

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MATHEUS TRENTIN**

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA  
COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS  
DE CULTIVO**

**PATO BRANCO**

**2022**

**MATHEUS TRENTIN**

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA  
COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS  
DE CULTIVO**

**Organic matter fractions and microbial biomass carbon as  
indicators of soil quality under different cropping systems**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Agronomia do Curso de  
Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR).

Orientador: Luís César Cassol, Prof. Dr.

**PATO BRANCO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MATHEUS TRENTIN**

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA  
COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS  
DE CULTIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Agronomia do Curso de Agronomia  
do *Campus* Pato Branco da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23/novembro/2022

---

Luís César Cassol  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Nilvania Aparecida de Mello  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Cassiano Conte  
Graduação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PATO BRANCO**

**2022**

Dedico este trabalho a minha família, que  
sempre esteve a meu lado...

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à Deus, pelo dom da vida a qual não tem valor mensurável.

Agradeço imensamente aos meus pais, Nylson Luiz Trentin (in memoriam) e Luciana B. Barbieri Trentin, que se fizeram presentes em todas as etapas de minha vida, apoiando, dando forças e sendo os maiores exemplos de perseverança, amor, dedicação e honestidade, e sempre me ensinaram que o trabalho duro compensa. Agradeço também aos meus avós, meu irmão e aos demais familiares, para os quais tenho imenso carinho e gratidão, e a minha namorada, a qual foi muito importante como apoio e auxílio nos momentos mais difíceis. Vocês estão sempre comigo.

Nestas palavras, gostaria de expressar minha gratidão ao meu orientador, Professor Luís César Cassol, que desempenhou papel fundamental para meu crescimento como acadêmico, oportunizando grandes momentos de conhecimento e reflexões.

Agradeço ao Laboratório de Solos, na pessoa da Técnica Andressa Pilonetto, que esteve sempre auxiliando nas atividades desenvolvidas e ao LABSOLOS pelas análises efetuadas para esse trabalho.

Também agradeço aos demais professores do curso, meu muito obrigado por todos os ensinamentos e oportunidades de discussão, que com certeza foram importantes para o crescimento acadêmico e profissional. Também ao IDR-PR, na pessoa do agrônomo Vilmar Grando, pela colaboração na indicação do local para realização deste trabalho.

Por fim, agradeço aos meus amigos da turma de agronomia, que participaram desta caminhada ao longo de 5 anos, onde dividimos alegrias, angústias, gargalhadas e muitas coletas de solo. O meu muito obrigado!

## RESUMO

A crescente preocupação com a qualidade ambiental, aliada a necessidade de produção de alimentos em escala e qualidade, remete a questionamentos sobre a sustentabilidade dos sistemas de produção. A qualidade dos solos é um fator limitante à produção de alimentos e promoção da saúde dos animais e humana, e é influenciada pelos manejos adotados pelo homem, que tem a agricultura como uma das principais atividades dependentes do solo. O advento do plantio direto, associado aos sistemas integrados, se constituem em avanços para a agricultura e a conservação dos solos, no entanto, os problemas voltam a aparecer, pelo desrespeito as boas práticas agrícolas e o não atendimento das premissas que caracterizam esses sistemas como conservacionistas. Desta forma, análises das frações da matéria orgânica e também análises biológicas, se apresentam como ferramentas eficientes para estimar a qualidade do solo que é refletida pela forma de condução dos sistemas agrícolas e agropecuários. O estudo ocorreu em uma área agrícola no município de Pato Branco, Sudoeste do Paraná, sendo avaliados quatro sistemas de uso agrícola: sistema plantio direto (SPD), silagem (S), silagem+subsolagem (SS), integração lavoura-pecuária (ILP), além da mata nativa (MN) como testemunha. Foram levantadas informações do histórico das áreas e avaliados os teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COP) e associado a minerais (COam), ainda o da biomassa microbiana (CBM) como uma análise biológica. A área de mata apresentou os melhores valores para todas as análises. Dos tratamentos, a área em SS apresentou maiores níveis de COT, COam e CBM, indicando que as frequentes subsolagens não afetaram estes parâmetros. O SPD foi o sistema que apresentou maior acúmulo de COP, expressando a importância da rotação de culturas e a presença de palha para aumento dos níveis de C. A área em ILP obteve os menores valores para COP, possivelmente em função de falhas no manejo da pastagem caracterizadas por desajustes na carga animal.

**Palavras-chave:** Sistema plantio direto; Agricultura sustentável; Solos – Manejo; Indicadores biológicos.

## ABSTRACT

The growing concern with environmental quality, coupled with the need for food production in scale and quality, raises questions about the sustainability of production systems. Soil quality is a limiting factor for food production and the promotion of animal and human health, and is influenced by the management adopted by man, with agriculture as one of the main soil-dependent activities. The advent of no-till farming, associated with integrated systems, constitute advances for agriculture and soil conservation; however, problems reappear due to the disrespect for good agricultural practices and the non-compliance with the premises that characterize these systems as conservationist. In this way, analyses of the fractions of organic matter and also biological analyses, present themselves as efficient tools for estimating the quality of the soil that is reflected by the way agricultural and farming systems are conducted. The study was conducted in an agricultural area in the municipality of Pato Branco, southwest of Paraná, and four agricultural use systems were evaluated: no-tillage system (NTS), silage (S), silage+subsoiling (SS), crop-livestock integration (CLI), and native forest (NF) as a witness. Information on the history of the areas was collected and the total organic carbon (TOC), particulate (POC) and minerals associated (MAOC) contents were evaluated, as well as the microbial biomass (MBC) as a biological analysis. The forest area presented the best values for all analyses. Of the treatments, the area in SS presented higher levels of TOC, MAOC and MBC, indicating that the frequent subsoiling did not affect these parameters. The NTS was the system that presented the highest accumulation of POC, expressing the importance of crop rotation and the presence of straw to increase the levels of C. The area in CLI obtained the lowest values for POC, possibly due to failures in the management of pasture characterized by mismatches in animal load.

**Keywords:** No-tillage system; Sustainable agriculture; Soils – Management; Biological indicators

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Teores de carbono orgânico total (COT), na camada de 0 – 10 centímetros de solo, sob diferentes sistemas de cultivo.....	30
---	----



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição do histórico das áreas de estudo.....	25
Tabela 2 – Teores de carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado a minerais (COam) e Labilidade, na camada de 0 – 10 centímetros de solo, sob diferentes sistemas de cultivo.....	31
Tabela 3 – Teores de carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), nas camadas 0-10,0 cm e 10,0-20,0 cm de solo, sob diferentes sistemas de cultivo.....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C/N	Relação Carbono Nitrogênio
CBM	Carbono da biomassa microbiana
CHCl <sub>3</sub>	Clorofórmio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>am</sub>	Carbono orgânico associado a minerais
COP	Carbono orgânico particulado
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade de troca de cátions
g	Gramas
g dm <sup>-3</sup>	Gramas por decímetro cúbico
g L <sup>-1</sup>	Gramas por litro
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácido fosfórico
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	Sulfato ferroso amoniacal
IDR-PR	Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná
ILP	Integração lavoura-pecuária
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Dicromato de potássio
KCl	Cloreto de potássio
Kg	Quilograma
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de potássio
L	Litro
mg Kg <sup>-1</sup>	Miligramas por quilo
mL	Mililitro
MN	Mata nativa
mol L <sup>-1</sup>	Mol por litro
MOS	Matéria orgânica do solo
NPK	Adubo formulado: nitrogênio, fósforo e potássio
PD	Plantio direto
rpm	Rotações por minuto
S	Silagem
SIPA	Sistema integrado de produção agropecuária
SPD	Sistema plantio direto
SS	Silagem+subsolagem
t ha <sup>-1</sup>	Toneladas por hectare

## LISTA DE SÍMBOLOS

K	Potássio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
%	Porcentagem
Al	Alumínio
°	Graus
°C	Graus Celcius
C	Carbono
N	Nitrogênio
μm	Micrometro
<	Menor

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Geral.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>As possíveis falhas no sistema plantio direto.....</b>	<b>15</b>
3.1.1	Sistemas de cultivo do Sudoeste do Paraná.....	17
<b>3.2</b>	<b>A matéria orgânica como indicador de qualidade do solo.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Fracionamento físico da matéria orgânica.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4</b>	<b>Indicadores biológicos.....</b>	<b>22</b>
3.4.1	Carbono da biomassa microbiana.....	23
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da área.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Procedimentos experimentais.....</b>	<b>24</b>
4.2.1	Diagnóstico das áreas de estudo.....	24
4.2.2	Amostragem.....	26
4.2.3	Avaliações realizadas.....	26
4.2.3.1	Carbono da biomassa microbiana.....	26
4.2.3.2	Fracionamento físico da matéria orgânica.....	28
<b>4.3</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Carbono orgânico total e fracionamento físico da matéria orgânica.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2</b>	<b>Carbono da biomassa microbiana.....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na última década do século XX, em paralelo com a ampliação das áreas sob sistema plantio direto, a discussão sobre qualidade do solo ganhou importância no meio científico, passando a ser tema de diversas pesquisas nas ciências agrárias, visto que o solo é um corpo natural de importância socioeconômica e ambiental.

O aumento populacional e a consequente demanda por alimentos em quantidade e qualidade, produzidos de forma sustentável, fazem do solo um componente fundamental nos agroecossistemas. Porém, no passado, os sistemas de cultivo utilizados intensivamente e em monocultivo, sem o adequado controle da erosão, causaram degradações de ordem química, física e biológica, o que refletiu no meio ambiente, contaminando os recursos naturais, além de inviabilizar a atividade agrícola em alguns casos (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Embora os sistemas tenham evoluído positivamente, especialmente pela consolidação do sistema plantio direto e o crescente aumento das áreas de integração lavoura-pecuária, ainda se visualizam alguns problemas que comprometem a qualidade dos solos. Dentre os indicadores de qualidade do solo, possivelmente a matéria orgânica seja o mais utilizado, pela sua interação com os fatores químicos, físicos e biológicos, influenciando diretamente em sua saúde (termo mais recentemente utilizado) e, por consequência, na produtividade das culturas. Apesar de representar uma pequena fração constituinte do solo (~ 5%), seu papel é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, por ser responsável pela estruturação do solo e reserva de água devido ao tamanho de suas partículas, além de que em solos tropicais e subtropicais, esta, responde por boa parte das cargas negativas do solo que retém cátions como  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , elementos essenciais para o desenvolvimento de plantas, bem como é um reservatório de carbono, proveniente da atmosfera, fixado pelas plantas através da fotossíntese, o que favorece a atividade microbiana dos solos, fornecendo inúmeros benefícios e serviços ecossistêmicos.

O estado do Paraná é pioneiro no sistema plantio direto, o qual foi responsável por um incremento na produtividade das culturas, diminuição da perda de solo por erosão, além de possibilitar, em alguns lugares do Brasil, a realização de três safras durante o ano agrícola. Entretanto, o revolvimento exclusivo na linha de

plantio, um dos preceitos do sistema, não é respeitado em alguns casos, sendo realizado o cultivo mínimo na implantação das pastagens de inverno, e ocasionalmente é feito o uso de subsoladores e/ou escarificadores. Outro pré-requisito fundamental, mas que também vem sendo negligenciado, especialmente por questões econômicas, é a prática da rotação de culturas, em que se observa uma expansão constante dos cultivos de soja e o pouco uso de plantas de cobertura que são fundamentais, não apenas para proteger o solo, mas também para melhorar as condições físicas, químicas e biológicas. Nesse contexto, se observa que os solos apresentam baixa cobertura vegetal com resíduos e o resultado é a perda de qualidade do sistema, com reflexos diretos sobre a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo.

Na região sudoeste do Paraná, esta tem uma atuação forte no meio agrícola, representada em grande parte pela mão de obra familiar. Dentre as diversas atividades que compõem a renda das unidades de produção, a pecuária leiteira se destaca na região, sendo considerada a maior bacia leiteira do Paraná. O manejo dos sistemas de produção de leite é variada, sendo a produção a pasto a maioria, necessitando utilizar áreas de agricultura com pastagens de inverno e complementação da alimentação do rebanho com silagem de milho, e, por isso, muitas vezes não é respeitado um planejamento de rotação de culturas.

A prática da integração lavoura-pecuária, sem o correto manejo da pastagem em termos de altura de pastejo, lotação animal, entre outros, associado ao uso repetido de silagem nas mesmas áreas, reflete diretamente na quantidade de matéria orgânica do solo, teor de carbono orgânico e seus compartimentos, afetando a qualidade do solo. Entretanto, nem sempre são percebidas essas transformações em análises de rotina de laboratório que possam explicar a diminuição de produtividade nestas áreas.

Partindo deste pressuposto, busca-se por meio do fracionamento físico da matéria orgânica do solo, e de análises biológicas, identificar diferenças na qualidade de solos submetidos a diferentes manejos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Verificar, por meio das frações da matéria orgânica do solo, e atividade microbiana, o efeito de diferentes sistemas de cultivo praticados na região Sudoeste do Paraná

### **2.2 Específicos**

Avaliar as frações da matéria orgânica do solo, de propriedades que fazem ou não a rotação de culturas, ILP, além da comparação com solo de mata nativa do bioma Mata Atlântica.

Quantificar o carbono orgânico total, particulado e associado aos minerais.

Quantificar o carbono da biomassa microbiana presente no solo, em diferentes profundidades.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

O sistema plantio direto é considerado uma das grandes revoluções da agricultura brasileira. Tendo sua origem em regiões de clima temperado, se consolidou no Brasil a partir da década de 1990. Atualmente estima-se que 33 milhões de hectares no Brasil estão alicerçados neste sistema (FEBRAPDP, 2021). Entretanto, alguns preceitos são fundamentais para que o sistema se desenvolva com a qualidade desejada, porém nem sempre tem sido atendido pelos seus usuários.

Em geral o que tem se observado a campo é o uso do plantio direto, com revolvimento mínimo de solo, mas não atendendo os demais preceitos que caracterizam a prática como um sistema, quais sejam: a rotação de culturas e a presença de palha na superfície.

Em trabalho realizado no município de Pato Branco – PR, Lazzari (2019) verificou o confundimento dos agricultores em relação ao sistema plantio direto, pois estes pressupõem que somente a presença de palha na superfície do solo significa estar realizando um plantio direto de qualidade, ao mesmo tempo os próprios agricultores não realizam rotação de culturas, bem como fazem a prática de escarificação mecânica, quebrando dois dos preceitos do plantio direto.

#### **3.1 As possíveis falhas no sistema plantio direto**

O sistema plantio direto é uma prática agrícola conservacionista que surgiu da necessidade de conter os diversos problemas causados pelo preparo convencional do solo, através de arações e gradagens, chegando ao ponto de inviabilizar a atividade agrícola por problemas ambientais de perda do solo por erosão além de desencadear sérios danos ambientais (SALTON *et al.*, 1998).

Amplamente utilizado, este sistema tem por premissas o revolvimento do solo exclusivo à linha de semeadura, a rotação de culturas e a presença de restos culturais na superfície do solo. Esse sistema é adequado tanto para modelos puros de produção de grãos, onde as plantas de cobertura têm grande importância, ou ainda em sistemas de integração lavoura-pecuária, onde as pastagens, quando



corretamente manejadas, são protagonistas de inúmeras melhorias no solo (MARAFÃO, 2016).

Os benefícios da utilização do sistema plantio direto são de ordem econômica e socioambiental. A sua adoção em áreas agrícolas proporcionou a intensificação dos sistemas de produção, com mais safras num mesmo período de tempo, aumento significativo da produtividade das culturas, maior economia de diesel pela redução do número de operações e, principalmente, melhorou a estruturação e retenção de água no solo, pelo acúmulo da matéria orgânica que antes era oxidada facilmente no plantio convencional (ZOTARELLI *et al.*, 2012).

Para a boa execução do plantio direto é necessário um sistema que promova o aporte de biomassa e palhada sobre o solo. Segundo Nascente *et al.* (2014), por não haver revolvimento do solo em subsuperfície e o sistema concentrar boa parte dos nutrientes minerais fornecidos na adubação nas camadas mais superficiais, o solo fica susceptível a compactação na camada até 20 centímetros. Nesse caso, a rotação de culturas é uma prática que deve obrigatoriamente ser realizada nas propriedades, uma vez que a diversificação das espécies e seus diferentes sistemas radiculares reciclam nutrientes em profundidades diferentes e auxiliam na descompactação do solo, bem como beneficiam o agroecossistema com a quebra de ciclo de pragas e doenças (SALTON *et al.*, 1998). Espindola (2019), em trabalho realizado no município de Coronel Vivida – PR, a partir de questionários, observou a irrelevância que se dá a prática de rotação de culturas pelos agricultores, onde de 12 agricultores, somente três relacionaram esta prática ao sistema plantio direto.

O que caracteriza o plantio direto como um sistema de cultivo conservacionista, é a implementação de práticas culturais que promovam a diversidade de plantas e raízes, aliadas ao não revolvimento do solo e ao acúmulo dos restos culturais. Denardin; Faganello; Lemainski (2019) apontam que as condições de clima no Brasil, não permitem uma alta taxa de acúmulo de restos culturais, os quais são decompostos facilmente. Portanto a prática de plantar sobre a palhada da cultura antecedente (PD), que é evidenciada na grande parte das propriedades, não se caracteriza como sistema plantio direto (SPD), pois este envolve os preceitos de rotação de culturas e pousio zero, com culturas de cobertura que elevem a relação C/N da palhada, desacelerando a taxa de decomposição.

Os erros de interpretação do sistema plantio direto, onde as suas premissas básicas não são respeitadas, numa condução das áreas sem a qualidade necessária, tem limitado os efeitos positivos da prática. Denardin; Faganello; Santi (2008) descrevem que as consequências dessa negligência vêm se traduzindo em prejuízos econômicos e ambientais. A inviabilização dos sistemas agrícolas pode se tornar uma realidade próxima, tendo em vista as perdas e desertificação de solos que ocorrem em determinados lugares.

Portanto, é de suma importância a atenção aos manejos adequados, utilizando o sistema plantio direto na íntegra (não apenas um dos seus três preceitos fundamentais), favorecendo a qualidade dos solos através da manutenção da matéria orgânica e da água no sistema.

Possamai *et al.* (2022) fizeram uma revisão sobre a adoção do sistema plantio direto no estado do Paraná, abordando os conceitos de “Plantio Direto” e “Sistema Plantio Direto” e as implicações práticas do (mau) uso desses conceitos. Na mesma publicação, fazendo uso de outros autores, é afirmado que dos atuais 33 milhões de hectares cultivados em plantio direto no Brasil, tão somente 10% (MARTINS *et al.*, 2018) e 20% (DENARDIN, 2018) fazem uso efetivo do conjunto de princípios que regem o sistema plantio direto (rotação de culturas, revolvimento de solo exclusivo na linha de semeadura e palha na superfície do solo).

### 3.1.1 Sistemas de cultivo do Sudoeste do Paraná

O Sudoeste do Paraná tem expressiva participação no cenário agrícola, com destaque para as cadeias de produção de grãos, avicultura, pecuária leiteira e de corte e suinocultura. As propriedades são pequenas e, em geral, possuem menos de 50 hectares, em que a agricultura familiar é predominante. Buscando diversificar a renda e melhor aproveitar os recursos que possuem, muitas propriedades tem aderido ao sistema de integração lavoura-pecuária (BOARETTO, 2018). Coletti; Perondi (2015) citam a região sudoeste como destaque na produção leiteira que vem mostrando considerável aumento da produtividade, além do que é a principal atividade desenvolvida pela agricultura familiar.

A agricultura e a pecuária leiteira se integram em grande parte das propriedades, uma vez que os animais ocupam as áreas de lavoura no período do

inverno com pastagens anuais e, no verão geralmente sendo suplementados com silagem de milho e pastejam em poteiros com pastagens de verão. Pilatti *et al.* (2021) descrevem as pastagens como uma alternativa técnica e economicamente viável aos agricultores familiares, por serem de baixo custo e fornecerem bom potencial nutritivo. A complementação da alimentação do rebanho é feita com silagem de milho, que normalmente é cultivado dentro das propriedades. A necessidade da silagem para complementação da alimentação aos animais, em alguns casos dificulta aos agricultores realizarem rotação de culturas pelo menos em algum dos talhões ou mesmo na área total em que produzem, uma vez que boa parte do milho silagem é cultivado na época da segunda safra, após a cultura da soja que é a principal cultura optada pelos produtores devido a maior margem de lucro pelo mercado da soja, caracterizando as áreas como monocultivo.

A prática da silagem, associada ao monocultivo de soja, reflete de forma negativa nas propriedades do solo. A retirada total da planta afeta a qualidade do sistema, por não deixar palha sobre o solo, reduzindo a quantidade de matéria orgânica aportada ao solo. A compactação do solo é potencializada pelo tráfego intenso de máquinas por toda a área da lavoura no processo de colheita do milho para silagem, sendo um dos problemas que mais impactam o solo, pela necessidade da passagem de máquinas e carretas que trafegam linha a linha da cultura (COMPAGNON *et al.*, 2020).

O sistema de integração lavoura-pecuária faz parte de um contexto de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs), os quais são responsáveis por diversificar a produção, além de entregar aumento de produtividade do sistema, por melhorias no solo, pelas interações protooperativas que ocorrem nestes sistemas (CANDIOTTO *et al.*, 2020).

O solo, em integração lavoura-pecuária, pode estar sujeito a problemas de compactação, principalmente se o manejo das pastagens em relação à altura de pastejo, carga animal, taxa de lotação etc., for feito de forma inadequada. Por sua vez, em locais onde a pastagem for ajustada com critérios e obedecer aos limites da pastagem e do solo, os atributos físicos, químicos e biológicos serão afetados de forma positiva, não ocasionando perdas em produtividade da cultura subsequente (FLORES *et al.*, 2007).

No entanto, isto exige certo grau de instrução e investimento por parte dos agricultores, evidenciando falhas na disseminação da pesquisa, o viés econômico também se apresenta como um fator importante ou até mesmo a desconfiança por parte dos agricultores, que não realizam o investimento correto em adubação, e sementes de qualidade nas pastagens, o que implica em falhas no sistema, as quais refletem diretamente no rendimento de culturas e da produção animal.

### **3.2 A matéria orgânica como indicador de qualidade do solo**

A qualidade do solo tem sido discutida a alguns anos no meio acadêmico e científico desde que se ampliaram as áreas de plantio direto no Brasil. Conceição *et al.* (2005) explicam que o conceito de qualidade do solo começou a ser estruturado no início dos anos 1990, inicialmente descrito de maneira simples, como o solo propício para o uso e, mais tarde a conceituação se tornou mais complexa, sendo descrito como a capacidade do solo sustentar a produtividade biológica dentro dos limites de ecossistemas controlados ou não pelo homem e garantir a saúde do ambiente, plantas e animais (DORAN; ZEISS, 2000).

Os manejos adotados dentro dos agroecossistemas promovem alterações de ordem química, física e biológica no solo. Um bom indicador de qualidade do solo deve ser sensível a estes manejos e ser facilmente correlacionado com as alterações feitas no ecossistema, bem como ser facilmente perceptível e de fácil entendimento aos agricultores (DORAN; ZEISS, 2000). Dito isto, percebe-se que o componente mais sensível e que se relaciona diretamente com estes fatores, e sofre interação dos manejos e do ambiente é a matéria orgânica do solo, utilizada como um ótimo indicador de qualidade do solo (ROSA *et al.*, 2017).

A matéria orgânica do solo é composta por organismos vivos, sendo eles as raízes de plantas e os microrganismos que compõem a micro e mesofauna do solo, e outra parte constituinte são os organismos não vivos, correspondendo aos resíduos vegetais decompostos e as substâncias humificadas estabilizadas ou em processo de estabilização. Também participa do ciclo do carbono e nitrogênio, que se encontram em equilíbrio em locais de vegetação nativa. Contudo, em sistemas agrícolas, ocorre um desbalanço nas entradas e saídas de carbono do solo (ENSINAS, 2012). Além de ser um componente responsivo aos manejos, promove

melhoria nos fatores químicos, físicos e biológicos do solo, sendo fundamental para a produção vegetal (NANZER *et al.*, 2019). Em solos como os do Brasil, com alto grau de intemperismo e baixa fertilidade natural, a matéria orgânica é componente indispensável na formação de cargas do solo, representando até 70% da CTC destes, favorecendo a permanência de cátions como cálcio, magnésio, potássio, além de ser responsável pela dinâmica do nitrogênio no solo e complexar o alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ); também atua como agente cimentante das partículas de solo favorecendo a aeração e a retenção de água, bem como os compostos de carbono, fornecem energia aos microrganismos do solo favorecendo sua atividade (MEURER, 2017).

O acúmulo da matéria orgânica foi viabilizado por sistemas conservacionistas, a exemplo do sistema plantio direto e da integração lavoura-pecuária, que favoreceram o balanço positivo de carbono no sistema, com a diminuição da oxidação do carbono pela redução do revolvimento do solo, e pelo incremento de biomassa vegetal (ROSCOE; MERCANTE; SALTON, 2006). Por outro lado, Lovato *et al.* (2004) apontam que o solo é um sistema aberto e sofre permanentes trocas de matéria e energia nas complexas relações que estabelece com os componentes do ambiente, tal como as plantas, macro e microrganismos, o material mineral e clima. Isto afeta diretamente a complexa dinâmica que a matéria orgânica tem no solo. O processo de formação e estabilização da matéria orgânica é lento e inicia-se pelo processo de fixação de  $CO_2$  atmosférico, absorção de água e luz, pela fotossíntese nos vegetais. Já a sua decomposição e estabilização é mais lenta e dependerá das interações com a matriz do solo, na sua capacidade de formar compostos mais ou menos ligados a sua fração mineral, servindo como mecanismos de proteção à decomposição por microrganismos (ROSCOE; MACHADO, 2002; ROSCOE; MERCANTE; SALTON, 2006).

Assim, os manejos utilizados pelo homem na agricultura em um longo prazo, influenciam diretamente nos diferentes compartimentos da matéria orgânica, afetando-a em quantidade e qualidade, sendo que em alguns casos, mesmo no plantio direto, algum dos seus três preceitos, se não todos, são ignorados, seja por falta de palhada, rotação de culturas e revolvimento exclusivo no sulco de semeadura, podendo modificar os estoques de carbono nas frações, sendo que o emprego do fracionamento da matéria orgânica auxilia na percepção de diferenças

entre os sistemas de manejo pela sensibilidade que estas apresentam (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005).

### 3.3 Fracionamento físico da matéria orgânica

Como dito, a matéria orgânica tem potencial de indicar a qualidade do solo, traduzindo as ações de aporte de biomassa ao solo, pelos sistemas de manejo adotados por um período de tempo. Em solos com a vegetação original, sem grandes alterações, o teor de matéria orgânica tende a ser maior em comparação a solos que sofreram modificações pela ação humana por meio da agricultura. Todavia, a evolução dos processos realizados na agricultura, através do sistema plantio direto, acompanhado da rotação de culturas, proporcionou uma reestruturação no balanço do carbono a partir do incremento de biomassa vegetal e palhada, modificando os teores totais de carbono orgânico do solo, tendo reflexos diretos nas frações da matéria orgânica (ROSSI *et al.*, 2012).

Métodos de fracionamento da matéria orgânica tem sido utilizados em estudos que avaliam diferentes sistemas de uso e manejo do solo, uma vez que a matéria orgânica e sua dinâmica no solo são complexas. Torres *et al.* (2014) explicam que a deposição de palhada, afeta o conteúdo de matéria orgânica, bem como sua qualidade, alterando a labilidade e oxidação da mesma. Como a matéria orgânica é um complexo formado por diferentes unidades de diferentes tamanhos e compostos, a sua heterogeneidade é grande. Roscoe; Machado (2002) destacam que maior ênfase foi dada às avaliações de fracionamento físico especialmente, que buscam separar em pequenos grupos de diferentes tamanhos o material orgânico, a fim de que seja possível identificar os reservatórios da matéria orgânica, sendo dispostos em diferentes hierarquias ou frações e sua respectiva estabilidade. A fração com maior labilidade (menos estável) é o material fracamente associado aos minerais de origem do solo; a fração com alto grau de recalcitrância (mais estável) é o material fortemente associado aos coloides minerais do solo (ROSCOE; MACHADO, 2002). Loss *et al.* (2014) realizaram o fracionamento físico da matéria orgânica sob plantio direto, comparando a uma área de plantio convencional, pastagem e floresta. Os maiores valores do carbono particulado (menos estável) nas camadas mais superficiais, foram encontrados nas áreas sob plantio direto e

pastagem em decorrência do acúmulo de palhada em superfície, já o carbono associado aos minerais (mais estável), teve os maiores valores sob área de floresta.

### 3.4 Indicadores biológicos

Dos desafios que nos são apresentados para as futuras décadas, a necessidade de aumento da produção de alimentos é um dos mais discutidos e de maior importância. Já é sabida a importância do solo para a produção de alimentos em quantidade e qualidade, entretanto, deve-se utilizar sistemas para explorar este recurso de forma sustentável, sem deturpar a sua saúde e comprometer a sua função no ambiente, buscando aumentar a saúde do solo, favorecendo a diversidade biológica.

Na fração orgânica do solo existem diversos componentes que fazem parte da sua totalidade, dentre eles estão os organismos vivos presentes no solo, sendo representados pela meso e microfauna, que interagem entre si, com as raízes de plantas e o solo, atuando como uma engrenagem que movimenta os processos de gênese, decomposição e ciclagem de nutrientes no solo (MENDES; SOUSA; REIS JUNIOR, 2015).

A fração biológica do solo vem sendo muito estudada pelo potencial de apontar quais sistemas entregam melhores serviços ecossistêmicos e promovam uma saúde adequada do solo. Assim, o conceito de memória do solo é apresentado. Esta é capaz de mostrar quão benéfico são os manejos adotados em um sistema, por meio de análises biológicas que estimam a atividade de enzimas, que por sua vez são dependentes da atividade de microrganismos, favorecidos pelo incremento de biomassa ao sistema, em quantidade e qualidade (MENDES *et al.*, 2020).

A inclusão de análises biológicas, como a do carbono da biomassa microbiana, foram necessárias após estudos em experimentos em plantio direto e rotação de culturas em comparação a sistemas de monocultivo, em solo arenoso, onde as produtividades de soja não apresentavam diferenças significativas, tal qual as análises química e física, no entanto em um ano de chuvas escassas, a produtividade mais elevada no sistema com rotação de culturas, foi explicada somente por meio de avaliações no carbono da biomassa microbiana (MENDES *et al.*, 2018).

### 3.4.1 Carbono da biomassa microbiana

Em meio a diversas análises biológicas, destacam-se as avaliações referentes a quantidade de carbono e nitrogênio contido na biomassa microbiana, pois são os principais constituintes da matéria orgânica viva que melhor representam a mudança nos sistemas (SILVA *et al.*, 2012).

Segundo Rossi *et al.* (2012), com a retirada dos biomas naturais, para a introdução de agroecossistemas, ocorre um rápido decréscimo de carbono do solo, pela diminuição do seu fluxo de entrada no sistema. Por corresponder a fração viva da matéria orgânica, a biomassa microbiana é influenciada por fatores ambientais, como clima, aeração, nutrientes além da disponibilidade de carbono no solo, dessa forma, o acúmulo de resíduos vegetais e mesmo a presença de plantas vivas, favorecem a atividade dos organismos (SOUZA *et al.*, 2010).

Neste sentido, as análises da biomassa microbiana são eficientes indicadores da qualidade do solo, principalmente quando se comparam sistemas em que há o revolvimento de solo, como é o caso explicado por Lisboa *et al.* (2012), que compararam os sistemas: plantio direto, convencional com e sem rotação de culturas, e campo nativo, por meio do carbono da biomassa microbiana. Os resultados expressaram significativo aumento da atividade microbiana em plantio direto comparado ao convencional, e equiparando-se ao campo nativo.



## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Caracterização da área**

O estudo foi realizado em duas propriedades vizinhas, localizadas no interior do município de Pato Branco, no Sudoeste do Paraná, com localização aproximada de 26°17'15" S e 52°39'39" O, e altitude de cerca de 800 metros.

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho, a região é situada em uma zona de transição de clima Cfb (temperado) para Cfa (subtropical). No entanto, Tabalipa; Fiori (2008) o descrevem como Cfb pela classificação de Köppen, em que obtiveram dados de temperatura média no mês mais frio de 6 e 22 °C no mês mais quente, e precipitação média de 2000 mm/ano, com chuvas bem distribuídas o ano todo.

A característica da região é de cultivo de grãos no verão, intercalados com a semeadura de pastagens anuais de inverno sob área de lavoura, além da presença de fragmentos de Floresta Ombrófila Mista (mata de araucária), com poucas áreas de pastagem perene.

### **4.2 Procedimentos experimentais**

#### **4.2.1 Diagnóstico das áreas de estudo**

A propriedade em que ocorreu o estudo foi selecionada a partir das unidades de produção assistidas pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR), com base nos requisitos necessários para atender os quatro tratamentos, os quais foram: área de floresta nativa (MN); área de integração lavoura-pecuária (ILP) e área de lavoura designada para silagem (S), e uma área com subsolagem (SS). Um quinto tratamento, área de lavoura em sistema plantio direto (SPD), foi selecionado na área vizinha à primeira propriedade, para que não houvesse interferência de fatores abióticos sobre os tratamentos.

Para conhecer o histórico das áreas, houve o contato com os produtores responsáveis pelas propriedades, sendo questionados quanto a forma de condução

das áreas, extraindo informações das culturas implantadas nos últimos três anos; utilização ou não de equipamento de revolvimento; mecanismo sulcador; pastejo nas áreas e carga animal; utilização de culturas de cobertura (Tabela 1).

**Tabela 1 – Descrição do histórico das áreas de estudo**

<b>Área</b>	<b>Histórico</b>
<b><i>Mata nativa</i></b>	Área de mata, Floresta Ombrófila Mista, ou mata de araucária, com a presença de árvores pioneiras, e vegetação bem conservada.
<b><i>SPD</i></b>	Área de lavoura em sistema plantio direto consolidado, sem realização de revolvimento do solo ou subsolagem. Adubação realizada por meio de agricultura de precisão, realizando aplicação de calcário e fertilizantes em taxa variável. As semeadoras utilizadas possuem haste sulcadora. Os cultivos realizados nos últimos anos foram: trigo, soja e milho segunda safra; mix de cobertura (nabo, aveia e centeio), feijão e soja segunda safra; aveia, soja; trigo.
<b><i>ILP</i></b>	Área de integração, em que o rebanho leiteiro, formado por 16 animais, faz o pastejo sobre a aveia preta durante o período de inverno, em piquetes sem tamanho ajustado a carga animal submetida. A área é adubada anualmente com cama de aves (1,6 t/ha), após a implantação da aveia, que é realizada com semeadora sem aplicação de adubo. A cultura implantada no verão é a soja, que recebe adubação com formulados NPK e KCl em cobertura anualmente. As semeadoras utilizam disco duplo, para distribuição de adubo e semente. O mecanismo utilizado é o disco. Não houve revolvimento do solo nos últimos 3 anos. Houve aplicação de calcário neste período.
<b><i>Silagem</i></b>	Área de lavoura que recebe anualmente a cultura da soja no verão, e milho segunda safra utilizado para silagem, em sequência ocorre a semeadura da aveia para cobertura do solo somente. Nesta área a prática da silagem vem sendo feita há mais de 5 anos. A adubação utilizada é realizada somente na implantação da cultura da soja e do milho, com formulados NPK, KCl em cobertura na soja, e aplicação de ureia (N) na cultura do milho. Houve aplicação de calcário neste período.
<b><i>Subsolagem</i></b>	Área de lavoura que recebe anualmente a cultura da soja no verão, milho utilizado para silagem na segunda safra e em sequência ocorre a semeadura da aveia para cobertura do solo somente. A adubação utilizada é realizada somente na implantação da cultura da soja e do milho, com formulados NPK, KCl em cobertura na soja, e aplicação de ureia (N) na cultura do milho. Após a colheita do milho para silagem, nos últimos três anos foi realizada a subsolagem, ocorrendo a movimentação das camadas até 40 centímetros. Houve aplicação de calcário neste período.

Fonte: Autoria própria (2022).

#### 4.2.2 Amostragem

A coleta das amostras de solo para análise do carbono da biomassa microbiana foi feita com um trado holandês, quando a cobertura das áreas em ILP, SS e S haviam sido dessecadas para o plantio da soja, e o trigo estava em fase de maturação na área em PD. A amostragem procedeu da seguinte forma: inicialmente foram definidos oito pontos de coleta em cada um dos cinco tratamentos, totalizando 40 pontos. Em cada ponto, foram retiradas amostras estratificadas, nas profundidades de 0-10 e 10-20 centímetros, totalizando 64 amostras.

Para o fracionamento da matéria orgânica foram coletadas amostras de solo nas diferentes áreas com auxílio de uma pá de corte, abrindo-se minitrincheiras de 10 centímetros de profundidade, 10 centímetros de largura e 10 centímetros de comprimento, no início do desenvolvimento da cultura da soja, que se encontrava no estágio de V3 nas áreas de ILP, SS e S, e logo após a colheita do trigo para a área de PD, procedendo da mesma forma que a primeira coleta.

#### 4.2.3. Avaliações realizadas

##### 4.2.3.1 Carbono da biomassa microbiana

Para as amostras da análise do carbono da biomassa microbiana (CBM), o solo foi armazenado em sacos plásticos e em caixa de isopor, para evitar grandes amplitudes de temperatura, e armazenados em geladeira, até o momento da análise, realizada pelo método de fumigação-extração, proposto por Vance *et al.* (1987).

As amostras foram trabalhadas em duplicatas, uma delas continha 10 gramas de solo para a amostra fumigada e 10 gramas para não fumigada. O processo de fumigação é realizado com o uso de clorofórmio isento de álcool ( $\text{CHCl}_3$ ), foram adicionados 50 mL em um béquer, e colocado em um dessecador de vidro com as amostras para fumigação, retirando todo o ar com bomba de sucção por 5 minutos, e colocado em local sem a presença de luz por 24 horas. As amostras não fumigadas foram somente colocadas em local sem a presença de luz.

A quantificação do CBM é feita pela oxidação do C por dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )  $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ . Inicialmente as amostras de solo foram colocadas

em erlenmeyers de 250 mL, e adicionados 50 mL de solução de sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ )  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , utilizado como extrator. As amostras foram agitadas em agitador horizontal, a 75 rpm por 1 hora, e posteriormente filtradas em papel filtro. Aliquotas de 4 mL do sobrenadante filtrado foram pipetadas em erlenmeyers, sendo adicionado 1 mL da solução de dicromato. Posteriormente em capela, foram adicionados 10 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) e 5 mL de ácido fosfórico concentrado ( $H_3PO_4$ ). Após resfriamento, adicionou-se 70 mL de água e 4 gotas do indicador difenilamina, passando da cor amarela para violeta. O dicromato não consumido é titulado com sulfato ferroso amoniacal  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$   $0,033 \text{ mol.L}^{-1}$ , sendo o ponto de viragem da cor lilás para verde claro.

O C extraído do solo é calculado pela fórmula 1.

$$C \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = (Vb - Va) \cdot N \cdot 0,003 \cdot 50 \cdot (8 \cdot Ps)^{-1} \cdot 106 \quad (1)$$

Onde:

C = carbono extraído do solo;

Vb (mL) = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco);

Va (mL) = volume gasto na titulação da amostra;

N = normalidade exata do  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  ( $0,033 \text{ mol.L}^{-1}$ );

Ps (g) = massa de solo seco.

O cálculo do CBM é dado pela fórmula 2.

$$CBM \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = FC \cdot kc \quad (2)$$

Onde:

CBM = biomassa de carbono microbiano do solo em mg de C por kg de terra (ou  $\mu\text{g g}^{-1}$ );

FC = fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada;

kc = fator de correção, 0,33.

#### 4.2.3.2 Fracionamento físico da matéria orgânica

A camada avaliada no fracionamento físico da matéria orgânica foi de 0 – 10 centímetros, o qual foi realizado pelo método de separação granulométrica, para a quantificação do carbono orgânico particulado (COP), e o carbono orgânico associado aos minerais (COam), obtidos pela metodologia proposta por Cambardella; Elliot (1992).

O solo foi seco em estufa de circulação de ar a 40 °C. Posteriormente foram pesadas 10 gramas de solo, e colocadas em garrafas pet de 1 litro em duplicatas, e adicionada a solução de hexametáfosfato de sódio ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ), sendo a solução dispersante. Procedeu-se a agitação das amostras em agitador orbital do tipo Wagner, a 60 rpm por 16 horas. Após agitação, o conteúdo foi retirado da garrafa com auxílio de jatos de água e lavados em peneira de 53  $\mu\text{m}$ . O material retido na peneira foi seco em estufa a 40 °C e pesado para quantificar a massa da fração areia, sendo COP, e o que passou pela peneira a fração COam.

A determinação do carbono orgânico total (COT), bem como o carbono particulado foi realizada pelo método Walkley-Black, por meio da oxidação do C com dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ). Após a quantificação das amostras de COP e do COT, representado por uma amostra de solo de cada tratamento. Para COP foi utilizada a relação obtida da massa da fração areia, tendo como base os 10 gramas de solo utilizados na agitação, obtendo a porcentagem da fração areia, e multiplicado pelo valor de C de cada amostra. COam foi obtido pela diferença entre COT e COP.

### **4.3 Análises estatísticas**

Após a obtenção dos dados de cada variável resposta, estes foram submetidos aos testes de normalidade de erro e homogeneidade de variância no programa Genes (CRUZ, 2006). Houve necessidade de transformação de dados para as variáveis COT e COP, as quais foram ajustadas por meio das transformações:  $1/(x + k)$  e  $\text{raiz}(x + k)$  respectivamente. Atendendo os pressupostos, foi realizada a análise de variância e, havendo diferenças entre os tratamentos,

estes foram submetidos ao teste de Tukey para comparação de médias, ao nível de 5% de significância ( $P < 0,05$ ).

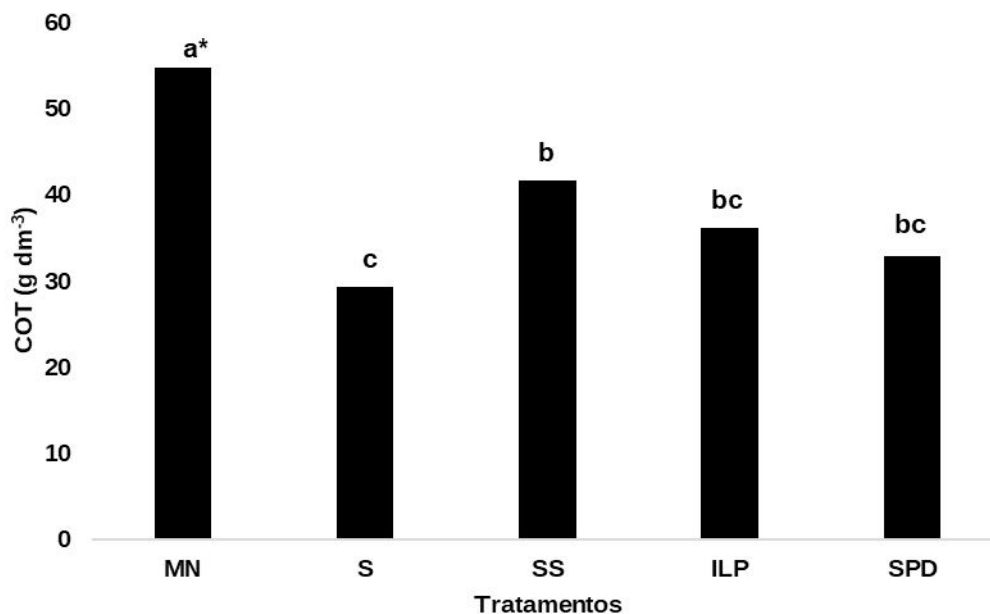
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Carbono orgânico total e fracionamento físico da matéria orgânica

Obteve-se resposta significativa ( $P < 0,05$ ) do teor de carbono total (COT) (Figura 1) e para as avaliações das frações físicas da matéria orgânica (COP e COam) (Tabela 2) tendo sido influenciadas pelos tratamentos.

Neste estudo, o teor de carbono orgânico total foi maior na área de mata nativa (Figura 1), demonstrando que a antropização do meio, com cultivos agrícolas, traz algum tipo de perturbação caracterizada pela redução nos teores de COT.

Figura 1 – Teores de carbono orgânico total (COT), na camada de 0 – 10 centímetros de solo, sob diferentes sistemas de cultivo



\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Tukey. (MN) Mata Nativa, (S) Silagem, (SS) Subsolação, (ILP) Integração Lavoura-Pecuária, (SPD) Sistema Plantio direto.

Fonte: Autoria própria (2022).

Para os sistemas de cultivo, o solo da área com subsolação obteve o maior valor dentre os sistemas, mas não se diferenciou dos sistemas ILP e SPD, porém foi superior a silagem.

É possível que em solos de mineralogia caulínica e oxidada, mesmo havendo algum revolvimento de solo no sistema com SS, este não tenha sido

suficiente para oxidar a matéria orgânica e reduzir o COT. Quando da coleta das amostras, neste sistema havia palhada de aveia, que por ter uma elevada relação C/N, contribui para a preservação de carbono no solo. Camara; Klein (2005) encontraram resultados semelhantes ao avaliar o conteúdo de matéria orgânica de um solo escarificado, em que obtiveram valores maiores nas camadas de 5 até 20 cm em relação ao solo sem escarificação. Os autores atribuem esses maiores valores em profundidade, no tratamento escarificado, a uma possível redistribuição dos restos culturais. É importante salientar que neste sistema não há impedimento físico até 40 cm, o que garante maior capacidade de desenvolvimento radicular, por consequência maior acúmulo de matéria seca, o que contribui significativamente no conteúdo de C orgânico ao solo.

Os resultados apontam para maiores níveis de COT em um sistema com revolvimento (SS), em comparação aos demais sistemas cultivados, pois o mesmo é menos agressivo em relação ao plantio convencional (aração e gradagem). Nesse sistema há a presença de palha sobre o solo e as condições climáticas da região permitem a manutenção de níveis adequados de C no solo. Em síntese, a prática da SS, sem ser sucedida de gradagem, não foi suficiente para expor a matéria orgânica do solo que se encontra fisicamente protegida do ataque microbiano, preservando os teores de COT (TISDALL; OADES, 1982).

Em geral, os autores (BAYER *et al.*, 2004; CONCEIÇÃO *et al.*, 2014) apontam maiores teores de COT em áreas cultivadas no SPD. Nesse estudo não se observou diferença estatística entre SPD, ILP e SS. No entanto, é possível que repetições frequentes da prática da SS possam alterar esses resultados, necessitando de um maior número de observações. Por outro lado, os resultados desse estudo, embora tenha avaliado dados de apenas duas propriedades agrícolas, demonstram que a ILP preserva os teores de COT, quando comparado a sistema puro de produção de grãos, e que a prática da silagem (S), que retira grande quantidade de resíduos do solo, deve receber especial atenção, em função da redução excessiva no COT, podendo comprometer a qualidade (saúde) do sistema.

Analisando os resultados em relação ao fracionamento granulométrico do COT (Tabela 2), percebe-se que foram observados valores elevados para CO<sub>am</sub>, o que representa que a maior parte do COT encontra-se na fração mais estabilizada



da matéria orgânica do solo, a qual está protegida por meio dos mecanismos de proteção que são: recalcitrância, oclusão e a complexação com a fase mineral do solo (ROSCOE; MACHADO, 2002).

**Tabela 2 – Teores de carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado a minerais (COam) e Labilidade, na camada de 0 – 10 centímetros de solo, sob diferentes sistemas de cultivo**

Tratamentos	COP		COam		Labilidade
	----- g dm <sup>-3</sup> -----				%
MN	9.92	a*	44.88	a	22.1
S	5.72	ab	28.58	c	20.0
SS	3.65	bc	38.05	ab	9.6
ILP	2.66	c	33.59	b	7.9
SPD	9.10	a	23.82	c	38.2

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Tukey. (MN) Mata Nativa, (S) Silagem, (SS) Subsolação, (ILP) Integração Lavoura-Pecuária, (SPD) Sistema Plantio direto.

**Fonte: Autoria própria (2022).**

A fração associada aos minerais é a parte mais estável e normalmente não é sensível a adoção de diferentes práticas de manejo do solo, sendo considerada o estoque de carbono a médio e longo prazo (SALTON *et al.*, 2005). Porém, nesse estudo, tanto nos tratamentos envolvendo silagem (S) quanto no cultivo em sistema plantio direto (SPD), foram observados os menores valores para Coam.

Apesar de sofrer menores alterações em resposta à manejos a curto prazo, o aumento no teor de COam em SS pode ser explicado pelo sucessivo acúmulo de resíduos de plantas C4, no caso as raízes de milho remanescentes no solo. Silva (2019) avaliou a contribuição de diferentes plantas de cobertura, com e sem a associação de milheto (C4), e constatou que a presença deste em associação com outras espécies leguminosas ou não, contribuiu significativamente para o aumento dos níveis de carbono associado a fração mineral do solo.

Nesse trabalho, a área de silagem apresentou menor valor de COam em relação a área subsolada (Tabela 2). Embora não tenha ocorrido revolvimento nesta área, pode-se explicar isso pelo fato de não haver aporte de material vegetal suficiente para que ocorra a ciclagem de C no sistema, associado ao fato de haver

possível compactação pelo intenso tráfego de máquinas na colheita do milho para silagem.

Em SPD, mesmo seguindo os preceitos fundamentais deste sistema, isto não foi suficiente para promover incrementos de C na fração mineral do solo. Já para o sistema ILP, 92,7% do C está presente na forma de CO<sub>am</sub>, no entanto este conteúdo poderá reduzir, tendo em vista que o manejo da área é inadequado, conseqüentemente o balanço de C aportado é menor do que o consumido pelas plantas e perdido para a atmosfera, o que pode ocasionar a degradação deste solo.

Os teores de COP obtidos responderam significativamente aos manejos avaliados neste estudo. Esta fração da MOS é sensível aos sistemas de manejo empregados onde o solo de mata atlântica apresentou os maiores valores de COP. Para os sistemas, os maiores valores foram obtidos em SPD, seguido do tratamento S, que não diferiu significativamente de SS que por sua vez não diferiu significativamente do tratamento ILP (Tabela 2).

O sistema plantio direto estudado contribuiu para o acúmulo de COP devido ao alto aporte de matéria seca remanescente no solo após a colheita, bem como o histórico de rotação de cultura observado na área nos últimos três anos. Este resultado, reflete os encontrados por Bayer *et al.* (2004), que em curto prazo observaram incremento nos teores de C na forma particulada em um sistema de rotação de culturas em plantio direto. A fração particulada da matéria orgânica tem papel fundamental, visto que é a fração inicial para a manutenção do estoque de carbono total do solo, garantindo que o aporte seja maior que o consumo, refletindo conseqüentemente em maior qualidade do solo por meio do aumento dos teores de COT (SILVA, 2019).

Outro resultado que mostra a dinâmica das frações da MOS é a labilidade, sendo expressa pela razão entre COP e CO<sub>am</sub>, em que a partir desta, é possível verificar a degradação, ou a contribuição dos sistemas adotados nos níveis da matéria orgânica de menor grau de estabilidade (COP). Com isso, associado aos níveis de COP encontrados, observa-se que o SPD apresentou maiores percentuais de labilidade.

A condição de manejo que há menos acúmulo de COP é o sistema em ILP. Possivelmente este resultado é reflexo do manejo inadequado da pastagem de aveia no inverno, pela falta do ajuste da carga animal nos piquetes, período de descanso e

sobrepastejo, que acarretam em consequências negativas, tais como a compactação do solo, diminuindo a qualidade e quantidade da vegetação influenciando diretamente na quantidade de carbono aportado ao solo. No entanto, para os níveis de COT, observa-se que o tratamento não foi o pior, possivelmente pelo fator animal estar presente, onde as fezes e urina dos mesmos, contribuem para a manutenção do conteúdo de C orgânico de forma mais rápida.

## 5.2 Carbono da biomassa microbiana

Os diferentes sistemas avaliados apresentaram resposta significativa ( $P < 0,05$ ) para o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), apenas na camada superficial (0-10 cm) (Tabela 3).

Na camada de 0-10 cm, o solo de mata nativa apresentou as maiores concentrações de C para a biomassa microbiana do solo, seguido de S e SS que não diferiram de MN. Os solos em ILP e SPD apresentaram os menores valor de CBM. Para a profundidade 10-20 cm não houve diferença significativa entre os tratamentos, entretanto pode-se observar que a média do conteúdo de CBM foi de 178,44 mg C Kg<sup>-1</sup>, menor em relação a camada mais superficial.

**Tabela 3 – Teores de carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), nas camadas 0-10,0 cm e 10,0-20,0 cm de solo, sob diferentes sistemas de cultivo**

Tratamentos	0-10 cm	10-20 cm
	----- (mg C Kg <sup>-1</sup> ) -----	
MN	773.4 a*	114.3 a
S	436.9 ab	253.4 a
SS	489.3 ab	227.7 a
ILP	322.9 b	102.1 a
SPD	273.3 b	194.7 a

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Tukey. (MN) Mata Nativa, (S) Silagem, (SS) Subsolagem, (ILP) Integração Lavoura-Pecuária, (SPD) Sistema Plantio direto.

**Fonte: Autoria própria (2022).**

Esse resultado corrobora com o encontrado por Perez; Ramos; McManus (2004), comparando uma área de cerrado com outras cultivadas com soja sob

diferentes sistemas de manejo do solo (semeadura direta; uma subsolagem e duas gradagens e; uma gradagem). Os autores concluíram que, a exemplo do COT, as ações antropogênicas perturbando o ambiente natural, reduzem os valores de CBM.

A variação do conteúdo de CBM tem correlação positiva com o conteúdo de C orgânico do solo, com isso, observou-se que apesar do revolvimento no solo com subsolagem os níveis de CBM foram correspondentes ao teor de COT encontrado nesta área (Figura 1). Além disso, a distribuição dos resíduos orgânicos no perfil do solo acarreta em maior decomposição deste material, aumentando a atividade microbiana deste solo, portanto o período de avaliação pode ocasionar diferenças nos teores totais de CBM ao longo do tempo. Perez; Ramos; McManus (2004) encontraram um aumento na atividade microbiana em um curto período de tempo após a subsolagem, contudo, esses valores decrescem rapidamente, evidenciando um pico de ação microbiana a partir da homogeneização dos restos culturais.

Em ILP, o valor de CBM obtido apesar de menor em relação a SS e S, não diferiu estatisticamente. Por ser uma pastagem anual em solo compactado, o acúmulo de biomassa é menor em decorrência desta situação, conseqüentemente os microrganismos consomem o C presente no solo reduzindo o acúmulo de (BONATO, 2021). O mesmo autor encontrou valores semelhantes para uma pastagem de aveia, em diferentes doses de N, onde a testemunha (sem N) apresentou uma média de 150,1 mg C Kg<sup>-1</sup>, representando uma situação de manejo com menor aporte de biomassa.

O solo sob SPD apresentou a menor quantidade de CBM em relação aos demais tratamentos nas amostras coletadas na mesma época, porém os valores não diferiram estatisticamente em relação aos demais tratamentos de cultivos. Solos sob rotação de culturas e sem revolvimento tendem a ter maiores taxas de acúmulo de carbono.

Contudo, Mendes *et al.* (2020) destacam que mais do que as análises do carbono, as análises enzimáticas têm a capacidade de representar a saúde do solo, onde os sistemas conservacionistas apresentam melhores resultados em comparação aos demais.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do solo pela agricultura é bastante citado atualmente, por meio das pautas ambientalistas e relacionadas ao clima e sequestro de carbono. O sistema plantio direto, vem sendo importante ferramenta antes tida como resolução do problema de erosão, agora como melhoradora da qualidade dos aspectos químicos, físicos e biológicos do solo, dando papel à agricultura de sequestro de carbono. Isso exemplifica os resultados positivos de aumento do COP em SPD, que garante gradativo aumento do teor de MOS.

Os ambientes estudados apontam para a realidade usual da região sudoeste do Paraná, em que a silagem entra como elemento importante na alimentação animal, e que pelo tamanho reduzido das propriedades, não há capacidade de rotacionar áreas para esta prática. Embora tenha-se observado baixo teor de carbono total para a área de silagem somente, a repetição da prática de subsolagem anualmente é uma alternativa para descompactação do solo, assim como o acúmulo das raízes de milho e aveia, que respondeu em maior teor de COT e manutenção dos níveis de CO<sub>am</sub>.

Entretanto, pode-se afirmar que não vem sendo praticado um manejo adequado na área com presença de animais, a qual já apresenta efeitos negativos, com redução da biomassa microbiana e COP, indicando que há baixo aporte de biomassa neste solo, mesmo em um sistema integrado de produção, o qual se manejado de forma correta, garantirá maiores contribuições em acúmulo de carbono e melhoria de qualidade do solo.

O CBM se mostrou sensível aos manejos, onde a perturbação do solo de seu estado natural causou redução deste parâmetro. Contudo, a época de amostragem é um fator que interfere nos resultados, sendo sugerida a amostragem em diferentes épocas. Para um futuro estudo dessa natureza, além dos parâmetros destacados nesse trabalho, sugere-se também a avaliação da atividade enzimática do solo, por ser um parâmetro mais sensível às mudanças no manejo. O aumento na atividade enzimática pode ser prenúncio de que os sistemas de cultivo estejam sendo conduzidos de maneira adequada, e acumulando matéria orgânica no solo.

## REFERÊNCIAS

- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677–683, jul. 2004. DOI 10.1590/S0100-204X2004000700009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2004000700009&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004000700009&lng=pt&tlng=pt) . Acesso em: 19 ago. 2022.
- BOARETTO, A. C. **Diagnóstico da fertilidade do solo em áreas de agricultura familiar do Sudoeste Paranaense**. 2018. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2018. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/13718> . Acesso em: 9 ago. 2021.
- BONATO, V. **Efeito da adubação nitrogenada ao longo do pastejo da aveia na biomassa microbiana em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) em Curitiba - SC**. 2021. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2021. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228488/TCC\\_Vinicius\\_Bonato.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228488/TCC_Vinicius_Bonato.pdf?sequence=1&isAllowed=y) . Acesso em: 12 out. 2022.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. v. 35, p. 813–819, 2005. .
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777–783, maio 1992. DOI 10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x> . Acesso em: 11 ago. 2021.
- CANDIOTTO, L.; CARVALHO, A. F. G.; ZATTA, A. C.; CANDIOTTO, F.; BEAL, G.; VERZA, L. Produtividade de grãos de milho silagem após azevém manejado com diferentes alturas e estratégias de adubação nitrogenada / Grain productivity of corn-silage after ryegrass managed with different heights and nitrogenated fertilization strategies. v. 3, n. 4, p. 3653–3658, 2020. DOI 10.34188/bjaerv3n4-070. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/19814/15875> . Acesso em: 9 ago. 2021.
- COLETTI, V. D.; PERONDI, M. A. Produção de leite e resistência da agricultura familiar: comparando duas estratégias de comercialização local na região Sudoeste do Paraná - Brasil. v. 20, p. 236–260, 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.17058/redes.v20i2.3529>. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/redes/article/view/3529> . Acesso em: 9 ago. 2021.
- COMPAGNON, A. M.; GUILHERME, I. H.; PEREIRA FILHO, W. J.; RODOVALHO, R. S.; ARRIEL, F. H. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à

penetração na colheita mecanizada de milho para silagem. v. 7, n. 2, p. 1–12, 2020. DOI 10.37951/2358-260X.2020v7i2.4542. Disponível em: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/cientifica/article/view/4542> . Acesso em: 10 ago. 2021.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 777–788, 2005. DOI 10.1590/S0100-06832005000500013. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832005000500013&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000500013&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 2 ago. 2021.

CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; CARVALHO, D. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000004> . Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/HHpwcZXP3b4MhGpXrZJXJJ/?lang=pt> . Acesso em: 15 jun. 2021.

CRUZ, C. D. **Programa genes: estatística experimental e matrizes**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006.

DENARDIN, J. E. Compactação e Adensamento de Solo: caracterização, origem, riscos, danos e soluções. Embrapa Trigo, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31340322/artigo---compactacao-e-adensamento-de-solo-caracterizacao-origem-riscos-danos-e-solucoes> . Acesso em: 2 nov. 2022.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; LEMAINSKI, J. Converter plantio direto em Sistema Plantio Direto - um modelo à sustentabilidade agrícola. , p. 568–572, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/200398/1/ID44651-2019RCBPTT2AtasResumos2018p568.pdf> .

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do plantio direto levam à degradação do solo. 2008. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/v.+34\\_000g9h1zwy02wx5ok00taf50auyora6.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/v.+34_000g9h1zwy02wx5ok00taf50auyora6.pdf) . Acesso em: 9 ago. 2021.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n. 1, p. 3–11, 2000. DOI 10.1016/S0929-1393(00)00067-6. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0929139300000676> . Acesso em: 2 ago. 2021.

ENSINAS, S. C. **Atributos químicos e frações da matéria orgânica em latossolo sob diferentes sistemas de uso**. 2012. 49 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/542> . Acesso em: 10 ago. 2021.

ESPINDOLA, E. A. **Aplicação do IQP - Índice de qualidade participativo do sistema plantio direto - na comunidade Alto Pinhal em Coronel Vivida, PR.** 2019. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2019.

FEBRAPDP. **Evolução da área sobre plantio direto no Brasil.** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/14588evolucao-pd-no-bbasil-2021-jpg.jpg> . Acesso em: 11 ago. 2021.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. de F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 771–780, 2007. DOI 10.1590/S0100-06832007000400017. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832007000400017&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000400017&lng=pt&tlng=pt) . Acesso em: 31 jul. 2021.

LAZZARI, M. **Levantamento e avaliação de práticas de manejo conservacionistas do solo na microbacia do rio Chopim - Pato Branco, PR.** 2019. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2019. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16654> . Acesso em: 9 ago. 2021.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. 2012. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/BqfJddJP4fLkbCVdqPjyRZM/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 16 jun. 2021.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M.; BEUTLER, S. J. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. v. 30, p. 43–54, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15041/13681> . Acesso em: 31 jul. 2021.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 175–187, 2004. DOI 10.1590/S0100-06832004000100017. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832004000100017&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000100017&lng=pt&tlng=pt) . Acesso em: 2 ago. 2021.

MARAFÃO, D. **Nitrogênio mineral em um latossolo em função de sistemas de manejo do solo e de cultura de cobertura de inverno.** 2016. 67 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1624> . Acesso em: 9 ago. 2021.

MARTINS, A. L. da S.; CONTE, O.; OLIVEIRA, P. de; DOSSA, Á. A.; SANTOS, J. C. F. dos; HERNANI, L. C.; RALISCH, R.; LEONARDO, H. C. L.; LUNARDI, L.; SALTON, J. C.; TOMAZI, M.; PITOL, C.; BONA, F. D.; BOEIRA, R. C. **Avaliação ex**



- ante do Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP) com Produtores do Centro-Sul do Brasil.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/190814/1/CNPS-DOC-203-2018.pdf> . Acesso em: 2 nov. 2022.
- MENDES, I. de C.; CHAER, G. M.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; DANTAS, O. D.; OLIVEIRA, M. I. L. de; LOPES, A. A. de C.; SOUZA, L. M. de. Bioanálise de solo: a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola. , p. 1–11, 2020. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1128778>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos. Bioindicadores de qualidade do solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. v. 32, p. 185–203, 2015. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/23311> . Acesso em: 9 ago. 2021.
- MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C. Indicadores de qualidade biológica para manejo sustentável de solos arenosos. , p. 2–27, 2018. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2018/06/boletimsbcs2018-1.pdf> . Acesso em: 9 ago. 2021.
- MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo.** 6. ed. Porto Alegre, RS: Evangraf, 2017.
- NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P. de; SILVA, eferson R. M. da; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136–145, 2019. DOI 10.5965/223811711812019136. Disponível em: <http://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/10832> . Acesso em: 31 jul. 2021.
- NASCENTE, A. S.; SILVEIRA, P. M. da; LOBO JUNIOR, M.; SANTOS, G. G.; CUNHA, P. C. R. da. Atributos químicos de latossolo sob plantio direto afetado pelo manejo do solo e rotação de culturas. v. 27, p. 153–163, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3345> . Acesso em: 10 ago. 2021.
- PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 567–573, jun. 2004. DOI 10.1590/S0100-204X2004000600008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2004000600008&lng=pt&tng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004000600008&lng=pt&tng=pt) . Acesso em: 12 out. 2022.
- PILATTI, G.; KIYOTA, N.; MENEZES, C. R. J.; SILVEIRA, A. L. Fi. da. Viabilidade econômica da produção de leite a pasto com suplementação balanceada: um estudo de caso do Polo de Pesquisa e Inovação do IDR-Paraná de Pato Branco. 2021. .

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. C.; RALISCH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0210104, 13 jan. 2022. DOI 10.36783/18069657rbcs20210104. Disponível em:

<https://www.rbcsjournal.org/article/adoption-of-the-no-tillage-system-in-parana-state-a-review/> . Acesso em: 6 nov. 2022.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P. de; PACHECO, F. P. Humic substances in soil cultivated with cover crops rotated with maize and soybean.

**REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, v. 48, n. 2, 2017. DOI 10.5935/1806-6690.20170026. Disponível em: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1806-6690.20170026> . Acesso em: 29 jul. 2021.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. de A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa: agorpecuária oeste, 2002. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/246248/1/LV20023.pdf> . Acesso em: 21 jul. 2021.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa: agorpecuária oeste, 2006. Disponível em:

<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192419/1/livro-Dinamica....pdf> . Acesso em: 2 ago. 2021.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. v. 43, p. 38–46, 2012. DOI <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100005>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rca/a/sSfcz46B864WJ5vz6DYctyK/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 15 jun. 2021.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z.; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Orgs.). **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Serviço de Produção de Informação - SPI, 1998. . Acesso em: 21 jul. 2021.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria Orgânica do Solo na Integração Lavoura-Pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa: agorpecuária oeste, 2005. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38779/1/BP200529.pdf> . Acesso em: 2 nov. 2022.

SILVA, C. F. da; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. da. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1680–1689, 2012. DOI 10.1590/S0100-06832012000600002. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832012000600002&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000600002&lng=pt&tlng=pt) . Acesso em: 6 ago. 2021.

SILVA, J. P. da. **Transferência de carbono de resíduos de leguminosas e não leguminosas para a matéria orgânica do solo e liberação de nutrientes**. 2019. 54 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/29312> . Acesso em: 12 out. 2022.

SOUZA, E. D. de; COSTA, S. E. V. G. de A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S. de; CARVALHO, P. C. de F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 79–88, 2010. DOI 10.1590/S0100-06832010000100008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000100008&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000100008&lng=pt&tlng=pt) . Acesso em: 6 ago. 2021.

TABALIPA, N. L.; FIORI, A. P. Estudo do clima do município de Pato Branco, Paraná. v. 3, 2008. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/287> . Acesso em: 11 ago. 2021.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141–163, jun. 1982. DOI 10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x> . Acesso em: 6 nov. 2022.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; MORAES, A. G. L. de; BEUTLER, S. J. Frações granulométricas e oxidáveis da matéria orgânica em sistemas de colhieta de cana-de-açúcar. v. 27, p. 16–23, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2790> . Acesso em: 10 ago. 2021.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. Microbial biomass measurements in forest soils: The use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 697–702, 1987. DOI 10.1016/0038-0717(87)90051-4. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0038071787900514> . Acesso em: 11 ago. 2021.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. v. 33, n. 4, p. 743–755, 2009. DOI 10.1590/S0100-06832009000400001. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832009000400001&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000400001&lng=pt&tlng=pt) . Acesso em: 22 jul. 2021.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185–195, 2012. DOI 10.1016/j.fcr.2011.12.013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429011004175> . Acesso em: 29 jul. 2021.