

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

IGOR EMANUEL CANAN

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS PERDAS DE POTÁSSIO, MATÉRIA ORGÂNICA,
SATURAÇÃO POR BASES (V%), A CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS
(CTC) E O pH-CaCl₂ EM ÁREA DE LAVOURA E NO CANAL DE TERRAÇOS
AGRÍCOLAS**

PATO BRANCO

2025

IGOR EMANUEL CANAN

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS PERDAS DE POTÁSSIO, MATÉRIA ORGÂNICA,
SATURAÇÃO POR BASES (V%), A CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS
(CTC) E O pH-CaCl₂ EM ÁREA DE LAVOURA E NO CANAL DE TERRAÇOS
AGRÍCOLAS**

**Qualitative evaluation of potassium losses, organic matter, base saturation
(v%), cation exchange capacity (cec) and ph-cacl₂ in crop areas and in the
channel of agricultural terraces**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Nilvania Aparecida de Mello

PATO BRANCO

2025



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

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

IGOR EMANUEL CANAN

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS PERDAS DE POTÁSSIO, MATÉRIA ORGÂNICA,
SATURAÇÃO POR BASES (V%), A CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS
(CTC) E O pH-CaCl₂ EM ÁREA DE LAVOURA E NO CANAL DE TERRAÇOS
AGRÍCOLAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 04/Junho/2025

Nilvania Aparecida de Mello
Doutorado em Agronomia
Universidade Tecnológica do Paraná

Luís César Cassol
Doutorado em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lisiane Soares
Doutorado em Zootecnia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2025

Dedico este trabalho à minha família, que me ensinou desde cedo o valor da terra, do trabalho duro e da persistência.

Aos meus pais, por todo apoio, confiança e por sempre acreditarem no meu potencial.

E a todos os agricultores que, mesmo enfrentando a força da natureza, continuam cultivando o futuro do nosso país com coragem e resiliência.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho representa não apenas a conclusão de uma etapa acadêmica, mas também o esforço coletivo de muitas pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para essa conquista.

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e pela serenidade nos momentos difíceis. Aos meus pais, verdadeiros alicerces da minha vida, que sempre me apoiaram com amor, conselhos e exemplo de dedicação ao trabalho no campo, foram eles que me ensinaram o valor da terra antes mesmo que eu entendesse o que era a Agronomia.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Nilvania Aparecida de Mello, minha gratidão pela orientação precisa, paciência e incentivo ao longo de toda a pesquisa. Sua dedicação foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e colegas de curso que compartilharam os desafios dessa caminhada, em especial aqueles que contribuíram com discussões, leituras e até visitas a campo, meu muito obrigado.

A terra é a base da vida. Cuidar dela é garantir o
amanhã.
— Anônimo rural

RESUMO

A erosão hídrica constitui um desafio crescente nas áreas agrícolas do sul do Brasil, especialmente em razão dos elevados índices pluviométricos. Este estudo teve como objetivo avaliar as perdas de potássio (K) e matéria orgânica (MO) associadas ao escoamento hídrico e aos sedimentos erodidos em uma encosta sob sistema plantio direto, localizada no município de São João, Sudoeste do Paraná. Testou-se a hipótese de que as maiores concentrações de potássio e matéria orgânica tendem a se acumular nos canais de escoamento e terraços, como resultado do carreamento de sedimentos e nutrientes provenientes das áreas de cultivo durante eventos de precipitação. O experimento foi conduzido entre dezembro de 2024 e janeiro de 2025, com o monitoramento da precipitação e a coleta de amostras de solo e sedimentos em diferentes pontos da propriedade, abrangendo áreas de lavoura, canais de escoamento e terraços. As coletas foram realizadas na profundidade de 0 a 5 cm, por concentrar maior quantidade de nutrientes em sistemas plantio direto. Foram avaliadas as seguintes variáveis químicas: potássio (K), matéria orgânica (MO), saturação por bases (V%), capacidade de troca de cátions (CTC) e pH-CaCl₂. Os resultados indicaram que os teores médios de potássio nas áreas de lavoura foram de 0,56 cmolc/dm³, enquanto nos sedimentos alcançaram 0,64 cmolc/dm³. Em relação à matéria orgânica, as médias foram de 37,07 g/dm³ na lavoura e 47,78 g/dm³ nos sedimentos. Esses dados confirmam a hipótese de que os sedimentos depositados nos canais de escoamento e terraços apresentam maior concentração de nutrientes, como resultado do carreamento provocado pelas chuvas, evidenciando a importância do manejo adequado do solo para mitigar perdas, preservar a fertilidade do solo e evitar impactos ambientais negativos.

Palavras-chave: erosão; potássio; terraços; cobertura dos solos.

ABSTRACT

Water erosion is a growing challenge in agricultural areas in southern Brazil, especially due to high rainfall. This study aimed to evaluate the losses of potassium (K) and organic matter (OM) associated with water runoff and eroded sediments on a slope under a no-tillage system, located in the municipality of São João, southwest of Paraná. The hypothesis was tested that the highest concentrations of potassium and organic matter tend to accumulate in runoff channels and terraces, as a result of the transport of sediments and nutrients from crop areas during precipitation events. The experiment was conducted between December 2024 and January 2025, with rainfall monitoring and soil and sediment samples collected at different points on the property, covering crop areas, runoff channels, and terraces. Collections were made at a depth of 0 to 5 cm, because there is a greater concentration of nutrients in no-tillage systems. The following chemical variables were evaluated: potassium, organic matter (K), organic matter (OM), base saturation (V%), cation exchange capacity (CEC) and pH (in SMP). The results indicated that the average potassium content in the crop areas was 0.56 cmolc/dm³, while in the sediments it reached 0.64 cmolc/dm³. Regarding organic matter, the averages were 37.07 g/dm³ in the crop and 47.78 g/dm³ in the sediments. These data confirm the hypothesis that the sediments deposited in the drainage channels and terraces have a higher concentration of nutrients, as a result of the transport caused by rainfall, highlighting the importance of adequate soil management to mitigate losses, preserve soil fertility and avoid negative environmental impacts.

Keywords: erosion; potassium; terraces; soil cover.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema dos processos de formação da MOS a partir dos resíduos de plantas e animais.....	22
Figura 2 - Distribuição da precipitação diária e acumulada registrada entre 03 de outubro de 2024 e 28 de janeiro de 2025 na área de estudo.....	32
Figura 3 – Área de realização do experimento.....	33
Figura 4 – Vista aérea da área experimental com a localização dos pontos de coleta de solo.....	34
Figura 5 - Média dos Teores de K em Lavoura e Sedimentos sob Sistema de Plantio Direto em encosta.....	41
Figura 6 – Média dos Teores de matéria orgânica em lavoura e sedimentos sob Sistema de Plantio Direto em encosta.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Culturas e manejo de adubação da área de estudo desde 2020.....	31
Tabela 2 - Descrição dos pontos de coleta de solo e sedimentos na área experimental.....	34
Tabela 3 – Teores de potássio (K), matéria orgânica (MO) e outros atributos químicos do solo em área de lavoura em encosta agrícola sob plantio direto..	37
Tabela 4 – Teores de potássio (K), matéria orgânica (MO) e outros atributos químicos em sedimentos erodidos em encosta sob plantio direto.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	antes de Cristo
Cfa	Clima subtropical úmido com verões quentes
mm	milímetros
SPD	Sistema Plantio Direto
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

Ca	Cálcio
K	Potássio
Mg	Magnésio
P	Fósforo
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Erosão hídrica.....	16
2.2	Causas e consequências da erosão hídrica.....	17
2.3	Sustentabilidade do solo.....	18
2.4	Perdas de Nutrientes por erosão hídrica e influência do manejo do solo.....	19
2.5	Matéria orgânica do solo.....	20
2.5.1	Efeitos da matéria orgânica no solo e relação com o manejo.....	22
2.6	Dinâmica do Potássio no solo e estratégias de adubação potássica.....	24
2.7	Processos de formação, transporte e comportamento dos sedimentos.....	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1	Área experimental.....	30
3.2	Manejo das culturas e fertilizantes.....	30
3.3	Monitoramento hidrológico.....	31
3.4	Amostragem e coleta do solo e sedimentos.....	32
3.5	Variáveis analisadas.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1	Avaliação do potássio e da matéria orgânica do solo numa encosta agrícola sob Plantio Direto.....	36
4.2	Potássio e matéria orgânica presente nos sedimentos.....	38
4.3	Perdas de potássio e matéria orgânica e as implicações agrônômicas e ambientais destas perdas.....	40
5	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é um problema enfrentado há muito anos, não causando apenas problemas econômicos, mas também ambientais. Ela vem sendo enfrentada, no entanto, está se tornando um problema mais frequente nas áreas de cultivo pelos altos índices pluviométricos da região sul do Brasil. O solo utilizado para atividades agrícolas exerce um papel central na produtividade e na sustentabilidade dos sistemas agropecuários. A presença e a disponibilidade de nutrientes no solo são fatores essenciais para o bom desenvolvimento das culturas. Contudo, esses nutrientes podem ser mobilizados e transportados para áreas adjacentes, como margens de cursos d'água, fragmentos de vegetação nativa e terraços, os quais atuam como zonas de retenção e proteção, contribuindo significativamente para a conservação dos ecossistemas naturais e agrícolas. Apesar de sua importância, o manejo e a preservação do solo ainda enfrentam diversos desafios. Entre os principais estão a necessidade de promover o uso mais eficiente das terras, com vistas ao aumento da produtividade agrícola, à redução dos impactos ambientais e à incorporação de técnicas e práticas sustentáveis que assegurem a conservação dos recursos naturais e a viabilidade dos sistemas produtivos a longo prazo (Andrade *et al.*, 2010).

O processo de erosão hídrica do solo é dividido em três fases diferentes que se complementam, a primeira é quando ocorre a desagregação das partículas que constituem os agregados do solo, devido ao impacto das gotas de chuva. Em segundo vem a etapa de transporte do material desagregado, que é carregado pela água na qual escoam superficialmente no solo, isso ocorre quando a quantidade de chuva supera a capacidade do solo em absorver a água. Também nesta fase pode ocorrer mais desagregações se a quantidade de água for elevada, causando atrito. Por fim, este sedimento que está em deslocamento se deposita em função da capacidade do escoamento ser superada pela quantidade de material transportado (Prado *et al.*, 2010).

Os esforços para a conservação do solo no Brasil, estiveram focados em práticas mecânicas como a construção de curvas de níveis, terraços, canais de drenagem, plantio em nível ou em faixas, entre outros (Nakamura; Filho, 1982). Porém com o passar dos anos reconheceu-se que estas técnicas mecânicas não eram suficientes, ou seja, continuavam a ocorrer problemas de erosão no solo

(Vieira; Uhl; Nepstad, 1994). Mais especificamente esse reconhecimento ocorreu no Brasil na década de 70, com isso, começou-se a aplicação de novas técnicas de conservação, por exemplo o Sistema Plantio Direto (SPD) (Freitas *et al.*, 2002).

Com a implementação do plantio direto, a erosão foi reduzida de forma expressiva, essa técnica de plantio foi difundida somente na década de 90, baseado em três princípios fundamentais, a não perturbação do solo, a manutenção constante de cobertura vegetal viva ou morta e a prática de rotação de culturas. Esse período se destacou como um excelente exemplo de progresso no campo da conservação, impulsionando o avanço da agricultura tropical. Isso significa que esses princípios serviram como um modelo positivo para o desenvolvimento sustentável da agricultura em regiões tropicais, contribuindo para a preservação do solo e o aumento da produtividade (Deuschle *et al.*, 2019).

No que se refere ao plantio direto, observa-se alta concentração de nutrientes minerais na superfície do solo, desta forma pode ocorrer a perda ainda mais significativa de minerais. Um exemplo é o potássio que perde cerca de 10% de tudo que é aplicado no solo (Malavolta, 2006). Mesmo as perdas sendo menos visíveis em um SPD, devem ser levadas em conta pela quantidade de nutrientes que está sendo perdido na área em questão (BertoL; Maria; Souza, 2019).

O potássio é um macronutriente essencial amplamente requerido pelas plantas, desempenhando papel fundamental em diversos processos fisiológicos e bioquímicos. Em função dessa importância, a obtenção de altos rendimentos está diretamente relacionada à adequada disponibilidade de K para a cultura. Normalmente os solos Brasileiros apresentam um índice de carência do Potássio, por conta da sua forma solúvel, utilizada pela planta, com isso, em grandes níveis de pluviosidade é comum a carência deste nutriente no solo (Kinpara, 2003).

A matéria orgânica do solo desempenha um papel crucial na manutenção da fertilidade, influenciando diretamente a estrutura, a capacidade de retenção de água, a disponibilidade de nutrientes e a atividade biológica do solo. No entanto, práticas inadequadas de manejo e a ocorrência de processos erosivos podem levar à redução significativa dos teores de matéria orgânica, comprometendo a qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Brady; Weil, 2013).

Diante desse cenário, estratégias de mitigação do escoamento superficial e dos processos a ele associados, como a perda de nutrientes, tornam-se importantes não apenas para conservar o solo, mas também para otimizar o uso de fertilizantes

e reduzir seus impactos ambientais, como a contaminação de corpos d'água. O SPD tem se mostrado uma alternativa eficaz nesse contexto, principalmente por reduzir a erosão e preservar a estrutura do solo. No entanto, sua eficácia pode ser limitada em situações de precipitação de média e alta intensidade (Londero *et al.*, 2021).

A partir do exposto, é fundamental quantificar as perdas de nutrientes que ocorrem em decorrência do escoamento, especialmente em regiões com relevo mais acidentado, como áreas de encosta agrícola. Nesses locais, é comum haver variabilidade nos atributos químicos do solo entre diferentes zonas de manejo. Com base nisso, este estudo parte da hipótese de que as maiores concentrações de potássio e matéria orgânica tendem a se acumular em canais de escoamento e terraços, como resultado do carreamento de sedimentos e nutrientes provenientes das áreas de cultivo durante eventos de precipitação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar perdas de Potássio e Matéria orgânica associadas ao escoamento e aos sedimentos erodidos em encosta sob plantio direto.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a avaliação do potássio e da matéria orgânica do solo numa encosta agrícola sob Plantio Direto;
- Avaliar o potássio e a matéria orgânica presente nos sedimentos geradas numa encosta agrícola sob Plantio Direto;
- Identificar as perdas de potássio e matéria orgânica e as implicações agronômicas e ambientais destas perdas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Erosão hídrica

A degradação do solo, predominantemente causada pela erosão, pode manifestar-se de maneira natural ou ser intensificada pela interferência humana. Esse fenômeno não é novo, remontando aos registros dos Sumérios por volta de 3.000 a.C., conforme documentado por (Bennett *et al.*, 1939). Esses registros revelam que a transição para a era neolítica, marcada pela fixação do homem na terra, estabeleceu uma relação constante e inversa entre a utilização do solo e sua consequente degradação.

Do ponto de vista da agricultura, a erosão apresenta desafios tanto em sua área de origem quanto em regiões adjacentes. No local de origem, ela resulta na redução da fertilidade do solo devido à perda de carbono orgânico e nutrientes da camada superficial. Isso leva a uma degradação física, biológica e química do solo, culminando no rebaixamento da camada arável ao longo do tempo. Essa diminuição impacta negativamente o potencial produtivo do solo, aumentando os custos com adubação química e podendo até inviabilizar a competitividade produtiva, levando à exclusão de áreas do processo agrícola. Além disso, fora do local de origem, a erosão do solo gera problemas ambientais ao depositar sedimentos, nutrientes e matéria orgânica em corpos d'água. Isso provoca assoreamento, reduzindo a disponibilidade de água, e eutrofização, comprometendo a qualidade da água. Esses efeitos prejudicam não apenas a qualidade e a quantidade da vida aquática, mas também afetam a geração de energia por hidroelétricas. Concomitantemente, há o potencial agravamento de eventos de enchentes, conforme abordado por (Leite, 2016).

A erosão exerce influências multifacetadas e em graus diversos sobre o solo, especialmente quando se trata da erosão hídrica causada por chuvas. Essa dinâmica é moldada por fatores como as propriedades da chuva, a natureza do solo, a topografia, a cobertura vegetal, as práticas de manejo do solo e as estratégias conservacionistas adotadas para minimizar seus impactos (Obi; Salako, 1995).

A restauração de solos degradados pela erosão hídrica, quando ainda é possível, geralmente implica em custos elevados e um extenso período de tempo. Portanto, as abordagens mais práticas e econômicas, do ponto de vista técnico e financeiro, envolvem a prevenção e o controle da erosão. Nesse contexto, o controle

da erosão acelerada, considerado como elemento fundamental da conservação do solo, engloba um conjunto de práticas voltadas para a preservação e melhoria da qualidade do solo (Barreto, 2007).

2.2 Causas e consequências da erosão hídrica

A erosão hídrica resulta da interação complexa entre fatores como clima, tipo de solo, topografia, cobertura vegetal, manejo do solo e a implementação de práticas conservacionistas (Wischmeier; Smith, 1958). Essa manifestação varia consideravelmente na superfície do terreno, sendo que as perdas resultantes de solo, água e nutrientes desempenham um papel crucial no empobrecimento das terras cultiváveis. Esse empobrecimento leva a uma rápida diminuição da capacidade produtiva do solo, tornando os sistemas de produção agrícola insustentáveis, como apontado por (Bertol *et al.*, 2004). Essa influência negativa é ainda mais pronunciada em áreas com declividade acentuada e/ou falta de cobertura vegetal. O desenvolvimento de modelos que possam estimar com precisão as perdas causadas pela erosão hídrica é essencial para orientar a escolha de práticas de conservação da água e do solo, visando minimizar os impactos ambientais.

O impacto prejudicial da erosão é amplamente determinado pelo regime pluvial e pelas características das chuvas em uma determinada região, com a intensidade da precipitação destacando-se como uma das principais influências (Weber *et al.*, 1976). As chuvas naturais exibem variações significativas em termos de intensidade ao longo de sua ocorrência, razão pela qual podem ser categorizadas em distintos padrões ou perfis de precipitação.

Nos últimos anos, ganhou destaque a crença equivocada de que o SPD seria suficiente para controlar a erosão, sob a suposição errônea de que esse sistema, por si só, impediria a formação de escoamento superficial em todas as condições, eliminando a necessidade de práticas adicionais como terraceamento, plantio em nível e adequação conservacionista de estradas. Essa perspectiva levou a um aumento significativo da erosão em várias regiões do Paraná, evidenciado por sulcos e até mesmo voçorocas, resultantes da remoção indiscriminada de terraços em lavouras que adotaram o SPD sem critérios técnicos (Bertol; Maria; Souza, 2019).

Essa abordagem contradiz os princípios conservacionistas, uma vez que o SPD é eficaz no controle da desagregação do solo causada pelo impacto das gotas

de chuva, devido à proteção proporcionada pela palhada. No entanto, sua eficiência é menor nas fases de transporte e deposição do solo. Portanto, depender exclusivamente do SPD para controlar a erosão hídrica, além de desconsiderar os esforços de pesquisa e assistência técnica que contribuíram significativamente para a melhoria ambiental, tem favorecido o avanço do processo erosivo (Bertol; Maria; Souza, 2019).

2.3 Sustentabilidade do solo

O aumento de áreas degradadas em regiões previamente produtivas é uma realidade observada em várias partes do Brasil. A erosão, manifestando-se em diferentes formas, como laminar, sulcos e voçorocas, transporta solo, sementes, adubos e agrotóxicos para corpos hídricos, como lagos, rios e, eventualmente, o oceano. Isso resulta na diminuição da produção e no empobrecimento dos agricultores, ao mesmo tempo em que contribui para o assoreamento e a contaminação dos recursos hídricos. Além disso, o desmatamento para abrir novas áreas de produção agrícola agrava a perda de biodiversidade nos diversos biomas brasileiros. Para prevenir essa degradação, é imperativo planejar as atividades agropecuárias de acordo com a aptidão agrícola das terras, adotando práticas de manejo do solo que considerem suas fragilidades e potencialidades (Vezzani; Mielniczuk, 2009).

Por meio da compilação de dados provenientes de diversas fontes no meio físico e biótico, e utilizando sistemas de informação capazes de integrar esses dados, torna-se viável dividir a paisagem em diferentes zonas. Esse processo possibilita um planejamento mais eficaz para o uso, conservação e recuperação das terras. Essa abordagem tem se revelado um instrumento crucial para o ordenamento territorial e o planejamento do uso da terra. Exemplos notáveis incluem a implementação do Zoneamento Agrícola na Política Agrícola Brasileira, a introdução do Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico e a crescente demanda por Zoneamentos Agroecológicos Estaduais. Esses casos confirmam a importância de desenvolver ações de planejamento em todas as regiões do Brasil. Para estabelecer sistemas sustentáveis nas diversas zonas agroecológicas, é fundamental aplicar técnicas conservacionistas adaptadas aos distintos ambientes e sistemas de produção agropecuária. Essas práticas visam proteger o solo, garantindo sua funcionalidade em processos como troca de ar e calor, armazenamento e ciclagem

de nutrientes, decomposição da matéria orgânica, regulação do fluxo de água e movimento de materiais solúveis, atuando como filtro ou tampão para elementos e compostos tóxicos (Pereira; Marques; Paes, 2017).

Os sistemas conservacionistas incorporam a redução significativa do revolvimento do solo, promovendo a rotação de diferentes usos e culturas, a manutenção contínua da cobertura do solo, a aplicação de manejo integrado para controlar pragas, doenças e plantas daninhas, a seleção de espécies vegetais e o desenvolvimento de variedades mais produtivas e adaptadas. Além disso, envolvem práticas mais racionais de adubação e outras tecnologias ajustadas aos diferentes sistemas de produção. Desenvolvidos especificamente para as condições de solo e clima de cada região, esses sistemas conservacionistas estão cada vez mais presentes na paisagem, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas e proporcionando renda aos agricultores. Destacam-se, entre outros, os sistemas agroflorestais, a integração lavoura-pecuária-floresta e o sistema de plantio direto (Martins; Casalinho; Silva, 2007).

O manejo agroecológico desses sistemas enfatiza práticas que asseguram um aporte constante de matéria orgânica, um elemento fundamental para a construção da fertilidade do solo em sua abrangência mais ampla. Em outras palavras, o solo é gerido de maneira a estimular as atividades biológicas, promovendo o crescimento de plantas bem nutridas que proporcionam alimentos equilibrados e saudáveis. Esse tipo de manejo busca priorizar o uso de recursos naturais renováveis, disponíveis localmente, reduzir a dependência do produtor em relação a insumos externos e preservar recursos naturais não renováveis (Martins; Casalinho; Silva, 2007).

2.4 Perdas de Nutrientes por erosão hídrica e influência do manejo do solo

A utilização contínua de adubos em áreas agrícolas ao longo de um extenso período pode resultar no acúmulo de potássio (K) na camada superficial do solo, particularmente em práticas como a semeadura direta, que não envolve o revolvimento do solo. Isso leva ao aumento das concentrações desses nutrientes tanto na água quanto nos sedimentos transportados pela enxurrada (Werle; Garcia; Rosolem, 2008).

A presença de nutrientes na enxurrada resultante da erosão hídrica está condicionada à concentração desses elementos na camada mais superficial do solo.

Essa concentração é afetada pela fertilidade natural do solo, bem como pela quantidade, tipo e método de aplicação de fertilizantes e corretivos. Portanto, as perdas totais de nutrientes devido à erosão hídrica são derivadas da concentração inicial desses elementos no solo e das quantidades totais de solo e água removidas durante o processo erosivo. De maneira geral, observa-se uma relação positiva e linear entre a concentração de nutrientes no material erodido e aquele presente na camada de 0 a 2,5 metros de profundidade do solo original (Maggi *et al.*, 2011).

A perda de nutrientes essenciais para as plantas, como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), devido à erosão hídrica, representa uma significativa perda financeira, considerando os investimentos em adubos e calcário que foram previamente aplicados no solo. Isso resulta em um aumento subsequente nos custos de produção das culturas (Nachtigall; Raji, 2005).

Contudo, a implementação de práticas de manejo conservacionista do solo e de técnicas como o cultivo em contorno tem demonstrado uma expressiva redução nas perdas absolutas, uma vez que contribuem para a mitigação da erosão hídrica. Além disso, a adoção de terraços agrícolas tem se mostrado eficaz, pois esses terraços têm a capacidade de reter a enxurrada dentro das áreas cultivadas, contribuindo para a minimização das perdas (Langdale; Leonard; Thomas, 1985).

As perdas de nutrientes devido à erosão hídrica podem desempenhar um papel significativo no empobrecimento do solo na área de origem da erosão. Além disso, essas perdas têm o potencial de contaminar o ambiente, especialmente as águas superficiais, fora da região de origem da erosão. Portanto, ao serem retidos nas áreas cultivadas, esses nutrientes podem resultar em economia substancial em adubos e calcário no contexto do sistema de produção vegetal (Rosolem; Calonego; Foloni, 2003).

2.5 Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) compreende todos os compostos presentes no solo que contêm carbono orgânico, incluindo microrganismos vivos e mortos, restos de plantas e animais em diferentes estágios de decomposição, além dos produtos resultantes desse processo, como substâncias orgânicas modificadas por ação microbiológica e/ou química. A formação da MOS é originada, predominantemente, a partir da decomposição de resíduos vegetais e animais. Esses materiais, ao serem incorporados ao solo, passam inicialmente pela

fragmentação promovida pela mesofauna e, em seguida, pela degradação microbiana, processo que resulta na liberação parcial do carbono na forma de dióxido de carbono (CO₂), fenômeno conhecido como mineralização (Loureiro, 2008) (Figura 1).

Segundo Silva *et al.* (2006), a MOS pode ser dividida em diferentes compartimentos:

a) Fração “leve”: composta por restos de plantas em diferentes estágios de decomposição, localizados no interior do solo. Sua composição é semelhante à da liteira — camada superficial de resíduos vegetais e animais parcialmente decompostos —, embora esta última não seja considerada parte da MOS. A fração leve representa de 2 a 30% da MOS, e sua presença é influenciada por fatores como clima, tipo de manejo e características do solo, incluindo textura, pH, temperatura e umidade, os quais afetam a taxa de decomposição.

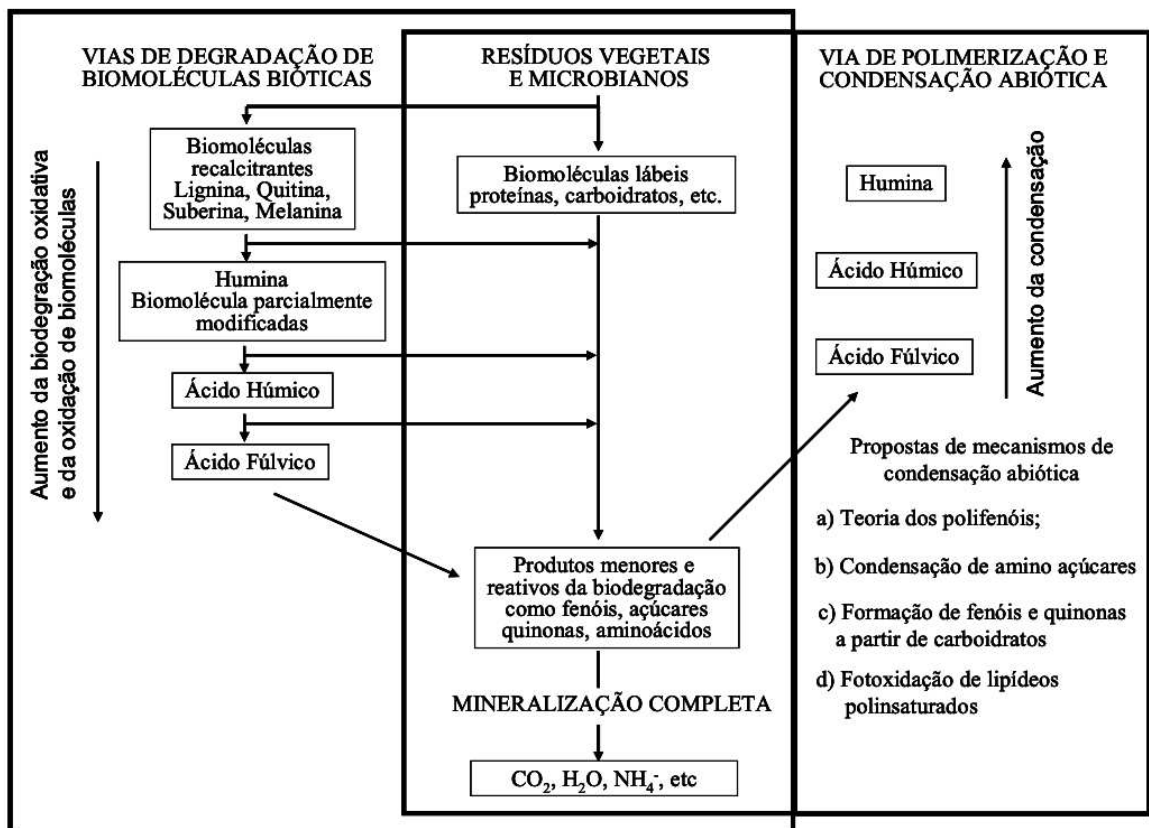
b) Biomassa microbiana: refere-se à fração da MOS constituída por tecidos microbianos vivos. Inicialmente, essa biomassa atua na decomposição dos resíduos orgânicos, competindo com as plantas pelos nutrientes disponíveis, podendo causar imobilização temporária, especialmente de nitrogênio. Em fases posteriores, esses microrganismos mortos contribuem com a liberação de nutrientes às plantas, por meio do processo de mineralização.

c) Substâncias não-húmicas ou biomoléculas: incluem compostos orgânicos pertencentes a classes bioquímicas conhecidas, como carboidratos, aminoácidos, lipídios, resinas e ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Esses compostos são continuamente produzidos por microrganismos e raízes das plantas e influenciam diversas reações no solo, como a complexação de metais, reações ácido-base e a formação de agregados. Apesar de representarem entre 5% e 25% da MOS, possuem curta permanência no solo devido à sua rápida degradação pelos microrganismos.

d) Substâncias húmicas ou húmus estável: representam a maior parte da MOS e resultam da transformação dos compostos orgânicos durante o processo de humificação. O húmus é um material escuro, de alto peso molecular. Devido à sua elevada complexidade química, o húmus é composto por substâncias que não são facilmente degradadas pelos microrganismos do solo, o que confere a ele uma alta resistência à decomposição. Como resultado, decompõe-se muito lentamente,

permanecendo no solo por longos períodos e contribuindo para o acúmulo e a estabilidade da matéria orgânica.

Figura 1 - Esquema dos processos de formação da MOS a partir dos resíduos de plantas e animais



Fonte: Loureiro (2008).

A distribuição da MOS no perfil do solo não é homogênea, sendo mais concentrada na camada superficial (0–20 cm), onde há maior acúmulo de resíduos vegetais e atividade radicular (Rasche; Cadish, 2013). Essa matéria exerce papel fundamental na melhoria da qualidade do solo, influenciando suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Em termos físicos, contribui para a estabilidade dos agregados, aumentando a porosidade, aeração e a capacidade de infiltração e retenção hídrica (Bayer; Mielniczuk, 2008). Quimicamente, favorece a capacidade de troca catiônica (CTC), a disponibilidade de nutrientes essenciais – como nitrogênio, fósforo e enxofre – e a complexação de micronutrientes, especialmente em solos tropicais altamente intemperizados (Bayer; Mielniczuk, 2008).

2.5.1 Efeitos da matéria orgânica no solo e relação com o manejo

A MOS exerce múltiplas funções essenciais à manutenção da fertilidade e à sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Entre suas principais contribuições, destacam-se: (a) a capacidade de troca catiônica; (b) a retenção e liberação de nutrientes; (c) a influência sobre a estrutura do solo e sua densidade aparente; (d) a retenção de água e a regulação da drenagem; e (e) a promoção da atividade biológica no solo (Overstreet; Dejong-huges, 2009).

A capacidade de troca catiônica (CTC) representa a habilidade do solo de reter e fornecer cátions essenciais às plantas, como NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ . Solos com maior CTC tendem a ser mais férteis, com maior capacidade de armazenar nutrientes e menor suscetibilidade à lixiviação, além de exigirem menos aplicação de corretivos e fertilizantes (Cuçe, 2007).

No que se refere à retenção e liberação de nutrientes, a matéria orgânica, especialmente o húmus, atua como um reservatório natural. Devido à sua carga negativa, é capaz de reter cátions e liberá-los gradualmente, funcionando como um fertilizante de liberação lenta. Além disso, a matéria orgânica do solo é rica em nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S) e micronutrientes, sendo composta por aproximadamente 50% de carbono (C) (Overstreet; Dejong-huges, 2009).

A MOS também influencia de forma significativa a estrutura do solo. Ela age como agente cimentante, promovendo a formação de agregados estáveis, o que melhora a aeração, a infiltração de água e reduz a compactação. Resíduos vegetais e substâncias produzidas por microrganismos, como polissacarídeos e hifas fúngicas, são fundamentais nesse processo. Consequentemente, a retenção de água também é favorecida. Solos com maior conteúdo de matéria orgânica geralmente apresentam menor densidade aparente e maior porosidade, o que permite a retenção de água em diferentes tamanhos de poros. Parte dessa água permanece disponível para as plantas, mesmo durante períodos de déficit hídrico. Além disso, a estrutura agregada favorece a infiltração e o escoamento adequado da água, reduzindo problemas de encharcamento ou erosão (Overstreet; Dejong-huges, 2009).

Por fim, a MOS sustenta a intensa atividade biológica do solo. Microrganismos como bactérias e fungos, apesar de representarem uma fração

pequena da MOS, são essenciais para processos como a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio, o controle de patógenos e o estabelecimento de relações simbióticas com as plantas. A fauna edáfica, composta por minhocas, colêmbolos, ácaros e insetos, também contribui, fragmentando a matéria orgânica, promovendo sua incorporação ao solo e favorecendo a aeração (Overstreet; Dejong-huges, 2009).

Assim, a matéria orgânica do solo constitui um componente vital para a manutenção da fertilidade, da estrutura física e da atividade biológica dos solos, sendo essencial para o equilíbrio dos ecossistemas agrícolas e naturais. Contudo, a quantidade de MOS resulta do equilíbrio entre a adição de resíduos orgânicos e os processos de mineralização e humificação aos quais esses materiais são submetidos (Campos *et al.*, 2004). Essa dinâmica é fortemente influenciada por variáveis como o tipo de solo, as condições climáticas e pelas práticas de manejo adotadas.

Nos sistemas de preparo convencional, o revolvimento intenso do solo, aliado à baixa inserção de resíduos vegetais, tende a acelerar os processos de decomposição da matéria orgânica. Esse desequilíbrio entre a elevada taxa de mineralização e a limitada adição de material orgânico promove, ao longo do tempo, a diminuição dos teores de carbono no solo. Por outro lado, sistemas de manejo conservacionista, como o plantio direto e o preparo reduzido, associados a culturas que fornecem elevada quantidade de resíduos, favorecem o acúmulo de carbono, resultando em melhorias significativas na qualidade do solo (Terra, 2013).

Além dos aspectos acima discutidos, outros fatores também influenciam diretamente a dinâmica da MOS. A escolha das culturas implantadas, o tipo de adubação – seja com fertilizantes minerais ou orgânicos – e o manejo da cobertura vegetal são variáveis que interferem na qualidade e quantidade da matéria orgânica presente no solo (Leite *et al.*, 2003). Estudos indicam que, quando ecossistemas naturais são substituídos por sistemas agrícolas intensivos, como monocultivos de espécies anuais, pastagens ou plantações florestais, tende a ocorrer uma diminuição dos estoques de matéria orgânica, resultado do aumento da atividade microbiana, maior exposição à erosão e da menor entrada de resíduos orgânicos de qualidade (Assunção, 2016).

Dessa forma, práticas que promovam a adição de resíduos orgânicos de boa qualidade e minimizem o revolvimento do solo contribuem para o acúmulo de

matéria orgânica, favorecendo, conseqüentemente, a melhoria das propriedades do solo e o aumento da produtividade agrícola.

2.6 Dinâmica do Potássio no solo e estratégias de adubação potássica

Entre os fatores que impactam diretamente a produtividade de culturas de interesse agrícola está a disponibilidade de nutrientes para as plantas, sendo o potássio (K) um dos macronutrientes requerido em maior quantidade. Apesar de não compor estruturas orgânicas, o potássio desempenha funções importantes no metabolismo vegetal, como ativação da catálise biológica (enzima envolvida na assimilação do nitrogênio e na produção de proteínas), regulação osmótica (controlando os processos de absorção e perda de água) e síntese e translocação de açúcares (Nascimento *et al.*, 2008).

A dinâmica do potássio é complexa, pois no solo ele se encontra em três formas principais: (i) não disponível, fortemente retido à estrutura de minerais, sendo liberado gradualmente com o processo de intemperismo desses minerais; (ii) lentamente disponível, presente entre as lâminas de certos tipos de argila que, ao se expandirem ou se contraírem, conforme as condições de umidade do solo, tornam o K não disponível ou levemente disponível às plantas; e (iii) disponível, presente na solução do solo ou adsorvido na fração argilosa e na matéria orgânica (Gonçalves, 2018).

Em sistemas agrícolas, a dinâmica do K no solo está relacionada à entrada de K da fertilização e à saída de K devido à exportação pelas plantas, bem como a outras perdas de K. Esse processo também é influenciado pelo grau de intemperismo do solo. Em solos pouco intemperizados, a presença de minerais 2:1 aumenta a reserva de K, enquanto em solos altamente intemperizados, a baixa disponibilidade de K exige um manejo mais eficiente. A transformação de minerais como mica e ilita em vermiculita (vermiculitização) também pode liberar potássio para a solução do solo, ao mesmo tempo em que altera a CTC (Moterle *et al.*, 2016).

Além da adubação, a ciclagem biológica representa uma via importante de redistribuição do potássio. Algumas culturas, por exemplo a aveia, são capazes de acumular grandes quantidades de K na parte aérea e, quando manejadas corretamente, promovem a reciclagem do nutriente, que é devolvido ao solo principalmente por meio da palha, com liberação de forma acelerada, especialmente nos primeiros 15 dias (Giacomini *et al.*, 2003).

Quanto às fontes de adubação potássica, as mais utilizadas são o cloreto de potássio (KCl), o sulfato de potássio (K_2SO_4) e o nitrato de potássio (KNO_3). O KCl é responsável por cerca de 95% do potássio aplicado nas lavouras, devido ao seu alto teor de K_2O , elevada solubilidade e menor custo (Raimundo *et al.*, 2022). No entanto, não é recomendado para culturas sensíveis ao cloro, como o fumo e a batata, devido à alta concentração desse elemento, que pode comprometer a qualidade do produto final. Nessas situações, é necessário o uso de fontes alternativas, como o K_2SO_4 . Além disso, em sistemas de produção orgânica, o uso de KCl é proibido, sendo permitido apenas o sulfato de potássio (sob algumas restrições) e outras fontes naturais, o que representa um desafio, especialmente em solos tropicais (Gonçalves, 2018).

Os fertilizantes potássicos têm origem mineral, mas diferente das rochas fosfatadas podem ser aplicados diretamente ao solo, sem necessidade de tratamentos químicos prévios. Esses minérios formaram-se pela evaporação de antigos mares e lagos, depositando sais de potássio e outros compostos em seus fundos, há milhares de anos. Contudo, esses depósitos, atualmente enterrados sob camadas espessas de rochas e solos, são difíceis de acessar, com minas de potássio alcançando profundidades de até dois mil metros. Além disso, o processo de extração envolve a separação dos componentes indesejáveis dos minérios, o que é outro desafio. Alguns dos maiores depósitos de potássio estão localizados no oeste dos Estados Unidos e no Canadá, enquanto outras ocorrências significativas se encontram no centro da Europa e na Rússia. Além dessas fontes minerais, as salinas naturais, como as do Lago Searles e do Lago Salgado, em Utah, nos EUA, e o Mar Morto, em Israel, também são fontes importantes de potássio. Outras fontes incluem a cainita (predominante em KCl), sais de estrumes e o sulfato de potássio e magnésio (sal duplo de K e Mg) (Moares Neto, 2010). No contexto brasileiro, a demanda por potássio é alta, e o país é um grande importador desse fertilizante, uma vez que a produção interna não é suficiente para suprir a necessidade do mercado agrícola (Gonçalves, 2018).

Assim, o conhecimento sobre a dinâmica do potássio no solo, aliado à escolha adequada das fontes e à adoção de estratégias de manejo que favorecem a ciclagem biológica, é essencial para garantir a eficiência da adubação potássica e a sustentabilidade nos sistemas de produção agrícola.

2.7 Processos de formação, transporte e comportamento dos sedimentos

Os sedimentos podem ser definidos como materiais sólidos que resultam da fragmentação de rochas ou da precipitação de substâncias dissolvidas. Eles são transportados por agentes naturais, como a água, o vento, o gelo e a gravidade, até se depositarem em determinado local (Suguio, 2003). Esses materiais variam em tamanho de partículas muito finas, como argilas, até fragmentos maiores, como blocos de rocha, que desempenham um papel essencial tanto na formação das rochas sedimentares quanto em processos ambientais e de engenharia (Boggs, 2012).

O processo de formação dos sedimentos começa com a desagregação das rochas, um fenômeno conhecido como intemperismo. Essa transformação pode ocorrer de maneira física, química ou biológica. O intemperismo físico acontece quando as rochas se quebram por ação de fatores como variação térmica e congelamento da água. Já o intemperismo químico envolve alterações na composição dos minerais, geralmente por reações com a água ou o oxigênio. Por fim, o intemperismo biológico é provocado pela ação de seres vivos, como raízes que penetram em rochas ou microrganismos que contribuem para sua decomposição (Pettijohn, 1984).

Após essa etapa, os sedimentos são transportados por diferentes agentes, como os rios, que têm papel importante na erosão e deslocamento dos materiais até áreas de deposição. Durante esse percurso, os sedimentos sofrem transformações no seu formato, tamanho e composição, o que afeta diretamente suas características finais (Santos; Oliveira, 2010).

O transporte dos sedimentos depende da energia disponível no ambiente. Quanto mais energia (como em rios com correntezas fortes), maior a capacidade de deslocar partículas grandes. Quando essa energia diminui, os sedimentos começam a se depositar, formando bancos, deltas, planícies de inundação, entre outros. A maneira como os sedimentos são transportados pode ser dividida em três formas principais: em suspensão (partículas leves), por saltação (movimento em pequenos saltos) e por rolamento ou tração (materiais mais pesados que se movem no fundo) (Einstein, 1950).

As características dos grãos sedimentares, como tamanho, forma e distribuição, mudam ao longo do trajeto, o que permite entender o ambiente onde

foram transportados e acumulados. A granulometria, ou seja, a análise do tamanho dos grãos, é uma ferramenta essencial para isso. De acordo com a escala de Wentworth, os sedimentos são classificados como argila, silte, areia e cascalho (Blatt et al., 1980).

Os sedimentos podem ser agrupados com base em como se originaram. Conforme Tucker (2001), eles são divididos em sedimentos clásticos: compostos por fragmentos de outras rochas, sendo muito comuns em ambientes fluviais, desertos e mares. Sedimentos químicos: originados da precipitação de compostos dissolvidos, como ocorre na formação de evaporitos (sal, gesso). Sedimentos orgânicos: resultantes da acumulação de matéria orgânica, como acontece em pântanos que dão origem à turfa e, eventualmente, ao carvão.

Além disso, a composição química dos sedimentos ajuda a interpretar os processos ambientais e geológicos ocorridos no passado, sendo útil em estudos de bacias sedimentares (Nichols, 2009).

Cada tipo de sedimento responde de maneira distinta ao ambiente, conforme suas propriedades físicas e químicas. Fatores como granulometria, densidade, coesão e teor de matéria orgânica interferem no comportamento dos sedimentos durante o transporte, deposição e compactação (Folk, 1980). Por exemplo, sedimentos mais finos, como as argilas, tendem a se manter mais coesos, sendo menos propensos à erosão, enquanto sedimentos arenosos são mais móveis.

Os ambientes onde os sedimentos se depositam também influenciam seu comportamento. Em rios, o volume e a velocidade da água variam ao longo do ano, alterando a forma como os sedimentos são transportados. No litoral, as ondas e as correntes marinhas moldam constantemente o fundo dos ambientes costeiros (Reading; Collinson, 1996).

Outro aspecto importante é que os sedimentos têm a capacidade de reter substâncias químicas, como metais pesados e compostos orgânicos, o que pode representar riscos ambientais. Por esse motivo, o estudo dos sedimentos é essencial para monitorar a qualidade de rios, lagos e ambientes marinhos (Förstner; Wittmann, 1981).

Com o passar do tempo, os sedimentos depositados podem se transformar em rochas sedimentares, por meio de um processo chamado litificação. Esse processo envolve principalmente três etapas: compactação (pressão que reduz o espaço entre os grãos), cimentação (precipitação de minerais que “colam” os grãos

entre si) e mudanças químicas internas conhecidas como diagênese (Blatt *et al.*, 1980).

Essas transformações modificam as propriedades físicas do material, como a porosidade e a resistência, fatores relevantes para obras de engenharia, exploração de petróleo e análise de aquíferos.

A análise dos sedimentos é fundamental em diversas áreas. Na engenharia civil, ajuda a prever instabilidades em encostas, riscos de assoreamento e o comportamento do solo em fundações. Na geologia, permite interpretar a história geológica e paleoclimática de uma região. Na área ambiental, é usada para monitorar a qualidade da água e os impactos causados pela poluição (Kostaschuk, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

A área utilizada para o experimento fica localizada no município de São João, no Sudoeste do estado do Paraná, situada nas coordenadas geográficas de 25°50'15" de latitude sul e 52°43'58" de longitude oeste. O solo predominante na propriedade é classificado como Latossolo, apresentando elevado índice de fertilidade e alta qualidade química, conforme constatado por análise de solo realizada previamente na área.

Na área do experimento é adotado o sistema Plantio Direto (SPD) desde o ano de 1995, ou seja, há cerca de 30 anos, com cultivo de um mix forrageiro composto por centeio, aveia branca, aveia preta, nabo forrageiro, nabo pé de pato, além de culturas como milho safra, trigo mourisco, trigo comum, soja e canola.

No momento da coleta das amostras, a área encontrava-se cultivada com soja em fase final de ciclo, sendo que a cultura antecessora foi a canola. Durante a semeadura da soja (outubro/2024), foi realizada adubação de base com 205 kg ha⁻¹ de NPK 03-21-21, como parte do manejo nutricional da lavoura.

Todo o sistema produtivo é conduzido em nível e conta com a presença de terraços ao longo de toda a área agrícola, estrutura que visa mitigar os impactos da erosão hídrica. O relevo da propriedade é classificado como ondulado, apresentando declividade variando entre 8% e 20%.

3.2 Manejo das culturas e fertilizantes

Desde o ano de 2020, foram cultivadas na área de estudo culturas como soja, trigo, milho, canola, trigo mourisco e um mix de plantas de cobertura. As datas de semeadura e colheita seguiram as recomendações técnicas e o calendário agrícola da região. O manejo da fertilidade do solo foi realizado por meio de adubações, principalmente com fertilizantes da fórmula NPK, sendo as doses definidas conforme a necessidade nutricional de cada cultura e com base nos resultados de análise de solo. As quantidades aplicadas variaram entre 165 kg ha⁻¹ e 350 kg ha⁻¹, conforme registrado no histórico agrícola da propriedade (Tabela 1).

Tabela 1 - Culturas e manejo de adubação da área de estudo desde 2020

Data (mês/ano)	Cultura	Adubação
10/2020	Soja	200 kg ha ⁻¹ de NPK 03-21-21
05/2021	Trigo	200 kg ha ⁻¹ de NPK 10-20-18
10/2021	Soja	210 kg ha ⁻¹ de NPK 03-21-21
04/2022	Mix (centeio, nabo forrageiro, nabo pé de pato, aveia branca e preta)	190 kg ha ⁻¹ de fort cálcio 38% de cálcio na formulação
09/2022	Milho	350 kg ha ⁻¹ de NPK 10-20-18
02/2023	Trigo mourisco	Sem adubação
05/2023	Trigo	200 kg ha ⁻¹ de NPK 10-20-18
10/2023	Soja	250 kg ha ⁻¹ de NPK 03-21-21
04/2024	Canola	165 kg ha ⁻¹ de NPK 10-20-20
10/2024	Soja	250 kg ha ⁻¹ de NPK 03-21-21
03/2025	Nabo	Sem adubação

Fonte: Autoria própria (2025)

Em 2020, foi adotada a prática de Agricultura de Precisão na área de estudo, com a aplicação de calcário a taxa variada, conforme as necessidades específicas de cada ponto da lavoura. Além das adubações minerais descritas anteriormente, realiza-se uma fertilização orgânica complementar com cama de aviário, aplicada a cada dois anos, na proporção de 8 a 10 toneladas por alqueire.

3.3 Monitoramento hidrológico

O monitoramento da precipitação foi realizado entre os dias 3 de outubro de 2024 e 28 de janeiro de 2025. Durante esse período, embora tenham sido registrados eventos diários de chuva pelo pluviômetro instalado nas proximidades da área experimental, a maioria apresentou baixos volumes. Ainda assim, ocorreram dois eventos significativos de precipitação, com volumes superiores a 80 mm. O volume total acumulado no período foi de 480 mm, sendo que os eventos mais expressivos ocorreram no dia 7 de dezembro, com 110 mm, e no dia 9 de janeiro, com 80 mm, representando, respectivamente, 20,8% e 16,6% do total precipitado (Figura 2).

Figura 3 – Área de realização do experimento



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 4 – Vista aérea da área experimental com a localização dos pontos de coleta de solo



Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 2 - Descrição dos pontos de coleta de solo e sedimentos na área experimental

Local de coleta	Talhões	Descrição
Áreas de lavoura	SL1, SL2, SL3, SL4	Solo cultivado, fora dos canais e terraços
Canais de escoamento	C1, C2, C3	Sedimentos acumulados nos canais principais
Terraços agrícolas	TS1, TS2	Sedimentos retidos dentro dos terraços

Fonte: Autoria própria (2025)

As amostras de solo foram coletadas no dia 17 de janeiro de 2025 na profundidade de 0 a 5 cm, por concentrar a maior parte dos nutrientes, especialmente no sistema plantio direto, onde há menor mobilidade do potássio no solo, resultando em sua concentração nas camadas superficiais.

As análises realizadas nos canais de escoamento foram comparadas com análises de solo coletadas diretamente na área de lavoura. Essa comparação teve

como objetivo quantificar o volume e a qualidade do solo lixiviado, avaliando sua movimentação em direção às encostas ou aos terraços da área estudada.

3.5 Variáveis analisadas

No que se refere aos atributos químicos, foram avaliados o potássio (K), a matéria orgânica (MO), a saturação por bases (V%), a capacidade de troca de cátions (CTC) e o pH-CaCl₂.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do potássio e da matéria orgânica do solo numa encosta agrícola sob Plantio Direto

Os teores de potássio na área de lavoura apresentaram valores variando entre 0,45 e 0,68 cmolc/dm³, o que indica um alto nível desse nutriente no solo (Tabela 3). Esse resultado pode ser atribuído a três fatores principais. O primeiro refere-se à aplicação de potássio realizada na adubação de base da cultura da soja. O segundo está relacionado ao sistema de manejo adotado, baseado no Sistema Plantio Direto, consolidado na área desde 1995, o qual favorece a concentração de nutrientes nas camadas superficiais do solo, devido à ausência de revolvimento e à deposição contínua de resíduos culturais na superfície (Pavinato; Rosolem, 2008). O terceiro fator está relacionado às culturas cultivadas na área, como o mix forrageiro composto por espécies como centeio, aveia branca, aveia preta, nabo forrageiro e nabo-pé-de-pato, em associação a culturas comerciais como milho, soja, canola e trigo-mourisco. Esse consórcio contribui de forma significativa para o aporte de matéria orgânica e para a ciclagem de nutrientes, promovendo a manutenção da fertilidade do solo ao longo do tempo.

Portanto, pode-se inferir que os elevados teores de potássio observados não se devem exclusivamente à aplicação recente de fertilizantes, mas também refletem a dinâmica natural de liberação desse nutriente ao longo do ciclo da soja, bem como por meio da decomposição da palhada das culturas antecessoras, como a canola. Nos resíduos deixados na colheita da canola, foram encontrados cerca de 85% do potássio total, conforme demonstrado por Queiroga (2023). Isso ocorre porque o potássio, ao contrário de outros macronutrientes, não está associado a estruturas complexas nas plantas, estando predominantemente na forma iônica na solução celular, o que facilita sua rápida liberação durante a decomposição dos resíduos vegetais (Crusciol et al., 2008; Giacomini et al., 2003).

Assim, o conjunto desses fatores, adubação potássica, manejo conservacionista, acúmulo de palhada e reciclagem eficiente de nutrientes, contribui de forma sinérgica para os elevados níveis de potássio verificados no solo da área estudada.

Tabela 3 – Teores de potássio (K), matéria orgânica (MO) e outros atributos químicos do solo em área de lavoura em encosta agrícola sob plantio direto

Nº amostra	Local de coleta	K (cmolc/dm ³)	MO (g/dm ³)	P (mg/dm ³)	V (%)	CTC pH 7	pH-CaCl2
SL 1	Lavoura	0,68	35,83	8,63	51,35	14,80	5,10
SL 2	Lavoura	0,45	35,83	14,91	61,26	17,27	5,20
SL 3	Lavoura	0,62	39,15	11,12	53,35	14,34	5,20
SL 4	Lavoura	0,50	37,49	10,10	49,26	14,19	5
Média		0,56	37,07	11,19	53,80	15,15	5,12

Fonte: Autoria própria (2025)

Os valores de matéria orgânica (MO) na área de lavoura oscilaram entre 35,83 e 39,15 g/dm³, com média de 37,07 g/dm³ (Tabela 3). Resultado semelhante foi relatado por Valadão Junior, Valadão e Silva (2017), que observaram teor de 38,00 g/dm³ de MO em Latossolo sob uso agrícola, na profundidade de 0–5 cm. Os teores de matéria orgânica observados na área estudada podem ser justificados pelo histórico de adoção do sistema de plantio direto, consolidado há aproximadamente 30 anos (desde 1995), o que favorece o acúmulo gradual de matéria orgânica no perfil do solo. Estudo realizado por Lopes e Celestino Filho (2003) demonstrou que o teor de MO em condição natural (testemunha), de 19,3 g/dm³, passou para uma média de 35,0 g/dm³ em parcelas sob plantio direto com palhada de guandu. Tal incremento evidencia os benefícios desse sistema, especialmente quanto à melhoria das propriedades físicas do solo, promovendo maior desenvolvimento e produtividade das culturas.

Apesar de os teores observados reforçarem o efeito positivo da continuidade do plantio direto ao longo das décadas, é importante destacar que o aumento da matéria orgânica no solo é um processo lento e cumulativo. Estimativas indicam que, para elevar o teor de carbono orgânico do solo de 3% para 4%, em um sistema que recebe cerca de 2 Mg ha⁻¹ de resíduos por ano, seriam necessários aproximadamente 100 anos (Moreira; Siqueira, 2006).

A saturação por bases média observada no solo da lavoura foi de 53,80% (Tabela 3), o que pode ser explicado pelas práticas de manejo com uso de calcário. De modo geral, os Latossolos, apresentam valores de saturação por bases (V) inferiores a 50%, sendo assim classificados como distróficos (Centurion; Cardoso; Natale, 2001). Nesse contexto, Boareto (2018) destaca que os solos da região Sudoeste do Paraná são predominantemente constituídos por argilas com alto teor de óxidos de ferro e alumínio, o que contribui para os baixos valores de saturação por bases comumente observados.

Na área de lavoura, a CTC apresentou-se acima dos níveis adequados ($\geq 14,19$ cmolc/dm³). Essa variável é de grande importância para a avaliação da fertilidade do solo, pois indica seu potencial de reter cátions, os quais geralmente ficam disponíveis para as plantas (Carneiro *et al.*, 2016).

Os valores de pH-CaCl₂ no solo da área de lavoura variaram entre 5 e 5,3, com média de 5,1. Esses valores encontram-se dentro da faixa considerada ideal para o desenvolvimento da maioria das culturas agrícolas, geralmente entre 5,5 e 7,0, conforme indicado por Malavolta (1967).

Portanto, os atributos químicos do solo na área de lavoura indicam uma boa fertilidade, possivelmente associada ao manejo adequado da área, com a adoção consolidada do sistema de plantio direto, práticas de agricultura de precisão para correção da acidez e nutrientes do solo, além do aporte regular de resíduos orgânicos.

4.2 Potássio e matéria orgânica presente nos sedimentos

Os teores de potássio nos sedimentos variaram entre 0,45 e 0,75 cmolc/dm³ (Tabela 4), com média maior que a observada no solo na área de lavoura, o que pode ser atribuído ao acúmulo de sedimentos e nutrientes transportados a partir das áreas de lavoura por escoamento superficial. Devido à elevada solubilidade e à predominância do potássio em forma livre na solução do solo, sua mobilidade é alta, favorecendo o deslocamento com a água da chuva, sobretudo em eventos de maior intensidade. Em áreas de relevo ondulado, como as encostas estudadas, esse processo resulta na deposição de potássio em zonas de maior retenção, como canais de escoamento e terraços, onde há maior deposição de partículas e matéria orgânica.

Estudos demonstram que a concentração de potássio nos sedimentos da enxurrada é diretamente influenciada pelo volume e pela intensidade das chuvas. Por exemplo, eventos com intensidade elevada (120 mm h⁻¹) resultaram em enxurradas com concentrações de KP aproximadamente 120% superiores às aquelas observadas sob precipitações menos intensas, mesmo quando a diferença de intensidade entre os eventos foi de apenas 60% (Bertol *et al.*, 2011). Esse dado evidencia a sensibilidade do transporte de potássio à intensidade das chuvas, sendo um fator determinante para a perda de nutrientes via erosão hídrica.

Na área estudada, o teor de potássio nos sedimentos foi, em média, 14,8% maior do que o verificado na lavoura, o que sugere um deslocamento do nutriente das áreas de produção para os canais de escoamento. Embora esses valores indiquem uma tendência de acúmulo, ainda são considerados relativamente baixos quando comparados a resultados de outros estudos. Por exemplo, Dechen et al. (2015) observaram que solos com 24% de cobertura vegetal apresentaram perdas de K^+ em torno de 35,52%.

Uma hipótese para explicar os teores relativamente moderados de potássio nos sedimentos é a alta taxa de cobertura do solo observada na área. Pesquisas mostram que as perdas de potássio associadas à erosão hídrica diminuem linearmente com o aumento da cobertura do solo. Em estudo que avaliou perdas de potássio associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo, verificou-se que solos com 90% de cobertura apresentaram perdas de K^+ até 85,86% menores do que solos descobertos, enquanto solos com 40% de cobertura ainda conseguiram reduzir as perdas em 73,79% (Dechen *et al.*, 2015). Esses dados reforçam a importância da cobertura vegetal como barreira física que limita o impacto das gotas de chuva e o arraste de partículas e nutrientes.

Tabela 4 – Teores de potássio (K), matéria orgânica (MO) e outros atributos químicos em sedimentos erodidos em encosta sob plantio direto

Nº amostra	Local de coleta	K (cmolc/dm ³)	MO (g/dm ³)	P (mg/dm ³)	V (%)	CTC pH 7	pH-CaCl 2
C1	Canal de escoamento	0,68	54,30	24,55	64,06	18,17	5,30
C2	Canal de escoamento	0,45	27,74	5,83	48,90	14,09	5
C3	Canal de escoamento	0,62	34,17	8,15	48,55	16,25	5
TS1	Terraço agrícola	0,75	64,05	53,60	63,11	19,33	5,30
TS2	Terraço agrícola	0,73	58,65	21,73	59,81	17,74	5,20
Média		0,64	47,78	22,77	56,88	17,11	5,16

Fonte: Autoria própria (2025)

Os valores de matéria orgânica (MO) seguiram um padrão semelhante ao observado para o potássio, apresentando maiores concentrações nos sedimentos em relação às áreas de lavoura — aproximadamente 28,89% a mais (47,78 g/dm³ nos sedimentos e 37,07 g/dm³ na lavoura). Esse padrão pode ser explicado pela dinâmica dos canais de escoamento e terraços, os quais atuam como pontos de

coleta para os materiais transportados pela enxurrada. A água, ao escorrer sobre o solo, carrega a matéria orgânica, que é mais leve e menos densa do que as partículas minerais do solo, facilitando seu transporte e deposição nas zonas de maior retenção. Assim, as concentrações elevadas de matéria orgânica nessas áreas podem ser atribuídas ao acúmulo e sedimentação do material transportado, favorecido pela menor densidade da matéria orgânica, que facilita seu transporte para as regiões de maior retenção hídrica e sedimentação.

Esses resultados são corroborados por estudo realizado por Denardin; Faganello; Sattler (2008), em lavouras sob sistema de plantio direto, onde a erosão hídrica resultou no arraste de corretivos, fertilizantes e matéria orgânica, presentes na camada superficial do solo.

A saturação por bases (V%) variou entre 48,55% e 64,46% (Tabela 4), sugerindo certa heterogeneidade nos pontos avaliados. Observa-se que os locais com maior V% coincidem com aqueles que apresentaram os maiores teores de matéria orgânica (MO), sugerindo uma possível relação entre esses parâmetros.

A capacidade de troca catiônica (CTC) nos sedimentos do canal de escoamento foi 12,9% superior à observada no solo da área de lavoura (Tabela 4), sugerindo que os sedimentos acumulam uma maior quantidade de cátions trocáveis. Esse resultado pode estar relacionado ao maior teor de matéria orgânica presente nos sedimentos, fator que influencia positivamente a CTC do solo, conforme relatado por (LIMA 2018).

Os valores de pH-CaCl₂ nos sedimentos variaram entre 5 e 5,3, com média de 5,2, semelhantes aos observados na área de lavoura. Essa semelhança indica que, apesar das maiores concentrações de matéria orgânica e nutrientes nos sedimentos, não provocou alteração significativa no pH do solo. Esse comportamento pode ser atribuído à capacidade tamponante do solo, que contribui para a manutenção da estabilidade do pH mesmo diante da maior concentração de íons, efeito que pode ter sido potencializado pela presença da matéria orgânica. Esta desempenha papel fundamental nesse processo, aumentando a resistência do solo a variações no pH, conforme destacado por (BARROS, 2011).

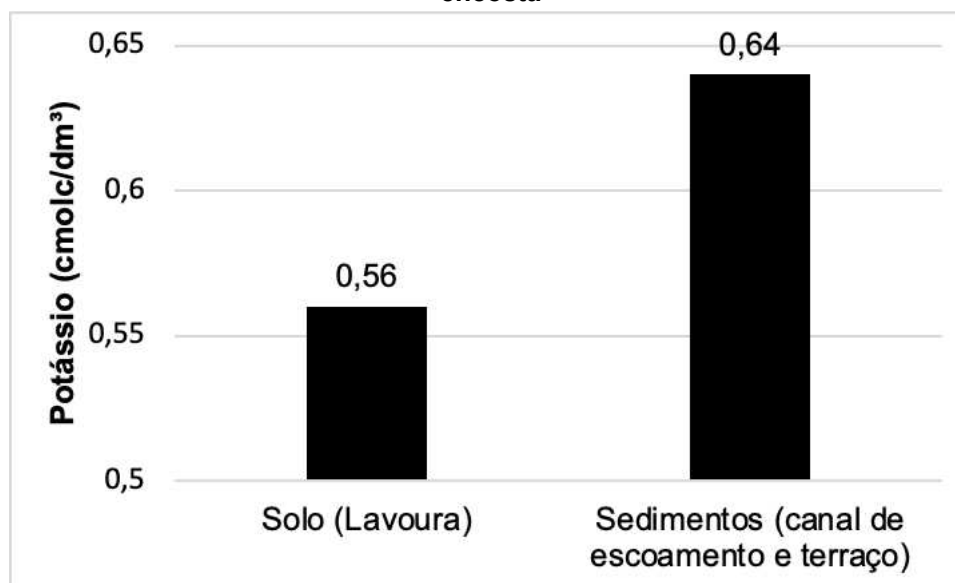
Portanto, os resultados indicam o carreamento de nutrientes, especialmente potássio, além de matéria orgânica, da área de lavoura para os canais de escoamento e terraços.

4.3 Perdas de potássio e matéria orgânica e as implicações agronômicas e ambientais destas perdas

A perda de potássio e matéria orgânica no solo constitui um dos principais desafios à sustentabilidade dos sistemas agrícolas, impactando diretamente a produtividade das culturas e a qualidade ambiental. O potássio, nutriente essencial para diversas funções fisiológicas das plantas — como a regulação osmótica, a ativação enzimática e a síntese de proteínas — apresenta alta mobilidade no solo, o que o torna particularmente suscetível à lixiviação. No entanto, além desse processo, a erosão hídrica também se destaca como uma importante via de perda de potássio, especialmente em regiões sujeitas a elevados índices pluviométricos. Estudo realizado por Hernani; Kurihara, Silva (1999) mostrou que sistemas de manejo inadequados, como o preparo convencional do solo, podem resultar em perdas de potássio até 6,5 vezes maiores em comparação com o plantio direto.

Esse comportamento também foi evidenciado nos resultados obtidos no presente estudo, que mostraram uma concentração de potássio aproximadamente, 14,8% maior nos sedimentos acumulados em canais de escoamento e terraços em relação às áreas de lavoura (Figura 5). Esse acréscimo reforça a hipótese de que os processos erosivos, mesmo sob sistema plantio direto, contribuem para o transporte e acúmulo de nutrientes em áreas de deposição. Esses dados sugerem a fragilidade de áreas produtivas em encostas quanto ao desperdício de insumos, especialmente quando se considera que grande parte dos solos da região Sul do Brasil apresenta deficiência natural em potássio e exige correções frequentes por meio da adubação potássica (Moterle et al., 2019).

Figura 5 - Média dos Teores de K em Lavoura e Sedimentos sob Sistema de Plantio Direto em encosta

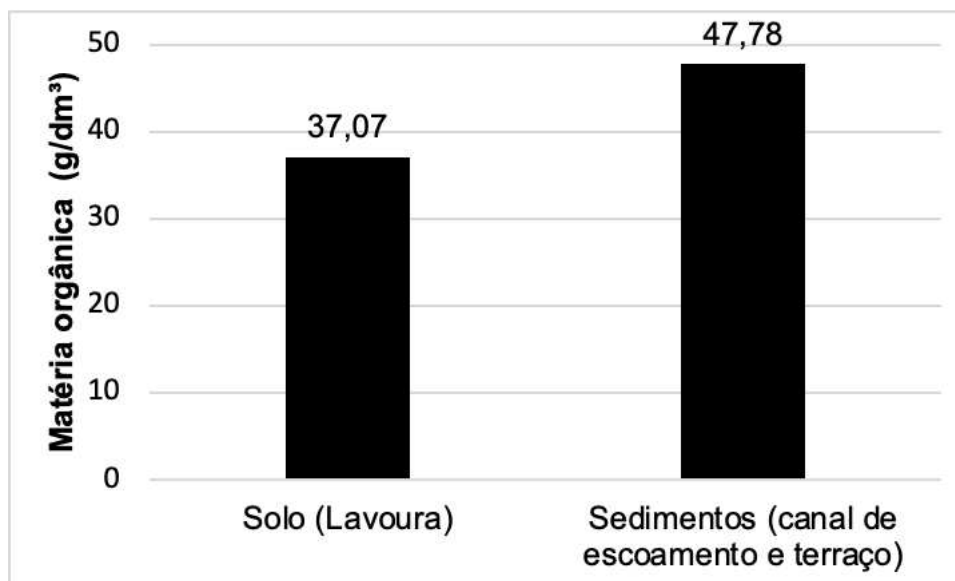


Fonte: Autoria própria (2025)

A matéria orgânica do solo é fundamental para a manutenção da fertilidade, estrutura e atividade biológica do solo. Perdas de MO ocorrem principalmente por erosão hídrica, especialmente em áreas com baixa cobertura vegetal. A adoção de práticas conservacionistas, como o plantio direto e a manutenção de cobertura vegetal, tem se mostrado eficaz na redução dessas perdas. Nesse sentido, Dechen et al. (2015) demonstraram, por meio de experimento com diferentes percentuais de cobertura do solo, que níveis mais elevados de cobertura vegetal estão diretamente relacionados à diminuição da perda de matéria orgânica. Os autores observaram que a cobertura de 90% resultou em uma redução média de 54,91% nas perdas de MO em relação ao solo sem cobertura, evidenciando a importância da cobertura vegetal como estratégia de conservação do solo.

No presente estudo, mesmo sob sistema plantio direto, observou-se que a concentração de matéria orgânica nos sedimentos foi aproximadamente 29% superior à verificada no solo da área de lavoura, sugerindo a remoção e transporte desse componente por meio do escoamento superficial (Figura 6). Esse resultado pode estar associado à cultura antecessora — a canola — que, embora cultivada sob plantio direto, apresenta baixa relação C/N, favorecendo a rápida decomposição de sua palha (Bandeira; Chavarria; Tomm, 2013), o que contribui para a exposição da superfície do solo e, conseqüentemente, para o aumento dos processos erosivos, ainda que em menor escala do que em sistemas de preparo convencional.

Figura 6 – Média dos Teores de matéria orgânica em lavoura e sedimentos sob Sistema de Plantio Direto em encosta



Fonte: Autoria própria (2025)

Do ponto de vista agrícola, as perdas de potássio e matéria orgânica impactam diretamente a produtividade das culturas, exigindo maiores aplicações de fertilizantes para suprir as necessidades nutricionais das plantas. Já sob a perspectiva ambiental, essas perdas estão intimamente relacionadas à degradação dos recursos naturais. A lixiviação do íon K^+ , por exemplo, pode contribuir para a contaminação de corpos hídricos, favorecendo processos de eutrofização. Estudo conduzido por Utzig (2022), ao avaliar a perda de nutrientes por escoamento superficial e transporte de sedimentos em encostas sob sistema de plantio direto, evidenciou que as quantidades de nutrientes removidas durante eventos de precipitação natural são suficientemente elevadas para representar um risco significativo à qualidade das águas superficiais. Entre os impactos potenciais destacam-se a intensificação da eutrofização, o aumento dos custos de tratamento da água para consumo humano e possíveis prejuízos à saúde pública.

Dessa forma, para mitigar as perdas de potássio e matéria orgânica, é imprescindível a adoção de estratégias integradas, como o controle do escoamento superficial, por meio da construção de terraços, o sistema plantio direto, a diversificação de culturas e o uso de espécies vegetais para cobertura do solo, sobretudo em áreas de encostas agrícolas. Essas práticas conservacionistas contribuem não apenas para a redução dos custos de produção agrícola, como

também para minimizar potenciais impactos ambientais negativos, ao evitar a contaminação dos corpos hídricos (Utzig, 2022).

5 CONCLUSÃO

Os resultados do teor de potássio e da matéria orgânica corroboram a hipótese de que as maiores concentrações tendem a ocorrer nos sedimentos presentes em canais de escoamento e terraços, devido ao carreamento de sedimentos e nutrientes provenientes das áreas de cultivo durante eventos de precipitação.

Quanto à avaliação do potássio e da matéria orgânica do solo, os resultados obtidos permitem inferir que, mesmo em áreas de manejo conservacionista, há perdas significativas desses componentes em decorrência do escoamento superficial, especialmente durante eventos intensos de precipitação.

Em relação ao potássio e à matéria orgânica presentes nos sedimentos, embora tenha sido registrado apenas dois eventos com potencial produção de sedimentos, foi possível identificar a presença desses elementos nos canais de escoamento e nos terraços, reforçando a hipótese que, sob condições intensas de chuva, há mobilização de nutrientes a partir das áreas cultivadas.

Quanto às implicações agronômicas e ambientais do conteúdo de potássio e matéria orgânica perdidos, o presente trabalho permite afirmar que tais perdas comprometem a fertilidade do solo a médio e longo prazo, exigindo maior reposição via adubação, o que eleva os custos de produção. Do ponto de vista ambiental, a exportação desses nutrientes para corpos d'água pode favorecer processos de eutrofização e degradação da qualidade da água. Assim, reforça-se a importância da adoção de práticas de manejo que promovam a cobertura contínua do solo e a manutenção da matéria orgânica, como forma de mitigar as perdas e garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. G. de *et al.* Aspectos gerais sobre o manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. **Prado, RB; Turetta, APD; de Andrade, AG, Manejo e conservação do solo e da água no contexto das Mudanças Ambientais (1 Ed, Cap 1, pp. 25-40). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.** Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/221806/1/Cap-Livro-manejo-pag-25-40.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.
- ASSUNÇÃO, S. A. **Efeitos nas frações da matéria orgânica do solo pela aplicação de N-fertilizante em cana crua com deposição da palhada.** 2016. 58p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2016. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/10605/2/2016%20-%20Shirlei%20Almeida%20Assun%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2025.
- BANDEIRA, T. P.; CHAVARRIA, Geraldo; TOMM, Gilberto Omar. Desempenho agrônomo de canola em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1332-1341, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000004>. Acesso em: 10 set. 2023.
- BARRETO, C. d. A. **Agricultura e Meio Ambiente: percepções e práticas de sojicultores em Rio Verde-GO.** 2007. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-14082007-231915/en.php>. Acesso em: 10 set. 2023.
- BARROS, J. D. d. S. **Estoques de carbono em solos dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos: diferenças entre ambientes.** 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1886>. Acesso em: 25 de maio de 2025.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: **SANTOS, G. A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre, 2 ed. 7-18, 2008.
- BENNETT, H. H. *et al.* **Soil conservation. Soil conservation.**, London: McGraw-Hill Publishing Co., Ltd, 1939. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19400701095>. Acesso em: 10 set. 2023.
- BERTOL, I. *et al.* Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 28, p. 155–163, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/vLt59ZdvF9sqCBFxStKtFcf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2023.

BERTOL, I.; MARIA, I. d.; SOUZA, L. d. S. Manejo e conservação do solo e da água. **Alimentação saudável e sustentabilidade ambiental nas escolas do paraná**, p. 197, 2019. Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/manejo-e-conservacao-do-solo-e-da-agua.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

BERTOL, O. J. et al. Perda de nutrientes via escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1914-1920, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/pY4qQfscDVwQBmFnKSp8R9G/>. Acesso em: 24 maio. 2025.

Blatt, H., Middleton, G., & Murray, R. (1980). *Origin of Sedimentary Rocks*. Prentice Hall. Agosto 28, 2022. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=120811>

BOGGS, S. (2012). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Pearson.

BOARETTO, A. C. **Diagnóstico da fertilidade do solo em áreas de agricultura familiar do sudoeste paranaense**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018 39 f. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13981/1/PB_COAGR_2018_2_05.pdf. Acesso em 25 de maio de 2025.

CAMPOS, D. V. B.; BRAZ, S. P.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, G. A.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, M, R. URQUIAGA, S. **Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em Argissolo de Conceição da Barra – ES**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004 (Circular Técnica, nº 10).

CARNEIRO, J. S. d. S. et al. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no Cerrado. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 3, p. 38-49, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v17i3.50096>. Acesso em: 25 maio 2025.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W.. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 254-258, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000200013>. Acesso em 25 de maio de 2025.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v. 67, p. 481-489, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/6ssBtCfr96cvD5s3phvBtrk/> Acesso em: 24 maio. 2025.

CUCE - Cornell University Cooperative Extension. **Cation Exchange Capacity (CEC)**. Department of Crop and Soil Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University. 2007. Disponível em: <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet22.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

DECHEN, S. C. F. et al. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/brag/a/nCjy5nDxcp4tDGwhx6CbjHp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 maio. 2025.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.. **Vertical Mulching: prática conservacionista mitigadora de perdas por erosão hídrica em sistema plantio direto**. Boletim de pesquisa e Desenvolvimento (online). 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/852133/1/pbp53.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2025.

DEUSCHLE, D. *et al.* Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in southern Brazil. **Geoderma**, Elsevier, v. 340, p. 157–163, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706118312564>. Acesso em: 10 set. 2023.

FREITAS, R. *et al.* Interferência de plantas daninhas na cultura de algodão em sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, SciELO Brasil, v. 20, p. 197–205, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/GKYdVscFfkZWwmrwhTpnHzh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2023.

FRIGOTTO, V. d. L.. **Balanço de fósforo no solo com uso de cama de frango de corte e adubação mineral**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) Universidade tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos-PR. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/36265/1/balancofosforosolo.pdf>. Acesso em: 25 maio 2025.

GIACOMINI, S. J. *et al.* Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1097-1104, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/QHHpxGhNLQLW9nT5strhbxH/?lang=pt>. Acesso em: 23 maio. 2025.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Disponível em: https://pergamumweb.com.br/pergamumweb_ifsp/vinculos/00006a/00006acb.pdf

GONÇALVES, Y. d. S.. **Fontes e doses de potássio na produtividade e qualidade da mandioca de mesa**. 2018. 46p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2018. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2018/05/ygor-dissertac%CC%A7%C3%A3o.pdf> . Acesso em: 27 maio 2025.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, WM da. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 145-154, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/TpcgnRSLvBjhRf88tvCmZFn/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 21 maio. 2025.

KINPARA, D. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003., 2003. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/568191/1/doc100.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

LANGDALE, G.; LEONARD, R.; THOMAS, A. Conservation practice effects on phosphorus losses from southern piedmont watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation, Soil and Water Conservation Society**, v. 40, n. 1, p. 157–161, 1985. Disponível em: <https://www.jswconline.org/content/40/1/157.short>. Acesso em: 10 set. 2023.

LEITE, D. S. **Mapeamento da erodibilidade e erosividade na bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro—oeste do Paraná**. 2016. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12613/1/mapeamentoerodibilidademapeamentoerodibilidade.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.821-832, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500006>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

LIMA, L. A.. **Variabilidade espacial de atributos do solo em Sistema de terraços em região Semiárida**. 2018. 75 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/36702>. Acesso em 25 de maio de 2025.

LONDERO, A. L. et al. Quantifying the impact of no-till on sediment yield in southern Brazil at the hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, v. 35, n. 7, p. e14286, 2021. Disponível em: https://hal.science/hal-03273746/file/Londero_HP_post-print.pdf. Acesso em: 22 maio. 2025.

LOPES, O. M. N.; CELESTINO FILHO, P.. **Plantio direto de feijão Phaseolus sobre a palhada da leguminosa Guandu na agricultura familiar da Transamazônica**. Comunicado técnico, ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/406998/1/com.tec.81.pdf>. Acesso em: 22 maio. 2025.

LOUREIRO, D. C.. **Biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal**. 2008. 50f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia. 2008. Disponível em: <https://rima.ufrrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/13607/2/2008%20-%20Diego%20Campana%20Loureiro.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

MAGGI, C. F. *et al.* Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**,

SciELO Brasil, v. 15, p. 170–177, 2011. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/SMWPRmZsMQd84KCJGDtrkwz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2023.

MALAVOLTA, E.. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Agronomica Ceres Ltda, 2006. ISBN 9788531800474. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=Ft4XBAAACAAJ>. Acesso em: 10 set. 2023.

MALAVOLTA, E.. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 2.ed. São Paulo: Biblioteca Agronômica Ceres, 1967. 606p.

MARTINS, S. R.; CASALINHO, H.; SILVA, J. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 13, n. 2, 2007. Disponível em:

<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/1361>. Acesso em: 10 set. 2023.

MORAES NETO, S. P. **Fertilizantes NPK e suas origens**. Embrapa Cerrados.

2010. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15445288.pdf>. Acesso em: 27 maio. 2025.

MOREIRA, F.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p. Disponível em:

<https://www.bibliotecaagpatea.org.br/agricultura/biologia/livros/MICROBIOLOGIA%20E%20BIOQUIMICA%20DO%20SOLO.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2025.

MOTERLE, D. F. et al. Does Ferralsol clay mineralogy maintain potassium long-term supply to plants?. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. e0180166, 2019. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Xq5vq5p4FJbHLXnwxmPZ9CL/?lang=en>. Acesso em: 24 maio. 2025.

MOTERLE, D. F. et al. Impact of potassium fertilization and potassium uptake by plants on soil clay mineral assemblage in South Brazil. **Plant and soil**, v. 406, p. 157-172, 2016.

NACHTIGALL, G.; RAIJ, B. v. Análise e interpretação do potássio no solo. In:

Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira, 2., 2004, São Pedro, 2005.

Disponível em: <file:///C:/Users/igorc/Downloads/112092005p.93118.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

NAKAMURA, R. M.; FILHO, M. S. **Aglomerado de mistura de espécies tropicais da Amazônia**. Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1982. Disponível em:

https://bibcentral.ufpa.br/arquivos/150000/153900/19_153959.htm. Acesso em: 10 set. 2023.

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M.; LOUREIRO, F. E. L. Agrominerais - potássio. **IN: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 175-203. Disponível em:

<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1097>. Acesso em: 27 maio 2025.

OBI, M.; SALAKO, F. Rainfall parameters influencing erosivity in southeastern nigeria. **Catena**, Elsevier, v. 24, n. 4, p. 275–287, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0341816295000245>. Acesso em: 10 set. 2023.

OLIVEIRA, J. R. d. **Perdas de solo, água e nutrientes em um argissolo vermelho-amarelo sob diferentes padrões de chuva simulada**. 2007. 52 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia. 2007. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/10724/3/2007%20-%20Jo%c3%a3o%20Ricardo%20de%20Oliveira.pdf>. Acesso em: 25 maio 2025.

OVERSTREET, L. F.; DEJONG-HUGES, J. The importance of soil organic matter in cropping systems of the Northern Great Plains. **Minnesota (MN): University of Minnesota Extension**, 2009. Disponível em: <https://www.test.certifiedcropadviser.org/files/certifications/certified/education/self-study/exam-pdfs/154.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 911-920, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4hh4VFLnCgwvBB6PcQfHXhw/>. Acesso em: 24 maio. 2025.

PEREIRA, A. N. S. O.; MARQUES, J. D. de O.; PAES, L. da S. Percepção ambiental sobre sustentabilidade do solo. **Educere-Revista da Educação da UNIPAR**, v. 17, n. 1, 2017. Disponível em: <https://ojs.revistasunipar.com.br/index.php/educere/article/view/6286/3431>. Acesso em: 10 set. 2023.

PRADO, R. B. *et al.* **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010., 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/859117>. Acesso em: 10 set. 2023.

QUEIROGA, V. d. P. *et al.* Sistema produtivo da canola (*Brassica napus* L. ssp. Oleífera Moench). In: **QUEIROGA, Vicente de Paula et. (ed.). Canola (*Brassica napus* L. ssp. oleífera Moench: tecnologias de plantio e utilização**. Campina Grande: AREPB, 2023. p. 10-126. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1162376/1/Sistema-produtivo-ca-nola-2023.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2025.

QUEIROZ, T. M. d.; LIMA, A. F.; GALVANIN, E. A. d. S. Índice de estado trófico, baseado no fósforo, na bacia hidrográfica Paraguai-Diamantino em Mato Grosso, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 300-308, 2020. Disponível em: <https://www.sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.001.0027/1862>. Acesso em 25 de maio de 2025.

RAIMUNDO, E. G. *et al.* **Influencia de fontes minerais de K na produtividade e na granulometria dos grãos do café conilon**. XXVI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XXII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e XII

Encontro de Iniciação à Docência - Universidade do Vale do Paraíba – 2022.

Disponível em:

<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/4534/1/cafeconilon.pdf>.

Acesso em 27 de maio de 2025.

RASCHE, F.; CADISCH, G. The molecular microbial perspective of organic matter turnover and nutrient cycling in tropical agroecosystems - What do we know?.

Biology and Fertility of Soils. Berlin, v. 49, p. 251-262, 2013. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-013-0775-9>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, SciELO Brasil, v. 27, p. 355–362, 2003.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/srYtWkPdXpJS6VC5SMcPqWS/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 10 set. 2023.

SANTOS, J.R., & OLIVEIRA, C.G. (2010). Dinâmica sedimentar em sistemas fluviais brasileiros. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 11(2), 91-106.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A. de O.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: **Fundamentos de química do solo**. 3ª ed./ MEURER, E.J.

Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. – [s. l.] : Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p. Disponível em:

https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf. Acesso em: 25 maio 2025.

TERRA, F. D. **Matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e uso no**

Cerrado. 2013. 87p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Goiás,

Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal. Campus Jataí. 2013

Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/217/o/Flavia__PDF.PDF. Acesso em: 25 de maio de 2025.

UTZIG, D. L. **Perdas de nutrientes associadas ao escoamento e aos sedimentos erodidos em encostas sob plantio direto**. 2022. Dissertação (mestrado) -

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2022. 60p. Disponível em:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/28295/DIS_PPGCS_2022_UTZIG_DOUGLAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 20 maio. 2025.

VALADÃO JÚNIOR, D. D.; VALADÃO, F. C. d. A.; SILVA, G. J. Atributos físicos e matéria orgânica de um Latossolo sob diferentes manejo sob diferentes manejo.

Revista Cultura Agrônômica, v. 26, n. 3, p. 237-250, 2017. Disponível em:

<https://doi.org/10.32929/2446-8355.2017v26n3p237-250>. Acesso em: 20 maio. 2025.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **Uma visão sobre qualidade do solo an overview of soil quality**. 2009. Disponível em:

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/64747bc1425ec3c088f69311>. Acesso em: 10 set. 2023.

VIEIRA, I. C. G.; UHL, C.; NEPSTAD, D. The role of the shrub cordia multispicata cham. as a 'succession facilitator' in an abandoned pasture, paragominas, Amazonia. **Vegetatio**, Springer, v. 115, p. 91–99, 1994. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00044863>. Acesso em: 10 set. 2023.

WEBER, M. J. *et al.* Transport changes associated with growth control and malignant transformation. **Journal of Cellular Physiology**, Wiley Online Library, v. 89, n. 4, p. 711–721, 1976. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jcp.1040890431?casa_token=2WecFFwLhjoAAAAA:YnBYwgEd0AdWRHVUhJ5NDILBVTuxKCx2sCxfv-g9N-JCC1pgPI3dhcl_CvLxyfAccHC_Fw6TkNe4oGxN. Acesso em: 10 set. 2023.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 32, p. 2297–2305, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/bWXMZQPNWW8FQTp7m48C7Bs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2023.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, Wiley Online Library, v. 39, n. 2, p. 285–291, 1958. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/TR039i002p00285>. Acesso em: 10 set. 2023.