

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 18/02/2023.

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

**QUANTIDADE, QUALIDADE E PROTEÇÃO FÍSICA DO  
CARBONO DO SOLO ASSOCIADO À REMOÇÃO DA PALHA  
DE CANA-DE-AÇÚCAR NO SUDESTE DO BRASIL**

**Marcelo Laranjeira Pimentel**

Engenheiro Agrônomo

**2022**

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

**QUANTIDADE, QUALIDADE E PROTEÇÃO FÍSICA DO  
CARBONO DO SOLO ASSOCIADO À REMOÇÃO DA PALHA  
DE CANA-DE-AÇÚCAR NO SUDESTE DO BRASIL**

**Marcelo Laranjeira Pimentel**

**Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Bordonal**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

P644q Pimentel, Marcelo Laranjeira  
Quantidade, qualidade e proteção física do carbono do solo  
associado à remoção da palha de cana-de-açúcar no sudeste do Brasil /  
Marcelo Laranjeira Pimentel. -- Jaboticabal, 2022  
81 p. : il., tabs., mapas  
  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientador: Ricardo de Oliveira Bordonal  
  
1. Ciência do solo. 2. Matéria orgânica do solo. 3. Fracionamento  
físico da matéria orgânica. 4. Carbono orgânico do solo. 5.  
Cana-de-açúcar. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** QUANTIDADE, QUALIDADE E PROTEÇÃO FÍSICA DO CARBONO DO SOLO ASSOCIADO À REMOÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR NO SUDESTE DO BRASIL

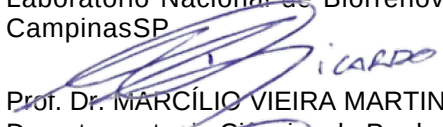
**AUTOR:** MARCELO LARANJEIRA PIMENTEL

**ORIENTADOR:** RICARDO DE OLIVEIRA BORDONAL

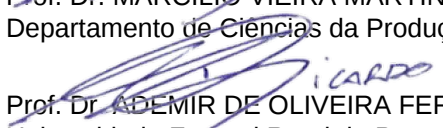
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RICARDO DE OLIVEIRA BORDONAL (Participação Virtual)  
Laboratório Nacional de Biorrenováveis / Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais CNPEM  
CampinasSP



Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. ADEMIR DE OLIVEIRA FERREIRA (Participação Virtual)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE / Recife/PE

Jaboticabal, 18 de fevereiro de 2022

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**Marcelo Laranjeira Pimentel** – Brasileiro, nascido em 05 de setembro de 1994, natural de Santarém, Pará, filho de Raimunda Laranjeira Pimentel e Erivan José Pontes Pimentel. Em março de 2014, ingressou no curso de graduação em Engenharia Agrônoma na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Unidade Tapajós, com conclusão em agosto de 2019. Durante esse período, também obteve o título de Bacharel em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), com conclusão em novembro de 2018. Atuou como bolsista de iniciação à docência, na condição de monitor da disciplina de “gênese e morfologia do solo”, entre 05/2016 a 09/2016. Foi bolsista de iniciação em desenvolvimento tecnológico e inovação (PIBITI/UFOPA) no qual desenvolveu o plano de trabalho “Teores de fósforo disponíveis no solo e absorvidos por plantas de mandioca, submetidos a diferentes fontes de adubação em área de agricultura familiar”, no período de 08/2017 a 07/2018. Também colaborou como bolsista voluntário de extensão no projeto NutriGrãos “O conhecimento em nutrição de plantas como base para o aumento da produtividade” (11/2017 a 11/2018). Foi bolsista de iniciação científica (PIBIC/UFOPA) no qual trabalhou com o projeto “Aporte de nutrientes de um solo de várzea em suas diferentes estações climáticas na comunidade de Arapixuna-PA” (08/2018 a 07/2019). Atuou como colaborador no grupo de pesquisa “Melhoramento e manejo da mandioca na região amazônica” (10/2015 a 11/2018), e “Solo-Planta-Atmosfera na Amazônia/SPAT” (07/2016 a 05/2020). Em março de 2020, ingressou no curso de mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), na UNESP/FCAV, Câmpus de Jaboticabal-SP, participando do grupo de pesquisa “Biotecnologia Molecular”, trabalhando com o manejo da matéria orgânica em solo cultivado com cana-de-açúcar, sendo bolsista CAPES.

“Lembre de Deus em tudo o que fizer, e ele lhe mostrará o caminho certo”.

Rei Salomão

“Quem é sábio procura aprender, mas os tolos estão satisfeitos com sua própria ignorância”.

Rei Salomão

À Deus, a minha família, em especial aos meus pais, e a todos os meus amigos e  
pessoas em geral que me ajudaram neste percurso.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida, saúde e o tempo permitido para a conclusão deste trabalho.

A minha família por ter me dado o suporte necessário durante esta jornada, guiando todos os meus passos. Em especial, à minha mãe Raimunda Laranjeira e meu pai Erivan Pontes pelo apoio em todos os momentos da minha vida, e aos meus irmãos. A todos os meus amigos e professores da graduação (UFOPA), da pós graduação e da vida que me ajudaram neste percurso acadêmico, sendo chaves para meu crescimento acadêmico e pessoal.

A todos os professores da FCAV/UNESP – Jaboticabal pelos ensinamentos a mim concedidos durante este curso de mestrado, que serão essenciais na minha vida profissional e pessoal.

A minha colega da pós-graduação da FCAV/UNESP, Aline Oliveira pela assistência durante a realização das análises dos dados, sendo importante para a conclusão deste trabalho.

Aos meus colegas da pós-graduação da ESALQ/USP, Bruna Schiebelbein, Martha Carvalho e ao professor Maurício Cherubin por todo apoio na realização das análises, sendo muito importantes e necessários para concluir essa dissertação de mestrado.

Ao professor Ricardo de Oliveira Bordonal, por todo apoio, conversas, reuniões, ensinamentos e paciência durante a orientação do curso de mestrado, proporcionando ampliar meus conhecimentos, contribuindo assim para a minha formação.

Ao programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) da FCAV/UNESP – Jaboticabal/SP.

Ao Laboratório Nacional de Biorrenováveis que integra o Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais - LNBR/CNPEM pelo apoio durante a realização das análises.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Muito obrigado!

## SUMÁRIO

|                                                                                                                        | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>RESUMO</b> .....                                                                                                    | iii    |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                                                                                  | iv     |
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....                                                                                          | v      |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....                                                                                          | vi     |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                                                                                              | 1      |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                                                                                   | 3      |
| 2.1 A cultura da cana-de-açúcar.....                                                                                   | 3      |
| 2.2 Compartimentos da MOS.....                                                                                         | 5      |
| 2.3 Estabilização da MOS.....                                                                                          | 9      |
| 2.4 Fracionamento físico da MOS.....                                                                                   | 15     |
| 2.5 Implicações da remoção de palha nos estoques de carbono do solo.....                                               | 19     |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                                                                                      | 22     |
| 3.1 Descrição da área de estudo.....                                                                                   | 22     |
| 3.2 Desenho experimental.....                                                                                          | 22     |
| 3.3 Amostragem do solo .....                                                                                           | 24     |
| 3.4 Determinação dos teores e estoques de carbono do solo.....                                                         | 25     |
| 3.5 Taxa anual de perda ou acúmulo de carbono, taxa de retenção de carbono e dinâmica temporal do carbono no solo..... | 25     |
| 3.6 Distribuição do tamanho dos agregados, carbono associado aos agregados e capacidade de preservação do carbono..... | 26     |
| 3.7 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo em MOP e MOAM.....                                                | 27     |
| 3.8 Análise dos dados.....                                                                                             | 27     |
| <b>4 RESULTADOS</b> .....                                                                                              | 28     |
| 4.1 Impactos da remoção de palha nos teores e estoques de carbono do solo.....                                         | 28     |
| 4.2 Efeito da remoção de palha na qualidade da matéria orgânica.....                                                   | 32     |
| 4.3 Efeitos do manejo da palha na agregação e distribuição do carbono dentro dos agregados.....                        | 34     |
| 4.4 Capacidade de preservação do carbono.....                                                                          | 37     |
| <b>5 DISCUSSÃO</b> .....                                                                                               | 38     |

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1 Resposta do carbono do solo à remoção da palha de cana-de-açúcar.....                                            | 38        |
| 5.2 Estabilização da MOS sob diferentes níveis de remoção da palha de cana-de-açúcar.....                            | 41        |
| 5.3 Implicações do manejo da palha na agregação, proteção física e capacidade de preservação do carbono no solo..... | 43        |
| <b>6 CONCLUSÕES.....</b>                                                                                             | <b>47</b> |
| <b>7 REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                            | <b>47</b> |

## QUANTIDADE, QUALIDADE E PROTEÇÃO FÍSICA DO CARBONO DO SOLO ASSOCIADO À REMOÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR NO SUDESTE DO BRASIL

**RESUMO** – A remoção da palha da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) tem sido considerada uma potencial fonte de energia para aumentar a produção de bioenergia, mas seus impactos na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) permanecem pouco lúcidos. No entanto, pouco se sabe sobre como a prática de remoção da palha de cana-de-açúcar afeta a quantidade e estabilização do carbono orgânico do solo (COS) em ambientes tropicais. Foi conduzido um experimento em campo de cana-de-açúcar em blocos casualizados, incluindo tratamentos com diferentes taxas de remoção da palha: remoção total (RT), alta remoção (AR), baixa remoção (BR) e sem remoção (SR), cujas quantidades de 0, 5, 10 e 15 Mg ha<sup>-1</sup> de palha em massa seca foram mantidas sobre a superfície do solo, respectivamente. Os efeitos da remoção de palha em seis anos foram avaliados sobre os estoques de COS do solo e sua dinâmica temporal, bem como nas taxas de COS incorporado no solo via aporte cumulativo de palha. Investigou-se também o efeito da remoção da palha sobre as frações da matéria orgânica particulada (MOP) e associada aos minerais (MOAM) através do fracionamento físico da MOS, e como a palha afeta a distribuição de agregados, o conteúdo de COS dos agregados e a capacidade de preservação do carbono (CPC) nas frações de agregados em diferentes profundidades do solo. Os resultados demonstram que os teores de COS foram maiores sob BR e SR, com exceção da profundidade de 20-30 cm. Os estoques de COS também foram superiores sob BR e SR nas profundidades de 0-10 e 0-30 cm. Os dados indicam que cerca de 24% do C adicionado via palhada foi retido no solo, e a SR apresentou uma taxa de acúmulo de C de 1,42 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A baixa remoção de palha aumentou a MOP (46,2%) e MOAM (12,4%) na camada superficial do solo em relação à RT. A manutenção da palha no campo aumentou a proporção de macroagregados do solo, resultando em maiores quantidades de COS preservado nesta fração. SR e BR influenciam positivamente a estocagem de COS, aumentando a fração MOP da MOS e contribuindo para formação de macroagregados do solo, o que é essencial na proteção física do COS à decomposição microbiana. Nas condições deste experimento, a taxa de BR (isto é, 10 Mg ha<sup>-1</sup> é mantido no solo, e 5 Mg ha<sup>-1</sup> é removido para produção de bioenergia) foi suficiente para aumentar os estoques de COS, enquanto remoções acima desse limite induzem perdas de COS. Os resultados obtidos podem contribuir para a tomada de decisão sobre o manejo da palha para produção sustentável de bioenergia derivada da cana-de-açúcar no Brasil.

**Palavras-chave:** fracionamento físico, estabilidade do carbono, matéria orgânica associada aos minerais, matéria orgânica particulada, agregação, manejo de resíduos de cultura.

## QUANTITY, QUALITY AND PHYSICAL PROTECTION OF SOIL CARBON ASSOCIATED WITH SUGARCANE STRAW REMOVAL IN SOUTHERN BRAZIL

**ABSTRACT** - Sugarcane (*Saccharum* spp.) straw removal has been considered a potential source of energy for increasing bioenergy production, but its impacts on quantity and quality of soil organic matter (SOM) remain insufficiently lucid. However, little is known on how the quantity and stabilization of soil organic carbon (SOC) are affected by straw management in tropical environments. A field experiment arranged in randomized blocks was conducted with four replications, which included treatments under different removal rates: total removal (TR), high removal (HR), low removal (LR), and no removal (NR), with quantities of 0, 5, 10 and 15 Mg ha<sup>-1</sup> of dry straw maintained on soil surface, respectively. Effects of six-year straw removal to a 30 cm depth were evaluated on SOC stocks and its temporal dynamics, as well as the rates of carbon (C) incorporated into the soil via cumulative straw inputs. Additionally, the effects of straw removal on particulate organic matter (POM) and mineral-associated organic matter (MAOM) fractions were evaluated through physical fractionation of SOM, including how straw removal affects the distribution of aggregates, the C content of aggregates and the carbon preservation capacity (CPC) in fractions of aggregates at different soil depths. Results demonstrate that SOC contents were higher under LR and NR, except at 20-30 cm depth. SOC stocks were also higher under LR and NR at 0-10 cm and 0-30 cm depth. The data indicated that about 24% of the C added via straw were retained in soil, and NR showed a SOC accumulation rate of 1.42 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Low straw removal increased POM (46.2%) and MAOM (12.4%) in surface layer as compared to TR. Maintenance of straw in the field increased the proportion of soil macroaggregates, resulting in higher amounts of preserved C in this fraction. NR and LR positively influence SOC storage, increasing the POM fraction of SOM, contributing to formation of soil macroaggregates, which is essential for physical protection of SOC against microbial decomposition. Under the conditions of this experiment, the LR rate (i.e., 10 Mg ha<sup>-1</sup> is maintained in the soil, and 5 Mg ha<sup>-1</sup> is removed for bioenergy production) was sufficient for increasing SOC stocks, while removals above this limit tend to induce SOC losses. The results obtained can contribute to decision making on straw management for the sustainable production of bioenergy derived from sugarcane in Brazil.

**Keywords:** physical fractionation, carbon stabilization, mineral-associated organic matter, particulate organic matter, aggregation, crop residue management.

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Caracterização química e física da área experimental antes do plantio..... | 23 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Compartimentos da matéria orgânica do solo.....                                                                                                                                                                                                                          | 7  |
| Figura 2. Subdivisão dos reservatórios de carbono em Petagrama.....                                                                                                                                                                                                                | 8  |
| Figura 3. Frequência de co-ocorrências de palavras-chave no período de 2000-2021 em duas bases de publicações científicas: Scopus e Web of Science.....                                                                                                                            | 14 |
| Figura 4. Mapa de localização da área experimental em Iracemápolis-SP.....                                                                                                                                                                                                         | 22 |
| Figura 5. Período experimental com diferentes taxas de remoção de palha.....                                                                                                                                                                                                       | 24 |
| Figura 6. Concentração de COS até 30 cm de profundidade sob diferentes taxas de remoção de palha.....                                                                                                                                                                              | 29 |
| Figura 7. Estoques de COS ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e taxa anual de acúmulo/perda de COS ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) para as profundidades de 0-10 cm e 0-30 cm sob diferentes taxas de remoção de palha de cana-de-açúcar.....                                         | 30 |
| Figura 8. Relação entre entrada de palha cumulativa em 6 anos e estoque de COS nas profundidades de 0-10 e 0-30 cm sob diferentes taxas de remoção de palha.....                                                                                                                   | 31 |
| Figura 9. Dinâmica temporal do COS em 6 anos de estudo nas profundidades de 0-10 e 0-30 cm sob diferentes taxas de remoção de palha.....                                                                                                                                           | 32 |
| Figura 10. Teores de C nas frações de MOP e MOAM sob diferentes taxas de remoção de palha de cana-de-açúcar em diferentes profundidades do solo.....                                                                                                                               | 33 |
| Figura 11. Porcentagem de distribuição das classes de agregados em macroagregados ( $>250 \mu\text{m}$ ), microagregados ( $53\text{-}250 \mu\text{m}$ ) e silte+argila ( $\leq 53 \mu\text{m}$ ) em diferentes profundidades do solo em função das taxas de remoção de palha..... | 35 |
| Figura 12. Representação da porcentagem de C total em macroagregados e microagregados. Distribuição dos teores de C ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em macroagregados e microagregados em diferentes profundidades e taxas de remoção.....                                                  | 36 |
| Figura 13. Capacidade de preservação do carbono dos agregados do solo a partir de diferentes taxas de remoção de palha em diferentes profundidades do solo em macroagregados e microagregados.....                                                                                 | 37 |

## 1 INTRODUÇÃO

Com o impacto do aumento das concentrações de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera do nosso planeta (IPCC, 2021), são necessários investimentos em estratégias de descarbonização, dentre as quais destaca-se o uso de biorrenováveis para reduzir as emissões de carbono (C) e estratégias de manejo agrícola que promovam aumentos na estocagem de C no solo em áreas agrícolas. No ecossistema terrestre global, o solo é o principal reservatório de C, armazenando em torno de 2400 Pg de C à 2 m de profundidade (Batjes, 1996; Schlesinger e Amundson, 2019), que pode representar um estoque de C quatro vezes maior do que a vegetação (560 Pg), e duas a três vezes maior do que a atmosfera (867 Pg) (Lal, 2018). Assim, os solos agrícolas podem vir a ter um importante papel na mitigação das emissões de C para atmosfera. Por exemplo, práticas inadequadas de manejo do solo podem levar a perdas do C estocado (Sanderman et al., 2017), enquanto solos bem manejados podem acumular C, aumentando a qualidade do solo e a produção sustentável nos agroecossistemas por meio da redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) (Yu et al., 2020).

Para atender os compromissos internacionais firmados na Convenção das Partes (COP 21) por meio do aumento do sequestro de C no solo (Chabbi et al., 2017) e da produção de bioenergia (Goldemberg et al., 2014), a palha de cana-de-açúcar tem sido apontada como alternativa estratégica para suprir a demanda global por bioenergia e atenuar os impactos das mudanças climáticas por meio da mitigação das emissões de GEE (Tenelli et al., 2021). O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (FAO, 2020) com 8,2 milhões de hectares cultivados, produzindo 36,9 milhões de toneladas de açúcar e 25,8 bilhões de litros de etanol para a safra 2021/2022 (CONAB, 2021).

A recente expansão do sistema de manejo da cana-de-açúcar para a colheita mecanizada sem a queima da palha (cana crua) é consequência de questões ambientais e socioeconômicas. Os efeitos da mudança no sistema de colheita da cana têm resultado em acúmulos de palha (10 a 20 Mg ha<sup>-1</sup>) sobre a superfície do solo ao longo do ciclo da cultura, influenciando os teores de C orgânico do solo (COS) (Bordonal et al., 2018a; Tenelli et al., 2021).

Devido ao alto potencial energético da palha de cana-de-açúcar para a produção de bioenergia, a indústria canavieira tem mostrado interesse na remoção desse resíduo do campo (Menandro et al., 2017). O uso da cana como fonte de matéria prima para produção de biocombustíveis tem sido incentivado pelo programa “RenovaBio”, que tem por meta a utilização de biocombustíveis na matriz energética do país (MME, 2017), visando reduzir as emissões de GEE em 37% e 43% até 2025 e 2030. Por outro lado, implicações relacionadas à remoção total ou parcial da palha do solo têm levantado preocupações quanto às emissões adicionais de C com potencial impacto na sustentabilidade dos agrossistemas. Diversos estudos afirmam que altas taxas de remoções de palha podem reduzir o estoque de COS (Carvalho et al., 2017; Bordonal et al., 2018b; Morais et al., 2020; Popin et al., 2020; Tenelli et al., 2021). No entanto, não existe consenso sobre a quantidade de palha a ser retirada da superfície do solo de forma a manter a provisão dos serviços ecossistêmicos pelo solo (Cherubin et al., 2018).

Portanto, práticas de manejo que auxiliem no aumento da estocagem do COS são de extrema importância, visto que a formação do COS depende não somente de um equilíbrio entre entrada e saída de resíduos (Barré et al., 2018; Chenu et al., 2019), mas também dos mecanismos de estabilização da matéria orgânica do solo (MOS), definidos como recalcitrância bioquímica (Lehmann & Kleber, 2015), inacessibilidade espacial e a interação organo-mineral (Lützow et al., 2006). Entender como esses mecanismos ocorrem, se torna importante para conceituar a MOS em matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MOAM) (Cotrufo et al., 2015; Lavallee et al., 2020), permitindo uma visão mais precisa do impacto da remoção da palha na formação e persistência da MOS.

No entanto, pouco se sabe se a palha de cana-de-açúcar contribui para a estabilização do COS, seja pela formação da MOP ou MOAM. De acordo com Cotrufo et al. (2013), a estabilização do COS depende da eficiência de uso do substrato microbiano, onde substratos mais lábeis tendem a formar MOAM e substratos mais recalcitrantes formam MOP. Sabe-se que a palha de cana-de-açúcar possui alta relação C/N e alto conteúdo de polifenóis e lignina (Fortes et al., 2012), sendo um resíduo de baixa qualidade. Estudar os efeitos das taxas de remoção de palha no

armazenamento do COS em MOP e MOAM é essencial para entendermos a dinâmica e os mecanismos que governam a estabilidade da MOS.

Diante do exposto, este estudo visa testar as seguintes hipóteses: i) altas taxas de remoção da palha de cana-de-açúcar reduzem os estoques de COS ao longo do tempo afetando a agregação do solo, e tais alterações levam à redução na formação e proteção física da MOP; ii) altas taxas de remoção da palha de cana-de-açúcar não afetam a formação da MOAM. Assim, objetivou-se avaliar os impactos em seis anos de remoção da palha de cana-de-açúcar na quantidade, qualidade e estabilização do COS em um Latossolo Vermelho eutrófico argiloso, visando obter informações consistentes sobre a estabilização da matéria orgânica em solos tropicais sob cenários de remoção da palha de cana-de-açúcar.

## 6 CONCLUSÕES

Com uma taxa de baixa remoção (BR) e sem remoção (SR) de palha ocorre incremento nos teores e estoques de C do solo ao longo do tempo experimental. Quanto à contribuição da palha para a qualidade da MOS, conclui-se que a palha da cana-de-açúcar tem uma maior contribuição para a formação de MOP em relação ao MOAM, influenciado especificamente pela baixa taxa de remoção de palha.

A remoção total da palha deve ser evitada para se ter um manejo sustentável da palha de cana-de-açúcar. As taxas de remoção da palha em BR e SR no solo promoveram uma melhor estruturação e estabilidade de agregados, evidenciado pela maior distribuição de macroagregados de solo, condição essa que resultou em uma maior CPC e contribuiu para o aumento da estocagem de C no solo. Por fim, nas condições experimentais deste estudo, a manutenção de 10 Mg ha<sup>-1</sup> da palha na superfície do solo é suficiente para manter os estoques de COS. Já remoções acima desse limite ocasionaram perda de COS. No entanto, salienta-se a importância de estudos adicionais que tenham por base avaliar em escala de longo prazo a estocagem e preservação do COS a partir de diferentes taxas de remoção da palha de cana-de-açúcar.

## 7 REFERÊNCIAS

Alam MK, Bell RW, Biswas WK (2019) Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production** 224: 72-87.

Amelung W, Bossio D, Vries W, Kögel-Knabner I, Lehmann J, Amundson R, Bol R, Collins C, Lal R, Leifeld J, Minasny B, Pan G, Paustian K, Rumpel C, Sanderman J, Van-Groeniger JW, Mooney S, Van-Wesemael B, Wander M, Chabbi A (2020) Towards a global-scale soil climate mitigation strategy. **Nature Communications** 11: 5427.

Anderson-Teixeira KJ, Davis SC, Masters MD, Delucia EH (2009) Changes in soil organic carbon under biofuel crops. **Global Change Biology Bioenergy** 1: 75-96.

Aquino GS, Medina CC, Costa DC, Sharab M, Santiago AD (2017) Sugarcane straw management and its impact on production and development of ratoons. **Industrial Crops and Products** 102: 58-64.

Atere CT, Gunina A, Zhu Z, Xiao M, Liu S, Kuzyakov Y, Chen L, Deng Y, Wu J, Ge T (2020) Organic matter stabilization in aggregates and density fractions in paddy soil depending on long-term fertilization: tracing of pathways by  $^{13}\text{C}$  natural abundance. **Soil Biology and Biochemistry** 149: 107931.

Barré P, Quénéa K, Vidal A, Cécillon L, Christensen BT, Kätterer T, Macdonald A, Petit L, Plante AF, Oort FV, Chenu C (2018) Microbial and plant-derived compounds both contribute to persistent soil organic carbon in temperate soils. **Biogeochemistry** 140: 81-92.

Battaglia M, Thomason W, Fike JH, Evanylo GK, Cossel MV, Babur E, Iqbal Y, Diatta AA (2021) The broad impacts of corn stover and wheat straw removal for biofuel production on crop productivity, soil health and greenhouse gas emission: a review. **Bioenergy** 13:45-47.

Batjes NH (1996) Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science** 47: 151-163.

Batjes NH (2014) Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science** 65: 10-21.

Beare MH, Mcneill SJ, Curtin D, Parfitt RL, Jones HS, Dodd MB, Sharp J (2014) Estimating the organic carbon stabilisation capacity and saturation deficit of soils: a New Zealand case study. **Biogeochemistry** 120: 71-87.

Benbi DK, Singh P, Toor AS, Verma G (2016) Manure and fertilizer application effects on aggregate and mineral-associated organic carbon in a loamy soil under rice-wheat system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 47: 1828-1844.

Berhane M, Xu M, Liang Z, Shi J, Wei G, Tian X (2020) Effects of long term straw return on soil organic carbon storage and sequestration rate in North China upland crops: a meta-analysis. **Global Change Biology** 26: 2686-2701.

Bordonal RO, Carvalho JLN, Lal R, Figueiredo EB, Oliveira BG, Scala Jr NL (2018) Sustainability of sugarcane production in Brazil. A Review. **Agronomy for Sustainable Development** 38: 13.

Bordonal RO, Menandro LMS, Barbosa LC, Lal R, Milori DMBP, Kolln OT, Franco HCJ, Carvalho JLN (2018) Sugarcane yield and soil carbon response to straw removal in South-central Brazil. **Geoderma** 328: 79-90.

Briedis C, Sá JCM, Lal R, Tivet F, Ferreira AO, Franchini JC, Schimiguel R, Hartman DC, Santos JZ (2016) Can highly weathered soils under conservation agriculture be C saturated?. **Catena** 147: 638-649.

Briedis C, Baldock J, Sá JCM, Santos JB, McGowan J, Milori DMBP (2020) Organic carbon pools and organic matter chemical composition in response to different land uses in Southern Brazil. **European Journal of Soil Science**. <https://doi.org/10.1111/ejss.12972>

Camargo FAO, Santos GA, Guerra JGM (1999) Macromoléculas e substâncias húmicas. In.: Camargo FAO, Santos FA (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Genesis, p. 29-37.

Cambardella CA, Elliott T (1992) Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal** 56: 777-783.

Cardoso TF, Watanabe MDB, Souza A, Chagas MF, Cavallet O, Morais ER, Nogueira LAH, Leal MRLV, Braunbeck OA, Cortez LAB, Bonomi A (2019) A regional approach to determine economic, environmental and social impacts of different sugarcane productions systems in Brazil. **Biomass and Bioenergy** 120: 9-20.

Carvalho JLN, Otto R, Franco HCJ, Trivelin PCO (2013) Input of sugarcane post-harvest residues into the soil. **Scientia agrícola** 70: 336-344.

Carvalho JLN, Hudiburg TW, Franco HCJ, Delucia EH (2017) Contribution of above and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. **Global Change Biology Bioenergy** 9: 1333-1343.

Carvalho JLN, Nogueirol RC, Menandro LMS, Bordonal RO, Borges CD, Cantarella H, Franco HCJ (2017) Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **Global Change Biology Bioenergy** 9: 1181-1195.

Castellano MJ, Mueller KE, Olk DC, Sawyer JE, Six J (2015) Integrating plants litter quality, soil organic matter stabilization, and the carbono saturation concept. **Global Change Biology** 21: 3200-3209.

Castioni GA, Cherubin MR, Menandro LMS, Sanches GM, Bordonal RO, Barbosa LC, Franco HCJ, Carvalho JLN (2018) Soil physical quality reponse to sugarcane straw removal in Brazil: a multi-approach assessment. **Soil and Tillage Research** 184: 301-309.

Cerri CC, Galdos MV, Maia SMF, Bernoux M, Feigl BJ, Powlson D, Cerri CEP (2011) Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science** 62: 23-28.

Chabbi A, Lehmann J, Ciais P, Loescher HW, Cotrufo MF, Don A, SanClements M, Schipper L, Six J, Smith P, Rumpel C (2017) Aligning agriculture and climate policy. **Nature Climate Change** 7:307-309.

Chellappa J, Sagar KL, Sekaran U, Kumar S (2021) Soil organic carbon, aggregate stability and biochemical activity under tilled and no-tilled agroecosystems. **Journal of Agriculture and Food Research** 4: 100139.

Chenu C, Angers DA, Barré P, Derrien D, Arrouays D, Balesdent J (2019) Increasing organic stocks in agricultural soils: knowledge gaps andd potential innovations. **Soil and Tillage Research** 188: 41-52.

Cherubin MR, Karlen DL, Cerri CEP, Franco ALC, Tormena CA, Davies CA, Cerri CC (2016) Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. **Plos One** 11: e0150860.

Cherubin MR, Oliveira DMS, Feigl BJ, Pimentel LG, Lisboa IP, Gmach MR, Varanda LL, Morais MC, Satiro LS, Popin GV, Paiva SR, Santos AKB, Vasconcelos ALS, Melo PLA, Cerri CEP, Cerri CC (2018) Crop residue harvest for bionergy production and its implications on soil functioning and plant growth: a review. **Scientia Agricola** 75: 255-272.

Cherubin MR, Lisboa IP, Silva AGB, Varanda LL, Bordonal RO, Carvalho JLN, Otto R, Pavinato PS, Soltangheisi A, Cerri CEP (2019) Sugarcane straw removal: implications to soil fertility and fertilizer demand in Brazil. **Bioenergy Research** 12: 888-900.

Cherubin MR, Bordonal RO, Castioni GA, Guimarães EM, Lisboa IP, Moraes LAA, Menandro LMS, Tenelli S, Cerri CEP, Karlen DL, Carvalho JLN (2021) Soil health response to sugarcane straw removal in Brazil. **Industrial Crops and Products** 163: 113315.

Cherubini F, Peters GP, Berntsen T, Stromman AH, Hertwich E (2011) CO<sub>2</sub> emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. **Global Change Biology Bioenergy** 3: 413-426.

Choudhury SG, Srivastava S, Singh R, Chaudhari SK, Sharma DK, Singh SK, Sarkar D (2014) Tillage and residue management effects on soil aggregation, organic carbon dynamics and yield attribute in rice-wheat cropping system under reclaimed sodic soil. **Soil and Tillage Research** 136: 76-83.

Christensen BT (Eds.) (2000) Organic matter in soil: structure, function and turnover. Danish Institute of Agricultural Science, 95p.

Collins HP, Paul EA, Paustian K, Elliott ET (1997) Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In.: Paul EA, Paustian K, Elliott ET, Cole CV (Eds.) **Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America**. Boca Raton, p.51-72.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2020) Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: dezembro de 2020. Brasília: Safra 2019-2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 10 fev. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2021) Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: agosto de 2021. Análise mensal. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/infoagro/analisesdomercadoagropecuarioeextrativista/analisesdomercado/historicomensaldecanadeacucar/item/download/38920\\_33c9e80899a0ce03eb4c49d410e93197](https://www.conab.gov.br/infoagro/analisesdomercadoagropecuarioeextrativista/analisesdomercado/historicomensaldecanadeacucar/item/download/38920_33c9e80899a0ce03eb4c49d410e93197). Acesso em: 16 set. 2021.

Cotching WE (2018) Organic matter in the agricultural soil of Tasmania, Australia – a review. **Geoderma** 312: 170-182.

Cotrufo MF, Wallenstein MD, Boot CM, Deneff K, Paul E (2013) The microbial efficiency-matrix stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter?. **Global change Biology** 19: 988-995.

Cotrufo MF, Soong JL, Horton AJ, Campbell EE, Haddix ML, Wall DH, Parton WJ (2015) Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. **Nature Geoscience** 8: 776-779.

Cotrufo MF, Ranalli MG, Haddix ML, Six J, Lugato E (2019) Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. **Nature Geoscience** 12: 989-994.

Curtin D, Beare MH, Qiu W, Sharp J (2019) Does particulate organic matter fraction meet the criteria for a model soil organic matter pool?. **Pedosphere** 29: 195-203.

Deneff K, Six J, Merckx R, Paustian K (2004) Carbon sequestration in microaggregates of no-tillage soils with different clay mineralogy. **Soil Science Society of American Journal** 68: 1935-1944.

Dick DP, Novotny EH, Dieckow J, Bayer C (2009) Química da matéria orgânica do solo. In.: Melo VF, Alleoni LRF (Eds.) **Química e mineralogia do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-67.

Dieckow J, Bayer C, Conceição PC, Zanatta JA, Neto LM, Milori DBM, Salton JC, Macedo MM, Mielniczuk J, Hernani LC (2009). Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science** 60: 240-249.

Dignac MF, Derrien D, Barré P, Barot S, Cécillon L, Chenu C, Chevallier T, Freschet GT, Garnier P, Guenet B, Hedde M, Klumpp K, Lashermes G, Maron PA, Nunan N, Roumet C, Basile-Doelsh I (2017) Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. **Agronomy for Sustainable Development** 37: 14.

Diniz AL, Ferreira SS, Caten FT, Margarido GRA, Santos JM, Barbosa GVS, Carneiro MS, Souza GM (2019) Genomic resources for energy cane breeding in the post genomics era. **Computational and Structural Biotechnology Journal** 17: 1404-1414.

Duval ME, Galantini JA, Martínez JM, Limbozzi F (2018) Labile soil organic carbon for assessing soil quality: influence of management practices and edaphic conditions. **Catena** 171: 316-326.

Ellert BH, Bettany JR (1995) Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science** 75: 529-538.

Elliott ET (1986) Aggregate structure and carbon, nitrogen, and in phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal** 50: 627:633.

FAO – Food and Agriculture organization of the United Nations (2020) World Food and Agriculture. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 10 fev. 2021.

Fernandez CW, Heckman K, Kolka R, Kennedy PG (2019) Melanin mitigates the accelerated decay of mycorrhizal necromass with peatland warming. **Ecology letters** 22:498-505.

Ferreira AO, Sá JCM, Lal R, Tivet F, Briedis C, Inagaki TM, Gonçalves DRP, Romaniw J (2018) Macroaggregation and soil organic carbon restoration in a highly weathered Brazilian oxisol after two decades under no-till. **Science of The Total Environment** 621: 1559-1567.

Ferreira CR, Neto ECS, Pereira MG, Guedes JN, Rosset JS, Anjos LHC (2020) Dynamic of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil and Tillage Research** 198: 104533.

Filho JSO, Santos OAQ, Rossi CQ, Diniz YVFG, Fagundes HS, Pinto LASR, Pereira W, Pereira MG (2021) Assessing the effects of harvesting with and without burning and vinasse application in sugarcane crops: evaluation of soil fertility and phosphorus pools in different ethanol production systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 307: 107233.

Fortes C, Trivelin PCO, Vitti AC (2012) Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in São Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy** 42: 189-198.

Franco ALC, Cherubin MR, Cerri CEP, Six J, Wall DH, Cerri CC (2020) Linking soil engineers, structural stability, and organic matter allocation to unravell soil carbon responses to land-use change. **Soil Biology and Biochemistry** 150, 107998.

Frous J (2018) Effects of soil macro and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. **Geoderma** 332: 161-172.

Galdos MV, Cantarella H, Hastings A, Hillier J, Smith P (2017) Environmental sustainability aspects of second generation ethanol production from sugarcane. In.: Buckeridge MS, Sousa AP (Eds.) **Advances of basic Science for second generation bioethanol from sugarcane**. Springer international Publishing, p. 177-195.

Gmach MR, Scarpore FV, Cherubin MR, Lisboa IP, Santos AKB, Cerri CEP, Cerri CC (2019) Sugarcane straw removal effects on soil water storage and drainage in southeastern Brazil. **Journal of Soil and Water Conservation** 74: 466-476.

Goldemberg J, Mello FFC, Cerri CEP, Davies CA, Cerri CC (2014) Meeting the global demand for biofuels in 2021 through sustainable land use change policy. **Energy Policy** 69: 14-18.

Gonzaga LC, Zotelli LC, Castro SGQ, Oliveira BG, Bordonal RO, Cantarella H, Carvalho JLN (2019) Implications of sugarcane straw removal for soil greenhouse gas emissions in São Paulo state, Brazil. **Bioenergy Research** 12: 843-857.

Gregorich EG, Ellert BH (1993) Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In.: Carter MR, Gregorich EG (Eds.) **Soil sampling and methods analysis**. Canadian Society of Soil Science, p. 397-407.

Gregorich EG, Beare MH, Mckim UF, Skjemstad (2006) Chemical and biology characteristics of physically uncomplexed organic matter. **Soil Science Society of America Journal** 70: 975-985.

Guimarães MF, Oliveira JF, Telles TS, Machado W, Barbosa GMC, Filho JT (2018) Soil aggregation and carbon stabilization in burn and no-burn sugarcane management systems. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences** 90: 2459-2467.

Haddix ML, Paul EA, Cotrufo MF (2016) Dual, differential isotope labeling shows the preferential movement of labile plant constituents into mineral-bonded soil organic matter. **Global Change Biology** 22: 2301-2312.

Haddix ML, Gregorich EG, Helgason BL, Janzen H, Ellert BH, Cotrufo MF (2020) Climate, carbon content, and soil texture control the Independent formation and persistence of particulate and mineral-associated organic matter in soil. **Geoderma** 363: 114160.

Hoffland E, Kuyper TW, Comans RNJ, Creamer RE (2020) Eco-funcionalidade of organic matter in soils. **Plant and Soil** 455: 1-22.

Hok L, Sá JCM, Boulakia S, Reyes M, Ferreira AO, Tivet FE, Saab S, Auccaise R, Inagaki TM, Schimiguel R, Ferreira LA, Briedis C, Canalli LBS, Kong R, Leng V (2021) Dynamics of soil aggregated-associated organic carbon based on diversity and high biomass-C input under conservation agriculture in a savana ecosystem in Cambodia. **Catena** 198: 105065.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) Special report on climate change, desertification, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SR2). Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/sr2\\_background\\_report\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/sr2_background_report_final.pdf). Acesso em: 28 mai. 2021.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2021) The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernamental panel on climate change. Cambridge Univ. Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/> Acesso em: 04 nov. 2021.

Jenny H (Eds.) (1941) Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. New York: DOVER PUBLICATIONS, 281p.

Juncal NP, Kaal J, Moreira JCF, Cortizas AM, Lambais MR, Otero XL, Mateo MA (2021) Cover loss in a seagrass *Posidonia oceânica* meadow accelerates soil organic matter turnover and alters soil prokaryotic communities. **Organic Geochemistry** 151: 104140.

Kaiser K, Kalbitz K (2012) Cycling downwards-dissolved organic matter in soils. **Soil Biology and Biochemistry** 52: 29-32.

Kicklighter DW, Melillo JM, Monier E, Sokolov AP, Zhuang Q (2019) Future nitrogen availability and its effect on carbon sequestration in Northern Eurasia. **Nature Communications** 10: 3024.

Kleber M, Eusterhues K, Keiluweit M, Mikutta C, Mikutta R, Nico PS (2015) Mineral organic associations: formation, properties, and relevance in soil environments. **Advances in Agronomy** 130: 1-140.

Kleber M, Lehmann J (2019) Humic substances extracted by alkali are invalid proxies for the dynamics and functions of organic matter in terrestrial and aquatic ecosystems. **Journal of Environmental Quality** 48: 207-216.

Knabner IK, Rumpel C (2018) Chapter one – advances in molecular approaches for understanding soil organic matter composition, origin, and turnover: a historical overview. **Advances in Agronomy** 149: 1-48.

Kochany EL (2018) Effect of climate change on humic substances and associated impacts on the quality of surface water and groundwater: a review. **Science of The Total Environment** 640-641: 1548-1565.

Kögel-Knabner I, Guggenberger G, Kleber M, Kandeler E, Kalbitz K, Scheu S, Eusterhues K, Leinweber P (2008) Organo-mineral associations in temperate soils: integrating biology, mineralogy, and organic matter chemistry. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 171: 61-82.

Kononova MM (1984) Current problems in the study of organic matter accumulation in soils under anaerobiosis. **Soil Science** 137: 419-427.

Kopttike PM, Dalal RC, Hoeschen C, Li C, Menzies NW, Mueller CW (2020) Soil organic matter is stabilized by mineral-organo associations through two Key processes: the role of the carbon to nitrogen ratio. **Geoderma** 357: 113974.

Kravchenko AN, Guber AK (2017) Soil pores and their contributions to soil carbon processes. **Geoderma** 287: 31-39.

Lal R (2016) Soil health and carbon management. **Food and Energy Security** 5: 212-222.

Lal R (2018) Digging deeper: a holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology** 24: 3285-3301.

Lavallee JM, Soong JL, Cotrufo MF (2020) Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. **Global Change Biology** 26: 261-273.

Leal MRLV, Galdos MV, Scarpore FV, Seabra JEA, Walter A, Oliveira COF (2013) Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy** 53: 11-19.

Ledo A, Smith P, Zerihun A, Whitaker J, Vicente JLV, Qin Z, McNamara NP, Zinn YL, Llorente M, Liebig M, Kuhnert M, Dondidni M, Don A, Diaz-Pines E, Datta A, Bakka H, Aguilera E, Hillier J (2020) Changes in soil organic carbon under prennial crops. **Global Change Biology** 26: 4158-4168.

Lehmann J, Kleber M (2015) The contentious nature of soil organic matter. **Nature** 528: 60-68.

Lekkerkerk L, Lundkvist H, Agren GI, Ekbohm G, Bosatta E (1990) Decomposition of heterogeneous substrates; na experimental investigation of a hypothesys on substrate and microbial properties. **Soil Biology and Biochemistry** 22: 161-167.

Liu Y, Hu C, Hu W, Wang L, Li Z, Pan J, Chen F (2018) Stable isotope fractionation provides information on carbon dynamics in soil aggregates subjected to different long-term fertilization practices. **Soil and Tillage Research** 177: 54-60.

Lugato E, Lavalle JM, Haddix ML, Panagos P, Cotrufo MF (2021) Different climate sensitivity of particulate and mineral-associated soil organic matter. **Nature Geoscience** 14: 295-300.

Luo Z, Feng W, Luo Y, Baldock J, Wang E (2017) Soil organic carbon dynamics jointly controlled by climate, carbon inputs, soil properties and soil carbon fractions. **Global Change Biology** 23: 4430-4439.

Lützow MV, Kögel-knabner I, Ekschmitt K, Matzner E, Guggenberger G, Marshner B, Flessa H (2006) Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. **European Journal of Soil Science** 57: 426-445.

Lützwow MV, Kögel-knabner I, Ekschmitt K, Flessa H, Guggenberger G, Matzner E, Marshner B (2007) SOM fraction methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology and Biochemistry** 39: 2183-2207.

Lützwow MV, Kögel-knabner I, Ludwig B, Matzner E, Flessa H, Ekschmitt K, Guggenberger G, Marshner B, kalbitz K (2008) Stabilizations mechanisms of organic matter in four temperate soils: development and application of a conceptual model. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 171: 111-124.

Lützwow MV, Kögel-knabner I (2010) Response to the concept paper: 'what is recalcitrante soil organic matter?' by markus kleber. **Environmental Chemistry** 7: 333-335.

Matoso ES, Avancini AR, Maciel KFK, Alves MC, Simon EDT, Silva MT, Dias NL, Silva DAS (2020) Influência do uso de um mix de bactérias diaztróficas na biometria e no conteúdo de clorofina de plantas de cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Development** 6: 7261-7274.

Melo PLA, Cherubin MR, Gomes TCA, Lisboa IP, Satiro LS, Cerri CEP, Neto MS (2020) Straw removal effects on sugarcane root system and stalk yield. **Agronomy** 10: 1048.

Menandro LMS, Cantarella H, Franco HCJ, Kölln OT, Pimenta MTB, Sanches GM, Rabelo SC, Carvalho JLN (2017) Comprehensive assessment of sugarcane straw: implications for biomass and bioenergy production. **Biofuels Bioproducts & Biorefining** 11: 488-504.

Menandro LMS, Moraes LO, Borges CD, Cherubin MR, Castioni GA, Carvalho JLN (2019) Soil macrofauna response to sugarcane straw removal for bioenergy production. **Bioenergy Research** 12: 944-957.

Mitchell E, Scheer C, Rowlings D, Cotrufo MF, Conant RT, Friedl J, Grace P (2020) trade-off between 'new' SOC stabilisation from above-ground inputs and priming of native C as determined by soil type and residue placement. **Biogeochemistry** 149: 221-236.

MME – Ministério de Minas e Energia (2017) RenovaBio. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>. Acesso em: 27 mai. 2021.

Moitinho MR, Ferraudo AS, Panosso AR, Bicalho ES, Teixeira DB, Barbosa MA, Tsai SM, Borges BMF, Cannavan FS, Souza JAM, Scala Jr N L (2021) Effects of burned and unburned sugarcane harvesting systems on soil CO<sub>2</sub> emission and soil physical, chemical, and microbiological attributes. **Catena** 196: 104903.

Morais MC, Siqueira-neto M, Guerra HP, Satiro LS, Soltangheisi A, Cerri CEP, Feigl BJ, Cherubin MR (2020) Trade-offs between sugarcane straw removal and soil organic matter in Brazil. **Sustainability** 12: 9363.

Moreira BRA, Viana RS, Figueiredo PAM, Lisboa LAM, Miasaki CT, Magalhães AC, Ramos SB, Viana CRA, Trindade VDR, May A (2020) Glyphosate plus carboxylic compounds boost activity of free radical-scavenging enzymes in sugarcane. **Agriculture** 10: 1-12.

Ndzelu BS, Dou S, Zhang X (2020) Corn straw return can increase labile soil organic carbon fractions and improve water-stable aggregates in haplic cambisol. **Journal of Arid Land** 12: 1018-1030.

Oliveira DMS, Williams S, Cerri CEP, Paustian K (2017) Predicting soil C changes over sugarcane expansion in Brazil using the Daycent model. **Global Change Biology Bioenergy** 9: 1436-1446.

Oliveira DMS, Cherubin MR, Franco ALC, Santos AS, Gelain JG, Dias NMS, Diniz TR, Almeida AN, Feigl BJ, Davies CA, Paustian K, Karlen DL, Smith P, Cerri CC, Cerri CEP (2019) Is the expansion of sugarcane over pasturelands a sustainable strategy for Brazil's bioenergy industry?. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 102: 346-355.

Or D, Keller T, Schlesinger WH (2021) Natural and managed soil structure: on the fragile scaffolding for soil functioning. **Soil and Tillage Research** 208: 104912.

Ovsepyan LA, Kuganova IN, Gerenyu VOL, Rusakov AV, Kussyakov YV (2020) Changes in fractional composition of organic matter in the soils of the forest-steppe zone during their postagrogenic evolution. **Eurasian Soil Science** 53: 50-61.

Paul EA (2016) The nature and dynamics of soil organic matter: plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. **Soil Biology and Biochemistry** 98: 109-126.

Paustian K, Lehmann J, Ogle S, Reay D, Robertson GP, Smith P (2016) Climate-smart soils. **Nature** 532: 49-57.

Paustian K, Collier S, Baldock J, Burgess R, Creque J, Delonge M, Dungait J, Ellert B, Frank S, Goddard T, Govaerts B, Grundy M, Henning M, Izaurrealde RC, Madaras M, Mcconkey B, Porzig E, Rice C, Searle R, Seavy N, Skalsky R, Mulhern W, Jahn M (2019) Quantifying carbono for agricultural soil management: from the current status toward a global soil information system. **Carbon Management** 10: 567-587.

Payá J, Monzó J, Borrachero MV, Tashima MM, Soriano L (2018) 17- Bagasse ash. In.: Siddique R, Cachim P (Eds.) **Waste and supplementary cementitious materials in concrete**. Woodhead Publishing, p. 559-598.

Piccolo A (2002) The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil Science. **Advances in Agronomy** 75: 57-134.

Poeplau C, Don A, Six J, Kaiser M, Benbi D, Chenu C, Cotrufo MF, Derrien D, Gioacchini P, Grand S, Gregorich E, Griepentrog M, Gunina A, Haddix M, Kuzyakov Y, Kühnel A, Mcdonald LM, Soong J, Nieder R (2018) Isolating organic carbon fractions with varying turnover rates in temperate agricultural soils – a comprehensive method comparison. **Soil Biology and Biochemistry** 125:10-26.

Poffenberger HJ, Olk DC, Cambardella C, Kersey J, Liebman M, Mallarino A, Six J, Castellano MJ (2020) Whole-profile soil organic matter content, compostion, and stability under cropping systems that differ in belowground inputs. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 291: 106810.

Popin GV, Santos AKB, Melo PLA, Cherubin MR, Cerri CEP, Siqueira-Neto M (2020) Importance of sugarcane straw maintenance to prevent soil organic matter depletion in a Nitisol in the central-southern region of Brazil. **Soil Research** 59: 119–129.

Pries CEH, Bird JA, Castanha C, Hatton PJ, Torn MS (2017) Long term decomposition: the influence of litter type and soil horizon on retention of plant carbon and nitrogen in soils. **Biogeochemistry** 134: 5-16.

R Core Team (2020) R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.r-project.org/>

Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 284p.

Ramírez PB, Calderón FJ, Haddix M, Lugato E, Cotrufo MF (2021) Using diffuse reflectance spectroscopy as a high throughput method for quantifying soil C and N and their distribution in particulate and mineral-associated organic matter fractions. **Frontiers in Environmental Sciences** 9: 634472.

Rasmussen C, Heckman K, Wieder WR, Keiluweit M, Lawrence CR, Berhe AA, Blankinship JC, Crow SE, Druhan JL, Pries CEH, Spiotta EM, Plante AF, Schädel C, Schimel JP, Sierra CA, Thompson A, Wagai R (2018) Beyond clay: towards a improved set of variables for predicting soil organic matter content. **Biogeochemistry** 137: 297-306.

Riggers C, Poeplau C, Don A, Fröhlich C, Dechow R (2021) How much carbon input is required to preserve or increase projected soil organic carbon stocks in German croplands under climate change?. **Plant and Soil**. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04806-8>

Rillig MC, Cadwell BA, Wösten HAB, Sollins P (2007) Role of proteins in soil carbon and nitrogen storage: controls on persistence. **Biogeochemistry** 85: 25-44.

Robertson AF, Thorburn PJ (2007) Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research** 45: 13-23.

Robertson AD, Paustian K, Ogle S, Wallenstein MD, Lugato E, Cotrufo MF (2019) Unifying soil organic matter formation and persistence frameworks: the MEMS model, **Biogeoscience** 16: 1225-1248.

Roscoe R, Machado PLOA (Eds.) (2002) Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados: EMBRAPA, 86p.

Rolim GS, Aparecido LEO (2016) Camargo, Köppen and Thornthwaite climate classification systems in defining climatic regions of the state of São Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology** 36: 636–643.

Sales CRG, Ribeiro RV, Hayashi AH, Marchiori PER, Silva KI, Martins MO, Silveira JAG, Silveira NM, Machado EC (2018) Flexibility of C4 decarboxylation and

photosynthetic plasticity in sugarcane plants under shading. **Environmental and Experimental Botany** 149: 34-42.

Samson ME, Chantigny MH, Vanasse A, Aubry SM, Angers DA (2020) Coarse mineral-associated organic matter is a pivotal fractions for SOM formation and is sensitive to the quality of organic inputs. **Soil Biology and Biochemistry** 149: 107935.

Sanderman J, Maddern T, Baldock J (2014) Similar composition but differential stability of mineral retained organic matter across four classes of clay minerals. **Biogeochemistry** 121: 409-424.

Sanderman J, Hengl T, Fiske GJ (2017) Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 114: 9575-9580.

Santos HG, Jakomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araujo-Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF (5 Eds.) (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa, 350p.

São Paulo (2002) Lei Estadual nº11.241/2002: Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha de cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html>. Acesso em: 28 mai. 2021.

Sarkar B, Singh M, Mandal S, Churchman GJ, Bolan NS (2018) Chapter 3 – Clay minerals – organic matter interactions in relation to carbon stabilization in soils. In.: Garcia C, Nannipieri P, Hernandez T (Eds.) **The future of soil carbon**. Academic press, p. 71-86.

Satiro LS, Cherubin MR, Safanelli JL, Lisboa IP, Junior PRR, Cerri CEP, Cerri CC (2017) Sugarcane straw removal effects on utisols and oxisols in South-central Brazil. **Geoderma Regional** 11: 86-95.

Sayer EJ, Baxendale C, Birkett AJ, Bréchet LM, Castro B, Byrne DK, Sangil LL, Rodtassana C (2020) Altered litter inputs modify carbon and nitrogen storage in soil organic matter in a lowland tropical forest. **Biogeochemistry**. <https://doi.org/10.1007/s10533-020-00747-7>

Scharlemann JPW, Tanner EVJ, Hiederer R, Kapos V (2014) Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management** 5: 81-91.

Schlesinger W, Amundson R (2019) Managing for soil carbon sequestration: Let's get realistic. **Global Change Biology** 25: 386-389.

Sekaran U, Sagar KL, Kumar S (2021) Soil aggregates , aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems. **Soil and Tillage Research** 208: 104885.

Silva IR, Mendonça ES (2007) Matéria orgânica do solo. In.: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL (Eds.) **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de ciência do Solo, p. 275-374.

Silva AGB, Lisboa IP, Cherubin MR, Cerri CEP (2019) How much sugarcane straw is needed for covering the soil?. **Bioenergy Research** 12: 858-864.

Silva PA, Lima BH, Scala Jr NL, Peruzzi NJ, Chavarette FB, Panosso AR (2020) Spatial variation of soil carbon stability in sugarcane crops, central-south of Brazil. **Soil and Tillage Research** 202: 104667.

Silva WKM, Neves TI, Silva CS, Carvalho M, Abrahão R (2020) Sustainable enhancement of sugarcane fertilization for energy purposes in hot climates. **Renewable Energy** 159: 547-552.

Silva MF, Fernandes MMH, Fernandes C, Silva AMR, Ferraudo AS, Coelho AP (2021) Contribution of tillage systems and crop succession to soil structuring. **Soil and Tillage Research** 209: 104924.

Simões MS, Ferreira SS, Grandis A, Rencoret J, Persson S, Floh ELS, Ferraz A, Río JCD, Buckeridge MS, Cesarino I (2020) Differentiation of tracheary elements in sugarcane suspension cells involves changes in secondary wall deposition and extensive transcriptional reprogramming. **Frontiers in Plant Science** 18: 617020.

Six J, Elliott ET, Paustian K (2000) Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry** 32: 2099-2103.

Six J, Conant RT, Paustian K (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturations in soils. **Plant and Soil** 241: 155-176.

Six J, Bossuyt H, Degryze S, Denef K (2004) A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research** 79: 7-31.

Sohi SP, Mahieu N, Arah JRM, Powlson DS, Madari B, Gaunt JL (2001) A procedure for isolating soil organic matter fraction suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal** 65: 1121-1168.

Sokol NW, Bradford MA (2019) Microbial formation of stable soil carbon is more efficient from belowground than aboveground input. **Nature Geoscience** 12: 46-53.

Sokol NW, Sanderman J, Bradford MA (2019) Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: integrating the role of plant carbon source, chemistry, and point of entry. **Global Change Biology** 25: 12-24.

Sollins P, Homann P, Caldwell BA (1996) Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma** 74: 65-105.

Sollins P, Kramer MG, Swanston C, Lajtha K, Filley T, Aufdenkampe AK, Wagai R, Bowden RD (2009) Sequential density fractionation across soils of a contrasting mineralogy: evidence for both microbial and mineral controlled soil organic matter stabilization. **Biogeochemistry** 96: 209-231.

Song KE, Yang J, Xue Y, Lv W, Zheng X, Pan J (2016) Influence of tillage practices and straw incorporation on soil aggregates, organic carbon, and crop yields in a rice-wheat rotation system. **Scientific Reports** 6: 36602.

Song KE, Zheng X, Lv W, Qin Q, Sun L, Zhang H, Xue Y (2019) Effects of tillage and straw return on water-stable aggregates, carbon stabilization and crop yield in a estuarine alluvial soil. **Scientific Reports** 9: 4586.

SSSA – Soil Science Society of America (2019) Glossary of soil science terms. Disponível em: <https://www.soils.org/publications/soils-glossary/>. Acesso em: 12 fev. 2021.

Stevenson FJ (Eds.) (1994) Humus chemistry: genesis, composition, reactions. New York: JOHN WILEY & SONS, 496p.

Su Y, Yu M, Xi H, Lv J, Ma Z, Kou C, Shen A (2020) Soil microbial Community shifts with long-term of different straw return in wheat-corn rotation system. **Scientific Reports** 10: 6360.

Swift RS (1996) Organic matter characterization. In.: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (Eds.) **Methods of soil analysis**. Ssa book series, p. 1011-1069.

Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG (3 Eds.) (2017). Manual de métodos de análise de solos. Embrapa, 573p.

Tenelli S, Bordonal RO, Barbosa LC, Carvalho JLN (2019) Can reduced tillage sustain sugarcane yield and soil carbon if straw is removed?. **Bionergy Research** 12:764-777.

Tenelli S, Bordonal RO, Cherubin MR, Cerri CEP, Carvalho JLN (2021) Multilocation changes in soil carbon stocks from sugarcane straw removal for bioenergy production in brazil. **Global Change Biology Bioenergy** 13: 1099-1111.

Thorburn PJ, Meier EA, Collins K, Robertson FA (2012) Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific. **Soil and Tillage Research** 120: 99-111.

Thornthwaite CW (1948) An Approach toward a Rational Classification of Climate. **Geographical Review** 38: 55–94.

Tisdall JM, Oades JM (1982) Organic matter and water-stable aggregates in soils. **European Journal of Soil Science** 33: 141-163.

Tivet F, Sá JCM, Lal R, Briedis C, Borszowskei PR, Santos JB, Farias A, Eurich G, Hartman DC, Junior NM, Bouzinac S, Séguy L (2013) Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research** 126: 203-218.

Tokarski D, Wiesmeier M, Weissmannová DH, Kalbitz K, Demyan MC, Kuceriki J, Siewert C (2020) Linking thermogravimetric data with soil organic carbon fractions. **Geoderma** 362: 114124.

Totsche KU, Amelung W, Gerzabek MH, Guggenberger G, Klumpp E, Knief C, Lendhorff E, Mikutta R, Peth S, Prechtel A, Ray N, Kögel-Knabner I (2018) Microaggregates in soil. **Journal of Plant nutrition and Soil Science** 181: 104-136.

Wang X, Wang C, Cotrufo MF, Sun L, Jiang P, Liu Z, Bai E (2020) Elevated temperature increases the accumulation of microbial necromass nitrogen in soil via increasing microbial turnover. **Global Change Biology** 26: 5277-5289.

Wiesmeier M, Urbanski L, Hobbey E, Lang B, Lützow MV, Marin-Spiotta E, Wesemael BV, Rabot E, Ließ M, Garcia-Franco N, Wollschläger U, Vogel HJ, Kögel-Knabner I (2019) Soil organic carbon storage as a Key function of soils – a review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma** 333: 149-162.

Williams EK, Fogel ML, Berhe AA, Plante AF (2018) Distinct bioenergetic signatures in particulate versus mineral-associated soil organic matter. **Geoderma** 330: 107-116.

Xu H, Sieverding H, Kwon H, Clay D, Stewart C, Johnson JM, Qin Z, Karlen DL, Wang M (2019) A global meta-analysis of soil organic carbon response to corn stover removal. **Global Change Biology Bioenergy** 11: 1215-1233.

Yin T, Zhao CX, Yan CR, Du ZL, He WK (2018) inter-annual changes in the aggregate-size distribution and associated carbon of soil and their effects on the straw-derived carbon incorporation under long-term no-tillage. **Journal of Integrative Agriculture** 17: 2546-2557.

Yu L, Luo S, Xu X, Gou Y, Wang J (2020) The soil carbon cycle determined by geochip 5.0 in sugarcane and soybean intercropping systems with reduced nitrogen input in South China. **Applied Soil Ecology** 155: 103653.

Zhang L, Chen X, Xu Y, Jin M, Ye X, Gao H, Chu W, Mao J, Thompson ML (2020) Soil labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after 10 years of continuous fertilization and wheat residue incorporation. **Scientific Reports** 10: 11318.

Zhang Y, Lavallee JM, Robertson AD, Even R, Ogle SM, Paustian K, Cotrufo MF (2021) Simulating measurable ecosystem carbon and nitrogen dynamics with the mechanistically defined MEMS 2.0 model. **Biogeoscience** 18: 3147-3171.

Zhao D, Zhu K, Momotaz A, Gao X (2020) Sugarcane plant growth and physiological responses to soil salinity during tillering and stalk elongation. **Agriculture** 10: 608.

Zheng H, Liu W, Zheng J, Luo Y, Li R, Wang H, Qi H (2018) Effect of long-term tillage on soil aggregates and aggregate-associated carbon in black soil of Northeast China. **Plos One** 13: e0199523.