients and contributing to reduce soil compaction. This study aimed to evaluate the production and decomposition of sugarcane plant residues deposited on the surface and their relationship with soil compaction. The delineation process used was randomized blocks (RB) and the treatments consisted of seven times of evaluation of the decomposition rate: 0, 15, 30, 60, 90, 120 and 150 days after harvest. For the physical attributes, the RBs was also used, with six depths being evaluated: 0.00-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40, 0.40-0.50 and 0.50-0.60 m, both RB with five repetitions. To evaluate decomposition, a decomposition bag methodology was used.

\* Autor correspondente:

[jlrtores@iftm.edu.br](mailto:jlrtores@iftm.edu.br)

Recebido: 08/09/2022.

Aprovado: 31/05/2024.

**Como citar:** Torres, J. L. R., Guardieiro, L. V. F., Sousa, J. P. G., Alves, C. P. M., Daines, R., & Vieira, D. M. da S. PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS E RELAÇÃO COM A COMPACTAÇÃO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR. Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal. Recuperado de <https://periodicos.iftm.edu.br/index.php/inova/article/view/1281>

Editores:

Dra. Vanessa Cristina Caron 

Dr. Daniel Pinheiro

**Copyright:** este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de atribuição Creative Commons, que permite uso irrestrito, distribuição, e reprodução em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.



The following physical attributes were also evaluated: resistance to root penetration (RP), bulk density (BD), humidity and total porosity (TP) of the soil. After harvesting, 13.8 Mg ha<sup>-1</sup> of straw was added to the soil surface and at the end of 120 days the decomposition rate was 62%, leaving 5.3 Mg ha<sup>-1</sup> of this total; The highest values of RP (4.63 Mpa) and BD (1.68 kg dm<sup>-3</sup>) occurred at depth 0.30m, where TP was 39.91%. In this condition, it can be stated that in the sandy soil evaluated there is still no restriction on the plant's root development. The 0.09 m layer of straw on the soil helped to maintain humidity and reduce the problem of soil compaction caused by machinery traffic.

**Keywords:** straw; mechanical resistance to penetration; soil density; humidity; macro and microporosity.

## INTRODUÇÃO

As atuais técnicas de manejo da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) estão baseadas no vigoroso revolvimento do solo por ocasião do preparo e plantio que, somados ao tráfego de máquinas e veículos de transbordo por ocasião da colheita, com massa total entre 20 a 30 toneladas, cujo tráfego é repetido durante vários ciclos e sob condições variáveis de umidade, causam alterações nos atributos físicos, químicos e nos níveis de matéria orgânica do solo (Torres *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2022).

Dentre estas alterações que ocorrem nos atributos físicos do solo, as mais comuns são a diminuição da macroporosidade, alteração no tamanho dos agregados, redução na taxa de infiltração, maior densidade e aumento da resistência mecânica do solo à penetração das raízes (Sá *et al.*, 2016, Torres *et al.*, 2021b), que causam a queda do rendimento da cultura.

Alguns estudos comprovam que o sistema radicular da cana tem cerca de 75% das raízes concentradas até 0,40 m de profundidade, porém se não houver problemas de barreiras químicas e físicas, estas podem explorar até 2,00 m ou mais (Souza *et al.*, 2014; Moraes *et al.*, 2019). Monitorar a compactação do solo, através da resistência mecânica penetração das raízes, densidade e porosidade do solo, após a realização das etapas do processo produtivo da cana, é uma prática fundamental para identificar se está ocorrendo restrição ao desenvolvimento radicular das plantas, para que haja uma rebrota mais vigorosa e proporcione maior número de cortes (Torres *et al.*, 2013).

O sistema de colheita mecanizada em áreas com cana-de-açúcar foi introduzido com o intuito de reduzir as queimadas, para diminuir a concentração de gás carbônico na atmosfera e consequentemente contribuir com a diminuição do efeito estufa (Souza *et al.*, 2015). Além disso, a produção volumosa de palha, composta por folhas secas e verdes, pedaços de colmos e ponteiros, que são depositados na superfície protege o solo contra a erosão, contribui para a redução da compactação superficial (Johnson *et al.*, 2016).

Esta palha depositada na superfície do solo após cada corte aumenta a disponibilidade de matéria orgânica e consequentemente o Carbono orgânico total do solo (Potrich *et al.*, 2014), sendo que ao entrar em processo de decomposição proporciona uma melhoria da qualidade química do solo, pois promove a cicla-

gem de nutrientes, possibilitando diminuição do uso de fertilizantes minerais e beneficiando a sustentabilidade do sistema em longo prazo (Carvalho *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2022).

Dentre os fatores que afetam a decomposição desta palha, a relação carbono/nitrogênio (C/N) destes resíduos e a composição química da palha se destacam (Ramos *et al.*, 2016), assim como o volume de palha aportado na superfície do solo (Silva *et al.*, 2022), a atividade biológica no solo (Carvalho *et al.*, 2017), a distribuição de chuvas, a temperatura e os atributos do solo, como já evidenciado para outras plantas da família Poaceae (Pacheco *et al.*, 2017; Torres *et al.*, 2019).

Neste estudo, avaliou-se a produção e decomposição dos resíduos vegetais da cana-de-açúcar depositados na superfície e sua relação com a compactação do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

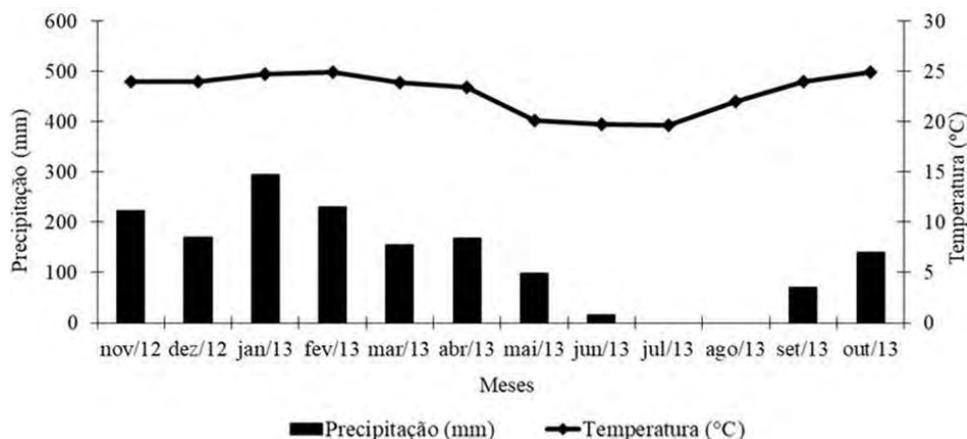
O estudo foi conduzido em uma área comercial de produção de cana-de-açúcar com quatro cortes, que fica localizada no município de Uberaba-MG, em uma área de produção de cana-de-açúcar de uma das usinas da região, na altitude de 795 m, logo após a colheita mecanizada da cana no mês de dezembro de 2012, quando a umidade do solo estava próxima (cerca de 25%) da umidade ótima de compactação determinada pelo teste de Proctor.

O solo predominante na área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura franco-argilo-arenosa (Santos *et al.*, 2018), tendo apresentado as seguintes características físicas e químicas na camada de 0,00 - 0,40 m: 210 g kg<sup>-1</sup> de argila; 80 g kg<sup>-1</sup> de silte; 710 g kg<sup>-1</sup> de areia; pH (H<sub>2</sub>O) 6,3; 19 mg dm<sup>-3</sup> de P (Mehlich<sup>-1</sup>); 2,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K; 22 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca; 10 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg; 20 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H+Al; 16 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica e saturação por bases de 68 %.

O clima da região é classificado como Aw, tropical quente, segundo a classificação de Koppen atualizada (Beck *et al.*, 2018), tendo verão quente e chuvoso e inverno frio e seco.

Na região, ocorrem médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar na ordem de 1600 mm, 22,6 °C e 68%, respectivamente. Entretanto, em 2012 os valores de precipitação foram de 1680 mm (Figura 1).

**Figura 1:** Precipitação (mm) e temperatura (°C) médias obtidas na Estação meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) no período entre novembro/2012 a outubro/2013.



**Fonte:** dos autores.

Foram montados dois estudos na mesma área e parcelas experimentais, um no delineamento experimental de blocos ao acaso, sendo que os tratamentos constaram de sete épocas de coleta de sacolas para quantificação da decomposição da palha residual da cana-de-açúcar: 0, 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a distribuição das sacolas de decomposição no campo, com cinco repetições.

Houve outro estudo para a compactação do solo na área, no delineamento de blocos ao acaso, sendo que os tratamentos constaram de seis profundidades: 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30 - 0,40, 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m, todas com cinco repetições.

A produção da palha residual depositada na superfície do solo após cada colheita foi avaliada em cinco pontos ao acaso, em cada parcela delimitada no canal, utilizando um gabarito metálico de 1,0 m<sup>2</sup> de área que foi lançado aleatoriamente e a seguir coletado todo material contido na área delimitada. As amostras foram secas a 65°C por 72 horas ou até massa constante, pesadas e os resultados expressos em Mg ha<sup>-1</sup>.

Cada parcela foi composta por dez linhas de cana-de-açúcar, cada uma delas com 50 m de comprimento, espaçadas de 1,50 m entre linhas, totalizando 750 m<sup>2</sup> por parcela.

Antes de esta palha residual ser colhida em cada local onde o gabarito foi lançado, a sua espessura foi medida com uma régua graduada de 0,30 m.

Para avaliar a decomposição, foram utilizadas sacolas de nylon que são construídas com telas de nylon industrial resistente, com malha de abertura de 2 mm, confeccionadas no tamanho de 0,20 x 0,20 m (0,04 m<sup>2</sup>), sendo costuradas somente em 3 lados, sendo um deixado aberto para que os organismos maiores podem ter acesso ao material residual de cerca de 30 gramas da palha após terem sido secas em estufa a 65 °C.

Foram distribuídas 60 sacolas na superfície do solo em cada parcela, sendo coletadas duas por parcela em cada amostragem, que ocorreram aos 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a distribuição das sacolas no campo. Após a coleta das amostras, o resíduo vegetal de cada sacola foi limpo manualmente sobre peneira de malha de 0,053 mm, seco em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até massa constante e pesado em balança para determinação da massa e da taxa de decomposição.

Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais, aplicou-se o modelo matemático exponencial descrito por Thomas e Asakawa (1993), do tipo  $X = X_0 e^{-kt}$ , em que X é a quantidade de massa seca remanescente após um período de tempo t, em dias; X<sub>0</sub> é a quantidade inicial de massa seca e k é a constante de decomposição do resíduo.

Com o valor de k, foi estimado o tempo de meia-vida (T<sup>1/2</sup> vida) dos resíduos remanescentes, com o uso da fórmula  $T^{1/2} \text{ vida} = 0,693/k$ , proposta por Paul e Clark (1996), que expressa o tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada com o uso de penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, com ângulo de ponteira cônica de 30° (Stolf *et al.*, 2014). Em cada parcela, realizaram-se cinco determinações da RP nas seguintes profundidades: 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50; e 0,50-0,60 m. Os dados de campo foram obtidos em números de impactos (dm<sup>-1</sup>), tendo sido transformados em kgf cm<sup>-2</sup> por meio da equação  $R (\text{kgf cm}^{-2}) = 5,6 + 6,98 N$  (Sene *et al.*, 1985). A seguir, estes valores foram multiplicados pela constante 0,098 para transformação em unidades MPa (Arshad *et al.*, 1996).

A densidade do solo (Ds) foi determinada em amostras com estrutura indeformada pelo método do anel volumétrico e que foram coletadas em anéis de

48 mm de diâmetro por 53 mm de altura, com o trado de Uhland, nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40, 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m, sendo as amostras secas a 105 °C por 24h. A distribuição de poros por tamanho foi determinada em amostras com estrutura indeformada, previamente saturadas por 24 h, utilizando uma unidade de sucção a 0,60 m de altura de coluna de água. Sendo assim, a macroporosidade (Ma), porosidade total (PT) e microporosidade (Mi) foram definidas segundo (Teixeira *et al.*, 2017).

Para a avaliação do conteúdo de água, determinou-se a umidade volumétrica do solo em amostras de solo coletadas nos mesmos dias e profundidades (0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m). Estas amostras foram acondicionadas em latas de alumínio, pesadas e colocadas para secar em estufas de circulação forçada de ar a 105 °C por 24 horas. Após a obtenção da umidade gravimétrica, esta foi multiplicada pela Ds e obteve-se a umidade volumétrica do solo (Teixeira *et al.*, 2017).

Os resultados encontrados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors, Cochran e Bartlett. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F para significância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade, com auxílio do Software *Agroestat*. Para a análise de regressão e gráfico de decomposição, utilizou-se o Software *Sigmaplot* versão 12.0.

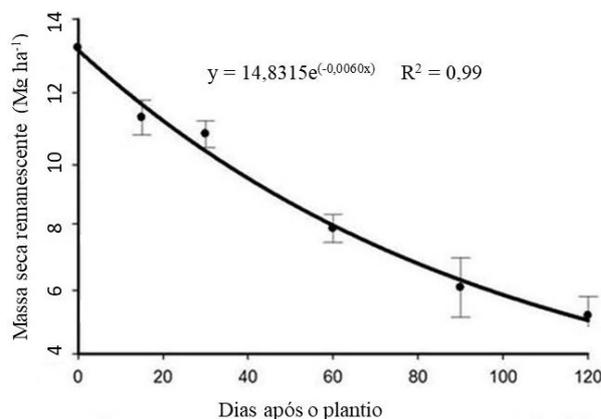
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aporte de resíduos vegetais na superfície do solo na área de cana-de-açúcar foi de 13,8 Mg ha<sup>-1</sup> após quatro cortes; valor este considerado dentro dos padrões de produção de palha observado em outros estudos. Cerri *et al.* (2011) destacam que após cada colheita mecanizada ocorre um aporte entre 10 a 20 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca na superfície do solo, que é formada por folhas e ponteiro da cana-de-açúcar. Cavalieri *et al.* (2011), no município de Rio Brillante, MS, quantificaram valores ao redor de 10,0 Mg ha<sup>-1</sup> em seus estudos também conduzidos no Cerrado, enquanto que Souza *et al.* (2015) obtiveram 12 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Pradópolis, SP.

Esta quantidade de palha depositada na superfície proporcionou uma cobertura do solo com espessura de 0,09 m que, além de proporcionar boa proteção contra processos erosivos, ainda pode reduzir a necessidade de fertilizantes em médio e longo prazo, diminuir a amplitude térmica no solo, mantendo a umidade mais favorável à produção da cultura (Cerri *et al.*, 2011).

Avaliando a taxa de decomposição dos resíduos da cana-de-açúcar, observou-se que esta foi de 19, 23, 25, 34 e 62% aos 15, 30, 60 90 e 120 dias respectivamente, sendo que ao final do período avaliado ainda restavam 5,3 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca remanescente sobre a superfície do solo (Figura 2).

**Figura 2:** Massa seca remanescente avaliada aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após 4 cortes da cana, em Uberaba, MG.



**Fonte:** dos autores.

Esta decomposição aumentou gradativamente ao longo dos 150 dias avaliados, como esperado, contudo, quando ocorre precipitação em quantidade e temperatura adequada (Figura 1), a decomposição dos resíduos acontece de forma mais acelerada, como já comprovado em estudos com algumas outras culturas (Pacheco *et al.*, 2017; Torres *et al.*, 2021a; Silveira *et al.*, 2021). O elevado aporte de matéria orgânica (palha) depositado sobre a superfície do solo nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar favorece o aumento da atividade e da diversidade biológica existente na área, devido a maior disponibilidade de alimento (Ferreira *et al.*, 2019; Ribeiro Neto *et al.*, 2024), o que consequentemente acelera a decomposição dos resíduos (Lima *et al.*, 2019).

Resultados semelhantes foram reportados em outros estudos, onde foi comprovado que as melhores condições de temperatura e umidade favoreceram e aceleraram a decomposição dos resíduos depositados na superfície do solo da cana-de-açúcar (Torres *et al.*, 2013; Moraes *et al.*, 2019) e outras Poáceas (Torres *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2021a).

Através da constante de decomposição (k) da análise de regressão, é possível estimar o tempo de meia vida (T<sup>1/2</sup> vida) dos resíduos culturais da cana depositados na superfície do solo que expressa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha. Neste estudo o valor encontrado foi de 115 dias (Tabela 1). Pode-se afirmar que esta decomposição foi bem lenta, quando comparada às taxas observadas em outras culturas que, apesar de não terem sido avaliadas neste estudo, pode-se inferir que este comportamento se deve a elevada relação carbono/nitrogênio (C/N) da palha.

**Tabela 1:** Constante de decomposição (k) e tempo de meia vida (T<sup>1/2</sup> vida) dos resíduos culturais da cana, no município de Uberaba no ano de 2012.

Palha da cana-de-açúcar		
K	T <sup>1/2</sup> vida	r <sup>2</sup>
g g <sup>-1</sup>	dias	-
0,0060	115,5	0,99 *

\* = Significativo (p<0,05), r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

**Fonte:** dos autores.

De forma geral, a relação C/N dos resíduos da cana-de-açúcar são elevadas, pois são materiais ricos em celulose, hemicelulose e lignina (Ramos *et al.*, 2016), sendo que isso dificulta a ação dos microrganismos do solo que terão um maior gasto de energia para decompor o resíduo, consequentemente tornando a decomposição dos resíduos lenta e com elevados T<sup>1/2</sup> vida (Torres *et al.*, 2021b; Silva *et al.*, 2022).

A cana é uma cultura muito exigente em N, sendo que após cada corte é feito uma nova adubação suplementar da cultura, o que afeta diretamente a taxa de decomposição dos resíduos aportada na superfície do solo, que é sempre maior logo após a aplicação, assim como observado neste estudo. Vitti *et al.* (2008), em estudo realizado em Pradópolis, SP, avaliaram a aplicação das doses de 0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N sobre os resíduos de cana-de-açúcar e observaram que a decomposição da palhada foi maior nas parcelas adubadas com N, em relação à testemunha (sem adição de N) e que após 14 meses, verificou-se que 37 a 65 % da matéria seca do material da palhada remanescente sobre o solo.

Em seu estudo avaliando a decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar submetidos a diferentes doses de nitrogênio, Potrichi *et al.* (2014) observaram T<sup>1/2</sup> vida de 908, 339, 34 e 211 dias, quando aplicou as doses de 0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, comprovando que a aplicação de doses crescentes de N proporcionou aumento das taxas de decomposição e redução do T<sup>1/2</sup> vida.

Segundo Ambrosano *et al.* (2011), os resíduos vegetais com relação C/N entre 10 e 12:1 apresentam rápida decomposição e com relação entre 25 e 35:1 apresen-

tam decomposição sem provocar a imobilização de N no solo e, acima desses valores há imobilização. Vitti *et al.* (2008) destacam que a palha de cana-de-açúcar apresenta em média uma relação C/N de aproximadamente 100:1, enquanto que uma das outras Poáceas que apresenta relação mais próxima é o milho, de 60:1, com isso podendo-se esperar lenta decomposição dos resíduos da cana e alta imobilização de N no solo.

Segundo Silva *et al.* (2022), o processo de decomposição é acelerado à medida que aumenta o aporte de palha sobre o solo e que este comportamento está diretamente relacionado à melhoria das condições de temperatura e umidade do solo que favorecem o crescimento da atividade microbiológica do solo. Segundo Carvalho *et al.* (2017) e Ferreira *et al.* (2019), o aporte de palha cria um ambiente melhor para o desenvolvimento de comunidades biológicas do solo, pois além da maior disponibilidade de alimentos para os organismos do solo, ainda mantém uma umidade mais constante e consequentemente mais próxima da ideal para movimento de máquinas na superfície do solo.

Esta taxa de decomposição dos resíduos também é influenciada pela relação C/N e composição química da palha (Ramos *et al.*, 2016), crescimento radicular e microbiano na palha, distribuição de chuvas, temperatura e atributos do solo (Torres *et al.*, 2019).

Foram analisados, de forma conjunta, os valores da resistência mecânica do solo à penetração das raízes (RP) e da densidade do solo (DS), que variaram entre 1,69 a 4,63 MPa e de 1,51 a 1,68 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, e que foram medidos no solo com a umidade variando entre 0,26 a 0,29 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> (Tabela 2).

**Tabela 2:** Resistência do solo a penetração (RP), densidade do solo (DS) e umidade volumétrica (Uv) em uma área cultivada com cana após 4 cortes, em Uberaba-MG.

Profundidade m	Atributos físicos		
	RP	DS	Uv
	Mpa	kg dm <sup>-3</sup>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
0,00-0,10	2,63 b*	1,55 b*	0,26 b*
0,10-0,20	4,32 a	1,65 a	0,28 a
0,20-0,30	4,63 a	1,68 a	0,28 a
0,30-0,40	2,87 b	1,56 b	0,28 a
0,40-0,50	1,97 c	1,52 c	0,29 a
0,50-0,60	1,69 c	1,51 c	0,29 a
CV (%)	9,70	1,91	3,19

\* = Significativo; médias seguidas de mesma letra na coluna comparam as profundidades, diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

**Fonte:** dos autores.

Analisando somente os valores de RP que variaram entre 4,32 e 4,63 MPa, na profundidade de 0,10 a 0,30 m, valores estes considerados muito altos pela classificação proposta por Arshad *et al.* (1996), pode-se inferir que já está ocorrendo prejuízo no desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar.

Contudo, Sá *et al.* (2016) destacam que o elevado aporte de palha na superfície protege o solo nas áreas cultivadas com cana, ameniza o problema da compac-

tação e estabelece o valor da RP crítica ao desenvolvimento radicular da cana em 3,8 Mpa. Silva *et al.* (2022) destacam que em solos que não são revolvidos anualmente, como é o caso da cultura da cana-de-açúcar, valores de resistência próximos de 4,0 MPa são toleráveis, devido à permanência e continuidade dos poros, à atividade biológica mais ativa e à maior estabilidade dos agregados, valores estes observados nas camadas de 0,10 a 0,30 m neste estudo.

Sabe-se que não existe um consenso na literatura sobre qual é este limite crítico de RP, pois Grant e Lanfond (1993) destacam que, de forma geral, a faixa limite desenvolvimento radicular das plantas varia de 1,5 a 3,0 Mpa, enquanto que Arshad *et al.* (1996) consideram que este limite ocorre na faixa de 2,0 a 4,0 Mpa. Entretanto, para Torres *et al.* (2013) o valor de 2,00 MPa é aceitável como limite crítico pela maioria dos estudos com RP citados na literatura.

Na colheita mecanizada da cana, com o aporte de palha na superfície do solo variando entre 10 a 30 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, aumenta o potencial para diminuição do contato do rodado com a superfície do solo, dissipando parte da pressão exercida pelas rodas das máquinas agrícolas, que ameniza o problema da compactação (Torres *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2015), contudo, estes valores de aporte de palha oscilam em função da variedade e idade do canavial (Silva *et al.*, 2022). Segundo Johnson *et al.* (2016), o acúmulo de folhas secas e verdes, pedaços de colmos e ponteiros depositados sobre o solo como camada de palha com espessura aproximada entre 0,08 a 0,12 m, contribui para a redução da compactação superficial; efeito este que pode estar ocorrendo neste estudo.

Com relação à DS, na profundidade de 0,10 a 0,30 m, o valor variou entre 1,65 e 1,68 kg dm<sup>-3</sup>, sendo que ambos ficaram acima de 1,60 kg dm<sup>-3</sup>, que foi o valor estabelecido por Silva e Rosolem (2001) como crítico para o desenvolvimento destas culturas em qualquer tipo de solo. Contudo, para solos arenosos, Araújo *et al.* (2004) estabelece que o limite crítico é de 1,65 kg dm<sup>-3</sup>, desta forma só estaria ocorrendo alguma restrição no desenvolvimento radicular das plantas na camada de 0,20 a 0,30 m (1,68 kg dm<sup>-3</sup>) (Tabela 2).

Neste estudo, a umidade volumétrica (Uv) do solo variou entre 0,26 e 0,29 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>, com o solo apresentando-se mais seco na camada mais superficial de 0,00 a 0,10 m, onde ocorreu o menor valor de RP, de 2,87 Mpa.

As variações de RP são diretamente influenciadas pela umidade no momento da sua determinação, entretanto, o mesmo não acontece com DS, que não sofre influência da umidade neste momento, mesmo em solos cultivados com cana-de-açúcar, onde o elevado volume de palha tende manter uma maior umidade do solo na superfície e aumentar este valor em profundidade (Silva *et al.*, 2022).

Avaliando áreas de cana planta de segundo e de quarto corte, Centurion *et al.* (2007) observaram que o tempo de cultivo da cana interferiu na estrutura do solo, causando o aumento da DS e diminuição da porosidade total. Torres *et al.* (2013), comparando áreas colhidas manual e mecanicamente após terceiro corte, observaram a ocorrência dos maiores valores de RP e DS em ambas as áreas na profundidade de 0,30 m, decorrente ao uso intensivo de máquinas, onde os valores foram superiores na área de cana queimada, devido à falta de cobertura (palha) sobre o solo.

Em solos arenosos (71% de areia), como o encontrado neste estudo, esta faixa crítica tende a aumentar, possibilitando a utilização, como referência para RP, dos limites superiores destacados por Arshad *et al.* (1996) e Silva *et al.* (2022) (4,0 Mpa) e, para DS o valor destacado por Araújo *et al.* (2004) (1,65 kg dm<sup>-3</sup>) que, associado a uma camada de palha de 0,09 m, pode ter amortizado o efeito causado pela movimentação de máquina na superfície do solo. Pode-se inferir que talvez ainda não esteja ocorrendo restrição ao desenvolvimento radicular da planta, o que vai ser confirmado ou não pela avaliação da porosidade do solo.

Analisando os valores de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT), pode-se evidenciar o aumento da RP e da DS na profundidade de 0,0 a 0,30 m (Tabela 2) que estão diretamente relacionados à diminuição da PT do solo, pois foi nessa mesma profundidade onde ocorreram os menores valores de Ma, Mi e PT (Tabela 3).

**Tabela 03:** Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (PT) e relação Ma/PT cultivada com cana após 4 cortes, em Uberaba, MG.

Prof. m	Ma	Mi %	PT	Ma/PT dm <sup>-3</sup> dm <sup>-3</sup>
0,00-0,10	4,63 c*	30,11 d	34,74 d	0,13 c
0,10-0,20	6,48 b	31,00 d	37,48 c	0,17 b
0,20-0,30	7,61 a	32,30 c	39,91 b	0,19 a
0,30-0,40	8,33 a	32,50 c	40,83 b	0,21 a
0,40-0,50	7,03 b	34,36 b	41,39 b	0,17 b
0,50-0,60	7,01 b	38,29 a	45,30 a	0,16 b
CV (%)	8,98	10,01	8,53	11,03

\* = Significativo; médias seguidas de mesma letra na coluna comparam as profundidades, que não diferem entre si (Tukey, p<0,05).

**Fonte:** dos autores.

Em seus estudos, Bertol *et al.* (2004) afirmam que de três a quatro anos após a implantação da cultura é comum os solos apresentarem maiores valores de Ds e Mi, associados a menores valores de Ma e PT na camada mais superficial. Os autores afirmam que isso ocorre em razão do arranjo natural do solo não

mobilizado e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas mais pesados, sobre a superfície do solo.

Segundo Kiehl (1979), o solo ideal para o desenvolvimento das raízes das plantas é aquele que contém 1/3 de Ma (34% da PT) e 2/3 de Mi (66% da PT), enquanto que

Bertol *et al.* (2004) destacam que os valores considerados ideais para que a planta possa desenvolver normalmente é de cerca de 1/3 do PT ( $0,33 \text{ dm}^{-3} \text{ dm}^{-3}$ ).

Analisando os valores obtidos neste estudo com estas premissas e de forma conjunta, observou-se que na camada 0-10 obteve-se 4,63% de Ma + 30,11% de Mi, o que dará um total de 34,74% de PT (Tabela 3); valores estes semelhantes aos citados por Kiehl (1979) e Bertol *et al.* (2004), o que evidencia que mesmo com a RP e a DS atingindo os maiores valores na profundidade de 0,30 m de 4,63 Mpa e  $1,68 \text{ kg dm}^{-3}$ , respectivamente, a PT do solo ainda é elevada (39,91%) nesta mesma camada. Analisando os dados obtidos neste estudo de RP, DS, PT em solos arenosos de forma conjunta, pode-se afirmar que ainda não está havendo restrição para o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar neste local.

## CONCLUSÃO

Após a colheita, ocorreu aporte de  $13,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de palha na superfície do solo e ao final de 120 dias a taxa de decomposição foi de 62%, restando  $5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  deste total;

Os maiores valores de resistência penetração de raízes (4,63 Mpa) e densidade do solo ( $1,68 \text{ kg dm}^{-3}$ ) ocorreram na profundidade 0,30 m, onde a porosidade total foi de 39,91%. Nesta condição, pode-se afirmar que no solo arenoso avaliado ainda não está havendo restrição para o desenvolvimento radicular da planta;

A camada de palha de 0,09 m sobre o solo colaborou com a manutenção da umidade e a diminuição do problema da compactação do solo causado pelo tráfego de máquinas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Triângulo Mineiro Campus Uberaba pela infraestrutura disponibilizada, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do estudo, ao CNPq e à Fundação Agrisus pela concessão de bolsa de Iniciação Científica aos estudantes.

## REFERÊNCIAS

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SHAMMASS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHSM, R. C. C.; AZCÓN, R. Produtividade de cana-de-açúcar após cultivos de leguminosas. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 810-818, 2011. [doi.org/10.1590/S0006-87052011000400012](https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400012). Disponível em: [scielo.br/j/brag/a/gH8gGWp39kMDHCG8kQMn3Wn/](https://scielo.br/j/brag/a/gH8gGWp39kMDHCG8kQMn3Wn/). Acesso em: 24 jun. 2024.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; INOUE, T.T.; COSTA, A.C.S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.459-504, 2004. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832004000300011](https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300011). Disponível em: [scielo.br/j/rbcs/a/ngFSKDPZXLrhTqjZ8wch6LB/](https://scielo.br/j/rbcs/a/ngFSKDPZXLrhTqjZ8wch6LB/). Acesso em: 8 set. 2022.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. Cap. 7, p.123-141. (SSSA Special publication 49).

BECK, H.E.; ZIMMERMANN, N.E.; MCVICAR, T.R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E.F. Present and future Koppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v.5, 2018. DOI: [doi.org/10.1038/sdata.2018.214](https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214). Disponível em: [nature.com/articles/sdata2018214#citeas](https://nature.com/articles/sdata2018214#citeas). Acesso em: 8 ago. 2022.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.21, p.55-65, fev. 2004. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015](https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015). Disponível em: [scielo.br/j/rbcs/a/vLt59ZdvF9sqCBFxStKtKtFcf/](https://scielo.br/j/rbcs/a/vLt59ZdvF9sqCBFxStKtKtFcf/). Acesso em: 21 jun. 2024.

CARVALHO, J.L.N.; NOGUEIROL, R.C.; MENANDRO, M.N.S.; BORDONAL, R.O.; BORGES, C.D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C. J. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **Global Change Biology Bioenergy**, v.9, n.7, p.1181-1195, 2017. DOI: [doi.org/10.1111/gcbb.12410](https://doi.org/10.1111/gcbb.12410). Disponível em: [onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcbb.12410](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcbb.12410). Acesso em: 7 ago. 2022.

CAVALIERI, K.M.V.; CARVALHO, L.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; TORMENA, C.A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1541-1549, out. 2011. DOI: [dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500008](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500008). Disponível em: [scielo.br/j/rbcs/a/NBrHQ8Zvr5yYgVspCZmHvgF/](https://scielo.br/j/rbcs/a/NBrHQ8Zvr5yYgVspCZmHvgF/). Acesso em: 16 ago. 2022.

CENTURION, J.F.; FREDDI, O.S.; ARATANI, R.G.; METZNER, A.F.M.; BEUTLER, A.N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.2, p.199-209, abr. 2007. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832007000200002](https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000200002). Disponível em: [scielo.br/j/rbcs/a/LwGw6Mh7j6hVRzQ9DR8SdTc/](https://scielo.br/j/rbcs/a/LwGw6Mh7j6hVRzQ9DR8SdTc/). Acesso em: 11 jun. 2022.

CERRI, C.C.; GALDOS, M.V.; MAIA, S.M.F.; BERNOUX, M.; FEIGL, B.J.; POWLSON, D.; CERRI, C.E.P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, v.62, n.1, p.23-28, Feb. 2011. DOI: [doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x). Disponível em: [bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x](https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x). Acesso em: 10mar. 2022.

FERREIRA, C. R.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Diversity of the edaphic macrofauna in areas managed under no-tillage for different periods. **Semina: Ciências Agrárias**, v.40, n.2, p.599-610, 2019. DOI: [doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p599](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p599). Disponível em: [ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/32106/25249](https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/32106/25249). Acesso em: 8 abr.2024.

GRANT, C.A.; LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, v.73, n.2, p.223-232, 1993. DOI: [doi.org/10.4141/cjss93-024](https://doi.org/10.4141/cjss93-024). Disponível em: [cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjss93-024](https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjss93-024). Acesso em: 7 abr. 2020.

JOHNSON, J.M.F.; STROCK, J.S.; TALLAKSEN, J.E.; REESE, M. Corn stover harvest changes soil hydrology and soil aggregation. **Soil and Tillage Research**, v.161, p.106-115, Aug. 2016. DOI: [doi.org/10.1016/j.still.2016.04.004](https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.004). Disponível em: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198716300472?via%3Dihub](https://sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198716300472?via%3Dihub). Acesso em: 8 set. 2022.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979, 263p.

LIMA, S.S.; BENAZZI, E.S.; OLIVEIRA, N.C.R.; LEITE, L.F.C. Diversidade da fauna epígea em diferentes sistemas de manejo no semiárido. **Agrarian**, v.12, n.45, p.328-337, 2019. DOI: 10.30612/agrarian.v12i45.8975. Disponível em: [ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/8975](https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/8975). Acesso em: 8 abr. 2024.

MORAES, E.R.; MAGESTE, J.G.; LANA, R.M.Q.; TORRES, J.L.R.; DOMINGUES, L.A.S.; LEMES, E.M.; LIMA, L.C. Sugarcane root development and yield under different soil tillage practices. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.43, p.e0180090, 2019. DOI: [doi.org/10.1590/18069657rbcs20180090](https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180090). Disponível em: [scielo.br/j/rbcs/a/3zQ3KbD9cm8xcmCVDtLfQWb/](https://scielo.br/j/rbcs/a/3zQ3KbD9cm8xcmCVDtLfQWb/). Acesso em: 8 set. 2022.

PACHECO, L.P.; MIGUEL, A.S.D.C.S.; SILVA, R.G.; SOUZA, E.D.; PETTER, F.A.; KAPPES, C. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.8, p.582-591, Aug. 2017. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-204X2017000800003](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000800003). Disponível em: [scielo.br/j/pab/a/ZH7hNyFFstNgXBzMnjkbCQ/](https://scielo.br/j/pab/a/ZH7hNyFFstNgXBzMnjkbCQ/). Acesso em: 8 abr. 2024.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. (Eds). **Soil microbiology and biochemistry Academic**, Publisher: Academic Press Limited, Londres, 1996, 340p.

POTRICH, Douglas C.; MARCHETTI, M. E.; POTRICH, Diego C.; ENSINAS, S. C.; SERRA, A. P.; SILVA, E. F.; SOUZA, N. H. Decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar submetidos a diferentes doses de nitrogênio. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.4, 1751-1760, jul./ago. 2014. DOI: [doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4p1751](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4p1751). Disponível em: [ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/13856/pdf\\_368](https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/13856/pdf_368). Acesso em: 8 set. 2022.

RAMOS, N.P.; YAMAGUCHI, C.S.; PIRES, A.M.M.; ROSSETTO, R.; POSSENTI, R.A.; PACKER, A.P.; CABRAL, O.M.R.; ANDRADE, C.A. Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1492-1500, set. 2016. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900048](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900048). Disponível em: [scielo.br/j/pab/a/tXFmFDdtVwBrvNVYnRQKKBf/](https://scielo.br/j/pab/a/tXFmFDdtVwBrvNVYnRQKKBf/). Acesso em: 18 fev. 2022.

RIBEIRO NETO, A.; LIMA, S. S.; THULER, R. T.; LOSS, A.; VIEIRA, D. M. S.; LOS, A.; SAMPAIO, I.U.M.; COELHO, V. O.; TORRES, J. L. R. Edaphic macrofauna in areas cultivated with irrigated brassica under no tillage system. **RGSA: Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.18, n.4, p. 1-18, 2024. DOI: [doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-024](https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-024). Disponível em: [rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/4654/1660](https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/4654/1660). Acesso em: 8 abr. 2024.

SÁ, M.A.C.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; FRANZ, C.A.B.; REIN, T.A. Qualidade física do solo e produtividade da cana-de-açúcar com uso da escarificação entre linhas de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1610-1622, set. 2016. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900061](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900061). Disponível em: [scielo.br/j/pab/a/7nVHPRGVYbG8nbBCS-FMfgdm/](https://scielo.br/j/pab/a/7nVHPRGVYbG8nbBCS-FMfgdm/). Acesso em: 8 set. 2022.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 353 p.

SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C.; DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, n.2, p.422-427, Mar./Apr. 1985. DOI: [doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900020030x](https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900020030x). Disponível em: [access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1985.03615995004900020030x](https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1985.03615995004900020030x). Acesso em: 11 jul. 2020.

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.253-260, jun. 2001. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832001000200001](https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200001). Disponível em: [scielo.br/j/rbcs/a/fxjttVbZFWk7Tjv8jFM4VDF/](https://scielo.br/j/rbcs/a/fxjttVbZFWk7Tjv8jFM4VDF/). Acesso em: 18 set. 2019.

SILVA, I.D.C.; SOUZA, Z.M.; SANTOS, A.P.G.; FARHATE, C.V.V.; OLIVEIRA, I.N.; TORRES, J.L.R. Removal of different quantities of straw on the soil surface: effects on the physical attributes of the soil and the productivity of sugarcane yield in Southeast Brazil. **Sugar Tech**, v.24, p.1404-1419, 2022. DOI: [doi.org/10.1007/s12355-021-01082-3](https://doi.org/10.1007/s12355-021-01082-3). Disponível em: [link.springer.com/article/10.1007/s12355-021-01082-3](https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-021-01082-3). Acesso em: 8 set. 2022.

SILVEIRA, B.S.; TORRES, J. L.R.; ORIOLI JÚNIOR, V.; FAVARO, J. H. S.; COSTA, L. L.; CHARLO, H. C.O. Cover crops in the production of green and sweet corn. **Horticultura Brasileira**, v.39, n.1, p.94-101, Jan./Mar. 2021. DOI: [doi.org/10.1590/s0102-0536-20210114](https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210114). Disponível em: [scielo.br/j/hb/a/C5Yyc5VFqWLMx5WWJjffM](https://scielo.br/j/hb/a/C5Yyc5VFqWLMx5WWJjffM). Acesso em: 8 abr. 2024.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; COOPER, M.; TORMENA, C.A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v.72, n.3, p.270-277, May/June 2015. DOI: [doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0078](https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0078). Disponível em: [scielo.br/j/sa/a/zBcMMvkBzsHZmtBbhFTwGjS/](https://scielo.br/j/sa/a/zBcMMvkBzsHZmtBbhFTwGjS/). Acesso em: 16 jul. 2019.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA, R.B.; BARBOSA, R.S.; ARAÚJO, F.S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.1, p.135-146, Feb. 2014. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832014000100013](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100013). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/8bFw-8Z68YxqXVCwBS3JkKML/>. Acesso em: 11 jul. 2020.

STOLF, R.; MURAKAMI, J.H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L.G.; SILVA, L.C.F.; MARGARIDO, L.A.C. Penetrômetro de impacto stolf : programa computacional de dados em excel-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.3, p.774-782, jun. 2014. [doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009). Disponível em: [scielo.br/j/rbcs/a/4PpJK8yGc7f3PRZ5HrmNtvy/](https://scielo.br/j/rbcs/a/4PpJK8yGc7f3PRZ5HrmNtvy/). Acesso em: 8 set. 2022.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology & Biochemistry**, v.25, n.10, p.1351-1361, Oct. 1993. DOI: [doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90050-L). Disponível em: [sciencedirect.com/science/article/pii/003807179390050L?via%3Dihub](https://sciencedirect.com/science/article/pii/003807179390050L?via%3Dihub). Acesso em: 11 jul. 2020.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; CUNHA, M.A.; MARTINS, M.E.; VIEIRA, D.M.S. Physicochemical properties of soil and biomass in sugarcane harvesting systems. **Revista Ciências Agrárias**, v.56, n.4, p.311-318, Oct. 2013. DOI: [doi.org/10.4322/rca.2013.047](https://doi.org/10.4322/rca.2013.047). Disponível em: [ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/881](https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/881). Acesso em: 8 set. 2022.

TORRES, J.L.R.; MAZETTO JÚNIOR, J.C.; SILVA JÚNIOR, J.; VIEIRA, D.M.S.; SOUZA, Z.M.; ASSIS, R.L.; LEMES, E.M. Soil physical attributes and organic matter accumulation under no-tillage systems in the cerrado. **Soil Research**, v.57, n.7, p.712-718, 2019. DOI: 10.1071/sr19047.

TORRES, J.L.R.; GOMES, F.R.C.; BARRETO, A. C.; ORIOLI JUNIOR, V.; FRANÇA, G. D.; LEMES, E. M. Nutrient cycling of different plant residues and fertilizer doses in broccoli cultivation. **Horticultura Brasileira**, v.38, n.1, p.11-10, Jan./Mar. 2021a. [doi.org/10.1590/s0102-0536-20210102](https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210102). Disponível em: [scielo.br/j/hb/a/63XCnMX9FhsCsfjyr-q9r8R/](https://scielo.br/j/hb/a/63XCnMX9FhsCsfjyr-q9r8R/). Acesso em: 8 abr. 2024.

TORRES, J.L.R.; SILVA, V.R.; COSTA, D.D.A.; PEREIRA, M.G.; ASSUNÇÃO, S.A.; GONZALEZ, A.P.; PINTO, L.A.S.R.; LOSS, A. Aggregation and dynamics of soil organic matter under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v.59, n.7, p.715-716, 2021b. DOI: 10.1071/sr20230.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M.O.; TOVAJAR, J.G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2757-2762, 2008. Número especial. Disponível em: [scielo.br/j/rbcs/a/KHvbf83hgR3PNwWtCgrK6nj/](https://scielo.br/j/rbcs/a/KHvbf83hgR3PNwWtCgrK6nj/). Acesso em: 8 set. 2022.