

VITÓRIA REGINA MORELLO GONGORA

EFICÁCIA DE ESPÉCIES DE COBERTURA NA REDUÇÃO DAS
PERDAS DE ÁGUA E SOLO POR EROSÃO E NA MELHORIA DA
QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO ARGILOSO

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO, 2022

VITÓRIA REGINA MORELLO GONGORA

EFICÁCIA DE ESPÉCIES DE COBERTURA NA REDUÇÃO DAS
PERDAS DE ÁGUA E SOLO POR EROSÃO E NA MELHORIA DA
QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO ARGILOSO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual
do Oeste do Paraná, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Energia na Agricultura, para obtenção do título de
Mestre/Doutor.

Orientador: Deonir Secco

Coorientadores: Araceli Ciotti de Marins e Douglas
Bassegio

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Morello Gongora, Vitória Regina

Eficácia de espécies de cobertura na redução das perdas de água e solo por erosão e na melhoria da qualidade física de um Latossolo Argiloso / Vitória Regina Morello Gongora; orientador Deonir Secco; coorientador Araceli Ciotti de Marins; Doglas Bassegio. -- Cascavel, 2022.

52 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2022.

1. espécies de cobertura. 2. perdas de água e solo. 3. sistemas de manejo . 4. perdas de solo por erosão. I. Secco, Deonir, orient. II. Doglas Bassegio, Araceli Ciotti de Marins;, coorient. III. Título.

VITORIA REGINA MORELLO GONGORA

Eficácia de espécies de cobertura na redução de perdas de água e solo por erosão e na melhoria da qualidade física de um latossolo argiloso.

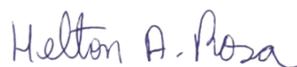
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Deonir Secco
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Luiz Antonio Zanão Júnior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Helton Aparecido Rosa
Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 18 de março de 2022

“Dedico este trabalho a toda a minha família, em especial a minha mãe e irmã pelo apoio ao longo de todo o meu caminho.”

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo apoio durante toda minha vida, em especial á minha mãe e minha irmã por sempre se mostrarem presentes, com todo carinho, amor e dedicação, principalmente nos momentos mais difíceis;

Ao Prof.º Dr.º Deonir Secco pela oportunidade, por todo conhecimento e orientação para realização desse trabalho experimental;

A todos os professores do curso de Engenharia Agrícola da UNIOESTE, por todos os ensinamentos ao longo de toda a graduação, que foram e serão de suma importância para minha vida profissional;

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná pela área cedida para realização do experimento;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná pela oferta do curso de Engenharia Agrícola e por todas as oportunidades oferecidas.

GONGORA, Vitória Regina Morello. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, janeiro de 2021 **Eficácia de espécies de cobertura na redução das perdas de água e solo por erosão e na melhoria da qualidade física de um Latossolo argiloso**. Professor orientador: Prof.º Dr.º Deonir Secco

RESUMO

Os benefícios das espécies de cobertura dependem da escolha da planta ideal para cada região. Além disso, leguminosas e gramíneas podem se diferenciar em relação aos efeitos nas propriedades físicas do solo no curto prazo. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia de espécies de cobertura de verão e de inverno na redução das perdas de água e solo por erosão e na melhoria da qualidade física de um Latossolo argiloso na região Oeste do Paraná, Brasil. As espécies de verão foram: milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), guandú anão (*Cajanus cajan*), crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), feijão guandú (*Cajanus cajan*) e mucuna preta (*Mucuna pruriens*). As espécies de inverno foram: aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*), aveia preta + ervilhaca (*Avena strigosa* + *Pisum sativum*), tremoço branco+aveia preta (*Lupinus albus* + *Avena strigosa*), nabo+aveia preta (*Raphanus sativus* + *Avena strigosa*). Um tratamento com sistema plantio direto (SPD) tradicional foi utilizado como testemunha. As parcelas foram compactadas artificialmente com um rolo compactador antes da semeadura das espécies de cobertura. Após o cultivo das espécies de cobertura o milho foi semeado. As propriedades físicas do solo (densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica do solo) foram determinadas nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m pós-compactação artificial (2017) e pós-colheita do milho (2019). As perdas de solo e água foram determinadas com uso de calhas coletoras de 3x3 m durante o cultivo do milho. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente através de teste de Tukey a 5% de significância. As espécies de cobertura, aveia branca, centeio, crotalária juncea e crotalária spectabilis se destacaram na melhoria das propriedades físicas do solo compactado em comparação ao SPD. Com isso, tanto gramíneas como leguminosas foram eficientes na descompactação do solo. As espécies de cobertura não diminuíram as perdas de solo e água em relação ao SPD em alguns períodos, especialmente em épocas de alta precipitação. O rendimento de grãos do milho cultivado após as espécies de cobertura não foi afetado significativamente.

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

PALAVRAS-CHAVE: taxa de perdas; macro e microporosidade; sistemas de manejo

GONGORA, Vitória Regina Morello. State University of Western Paraná, janeiro de 2021. **Efficacy of cover species in reducing water and soil losses by erosion) and in improving the physical quality of an Oxisol.** Prof. Doctor Deonir Secco.

ABSTRACT

The benefits of cover species depend on choosing the ideal plant for each region. Furthermore, legumes and grasses can differ in terms of their effects on the physical properties of the soil in short-term. Thus, the aim of this study was to evaluate the influence of cover species in summer and winter on soil physical properties, soil and water loss and corn grain yield in a clayey Oxisol in western Paraná, Brazil. The summer species were: millet (*Pennisetum americanum*), sunn hemp juncea (*Crotalaria juncea*), dwarf pigeon pea (*Cajanus cajan*), sunn hemp spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), dwarf bean (*Cajanus cajan*) and black velvet bean (*Mucuna pruriens*). The winter species were: white oat (*Avena sativa*), black oat (*Avena strigosa*), rye (*Secale cereale*), forage vetch + black oat (*Pisum sativum* + *Avena strigosa*), white lupine + black oat (*Lupinus albus* + *Avena strigosa*), turnip+black oat (*Raphanus sativus* + *Avena strigosa*). A treatment with traditional no-tillage system (SPD) was used as a control. The plots were artificially compacted with a compactor roller before sowing the cover species. After the cultivation of cover species, corn was sown. The physical properties of the soil (density, macroporosity, microporosity, total porosity and hydraulic conductivity of the soil) were determined in the layers of 0-0.1, 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m after compaction artificial (2017) and post-harvest corn (2019). Soil and water losses were determined using gutters during corn cultivation. The data obtained were statistically analyzed using a mean comparison test at 5% significance level. Cover species, white oat, rye, crotalaria juncea and crotalaria spectabilis stood out in improving the physical properties of compacted soil compared to SPD. Cover species did not reduce soil and water losses in relation to SPD in some periods, especially in times of high precipitation. The grain yield of corn cultivated after cover crops was not significantly affected.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

KEYWORDS: loss rate; macro and microporosity; management systems

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da distribuição das parcelas/numeração dos tratamentos na área experimental.....	11
Figura 2. Imagem aérea da área experimental.....	12
Figura 3. Calha e recipiente coletor.....	12
Figura 4. Dados pluviométricos coletados de março até junho de 2019.	14
Figura 5. Perdas de solo em função de espécies de cobertura de verão e inverno e sistema plantio direto tradicional no solo compactado.	27
Figura 6. Perdas de água em função de espécies de cobertura de verão e inverno e sistema plantio direto tradicional no solo compactado.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição granulométrica do solo nas camadas de 0 - 0,1; 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,3 m da área experimental do IDR- Santa Tereza do Oeste	10
Tabela 2. Tratamentos utilizados nas parcelas analisadas, separados por cultura de verão, inverno e sistema de uso e manejo adotado na área experimental	11
Tabela 3. Valores médios de densidade do solo pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).....	18
Tabela 4. Dados de interação entre os resultados médios da macroporosidade do solo pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).....	20
Tabela 5. Dados de interação entre resultados médios da microporosidade do solo pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).	22
Tabela 6. Dados de interação entre resultados médios da porosidade total do solo pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).	23
Tabela 7. Dados de interação entre resultados médios da condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).	24
Tabela 8. Valores médios de rendimento de grãos de milho em função de espécies de cobertura.	26
Tabela 9. Perdas de solo (kg ha ⁻¹) em função de espécies de cobertura de inverno e sistema plantio direto (SPD) tradicional no solo compactado.....	28
Tabela 10. Perdas de solo (kg ha ⁻¹) em função de espécies de cobertura de inverno e sistema plantio direto (SPD) tradicional no solo compactado.....	28
Tabela 11. Perdas de água (L ha ⁻¹) em função de espécies de cobertura de verão e sistema plantio direto (SPD) tradicional no solo compactado.....	30
Tabela 12. Perdas de água (L ha ⁻¹) em função de espécies de cobertura de verão e sistema plantio direto (SPD) tradicional no solo compactado.....	30

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivos gerais	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Latossolos.....	3
2.2 Sistema plantio direto	4
2.3 Manejo conservacionista	5
2.4 Espécies de cobertura recuperadoras de estrutura	6
2.5 Leguminosas x gramíneas.....	7
2.6 Perda de solo e água por erosão.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Localização e descrição da área	10
3.2 Unidades experimentais e delineamento experimental	12
3.3 Coleta para quantificação de perda de água e solo.....	13
3.4 Semeadura e colheita do milho	13
3.5 Semeadura e manuseio de plantas de cobertura	13
3.6 Compactação da área.....	13
3.7 Dados pluviométricos durante o ciclo do milho.....	14
3.8 Avaliações físicas	14
3.8.1 Densidade do solo	15
3.8.2 Densidade de partículas	15
3.8.3 Porosidade total.....	16
3.8.4 Condutividade hidráulica (mm h^{-1})	16
3.9 Dados de declividade das parcelas	17
3.10 Análise estatística	17
4. Resultados e discussão	18
4.1 Densidade do solo	18
4.2 Macroporosidade do solo.....	20
4.3 Microporosidade do solo	21
4.4 Porosidade total do solo (Pt).....	23
4.5 Condutividade hidráulica do solo (K_{sat}).....	24
4.6 Rendimento de grãos de milho	25
4.7 Perdas de solo e água.....	26
5. CONCLUSÕES.....	32

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
---	-----------

1. INTRODUÇÃO

A produção de milho no Brasil na safra 2020/2021 foi de 86,998 milhões de toneladas (CONAB,2021a), garantindo ao país o posto de terceiro maior produtor de milho em quantidade e área plantada, ficando abaixo apenas dos Estados Unidos e China (USDA, 2021). A área plantada cresceu 34% desde 2010 num ritmo médio de 3% ao ano, e a divisão espacial e temporal da produção foi alterada significativamente desde então caindo 45% na primeira safra, e aumentando 123% na segunda safra ou “safrinha” (CONAB, 2020b). Com isso, fica evidente que a demanda de produção é crescente, porém não pode ser suprida com aumento expressivo de área, mas sim com aumento de produtividade de grãos por hectare. Neste contexto, o aumento de produtividade de milho pode ser alcançado com práticas de manejo de solo mais eficientes.

No Brasil, em geral, o milho é cultivado em rotação com a soja em sistema de plantio direto (SPD). Com isso, problemas de compactação do solo, resultantes de pressões externas de máquinas e acomodação natural de partículas de solo, são comuns (HAMZA; ANDERSON, 2005; REN et al., 2019). Além disto, o tipo de solo mais presente no Paraná são os Latossolos (LIMA et al., 2012). Em Latossolos geralmente são identificadas camadas compactadas em subsuperfície do solo, que surge em virtude do tráfego dessas máquinas e implementos agrícolas em SPD. Essas camadas compactadas restringem o crescimento radicular e afetam a produtividade da cultura, especialmente em períodos de seca (GUADAGNIN et al., 2005). Além disso camadas compactadas ocasionam perdas de solo e água degradando o solo.

A subsolagem em SPD é um dos processos mecânicos mais utilizados no Brasil para reduzir a compactação, mas seus efeitos de curto prazo têm sido evidenciados na literatura (ROSOLEM; CALONEGO; FOLONI, 2003, SECCO et al., 2021). Com isso, o uso de espécies de cobertura tem sido proposto como uma forma biológica e sustentável de evitar a compactação e descompactar o solo (HAMZA; ANDERSON, 2005; ROSOLEM; CALONEGO; FOLONI, 2003; SECCO et al., 2021). A cobertura do solo com espécies de cobertura, por ser uma prática que reduz os danos causados pela ação erosiva das gotas de chuva, além de proporcionar aumento da umidade do solo, redução do escoamento, erosão hídrica, aumento da infiltração de água no solo

e controle da temperatura do solo (JORDÁN; ZAVALA; GIL, 2010; MONTENEGRO et al., 2013).

No entanto, os benefícios das espécies de cobertura podem variar dependendo da espécie escolhida (CHEN; WEIL, 2011; ARVIDSSON; HÅKANSSON, 2014, BLANCO-CANQUI; JASA, 2019). Espécies leguminosas possuem raízes com maior diâmetro e apresentam melhor penetração no solo (CHEN; WEIL, 2011), podendo criar poros no solo com grandes diâmetros para o crescimento das raízes subsequentes (COLOMBI et al., 2017). Em contrapartida, gramíneas possuem maior densidade de comprimento de raiz, além de possuírem resíduos com maior relação C/N em relação as leguminosas, o que pode resultar em persistência de palhada sobre o solo por mais tempo e proteger o solo. Neste sentido, a mistura de leguminosas e gramíneas pode ser uma alternativa em virtude dos efeitos positivos de cada espécie (VUJIC et al., 2021).

De acordo com Blanco-Canqui e Jasa (2019), estudos comparando especificamente as diferenças nas propriedades do solo entre diversas espécies gramíneas e leguminosas são escassos. Portanto, para o presente estudo, foram selecionadas espécies leguminosas e gramíneas com maior potencial para as condições locais, além da mistura de leguminosas e gramíneas. Como a região apresenta clima subtropical mesotérmico, contando com épocas de frio e calor intenso, foram utilizadas espécies de cobertura de verão e inverno.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

Avaliar a eficácia de espécies de cobertura de inverno e verão na melhoria das propriedades físicas do solo, na redução das perdas de solo e água por erosão e rendimento do milho na região oeste do Paraná.

1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar tais influências das plantas recuperadoras de estrutura e do manejo e uso do solo em um Latossolo na região do oeste paranaense.
- Identificar quais espécies apresentaram melhores resultados implicando em uma maior eficiência no cultivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Latossolos

Como implicação da atuação do material de origem, clima, relevo, tempo e organismos e os processos como a adição, remoção, translocação e transformação, os solos existentes na paisagem refletem sua história, desde sua gênese até o presente. Fenômenos físicos e químicos diferenciados atuam no material de origem, motivando progressivas transformações e determinando as características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos formados (GHIDIN et al., 2006).

Os Latossolos compõem a principal classe de solo encontrada no Paraná, sendo distribuído em 31% do território estadual (LIMA et al., 2012). De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2013), o Estado do Paraná é o segundo maior produtor nacional de grãos e essa produção depende da qualidade do manejo empregado e de ações de conservação do solo.

Característicos de regiões de clima tropical, os Latossolos são solos extremamente intemperizados, com predominância de argilominerais do tipo 1:1, como a caulinita (REIS et al., 2014). São tipicamente profundos, com presença de oxihidróxidos de Fe e Al, com diferentes proporções desses minerais, dependendo do material de origem e da intensidade de intemperismo (SCHAEFER; FABRIS; KER, 2008).

Apresentando distribuição relativamente uniforme de argila ao longo do perfil, alta estabilidade de agregados e baixo conteúdo de silte, em comparação à argila, os solos denominados por Latossolos são profundos, com coloração homogênea com matizes avermelhadas e/ou amareladas (KER, 1997). Os Latossolos favorecem os sistemas de produção em larga escala, por meio da mecanização pelo relevo plano ou suave ondulado (PACHECO et al., 2015).

Porém, em virtude do trânsito de máquinas agrícolas de forma intensiva e do revolvimento, o seu manejo inadequado tem favorecido sua compactação, ainda que apresentem boas propriedades físicas (VALICHESKI et al., 2012). No Estado do Paraná os solos têm predominância de textura argilosa e com o avanço das culturas produtoras de grãos e usos intensivos para o preparo do solo, conseqüentemente

surgiram problemas como erosão, compactação e a perda da fertilidade e de matéria orgânica, que são implicações destes sistemas de manejo empregados e influem na produção dos cultivos (TORMENA et al., 2004).

2.2 Sistema plantio direto

O sistema plantio direto (SPD) foi iniciado no Brasil na década de 70, na região sul do país. Sua popularização pelos estados sulistas brasileiros se deu devido a problemas intensos de erosão, deixados através do intenso processo de sucessão de culturas, principalmente entre trigo e soja (SALOMÃO et al., 2020). Os precursores do plantio direto na palha buscaram informações sobre esse sistema de agricultores ingleses e norte-americanos, onde a técnica surgiu. Há muito é reconhecido como uma das tecnologias mais importantes para a conservação do solo (ALTAMIR et al., 2021).

O SPD preconiza o revolvimento mínimo do solo, associado ao uso de espécies de cobertura em rotação com culturas anuais (MICHELON et al., 2019). O manejo de culturas nesse sistema, tem como principais objetivos o não revolvimento do solo, sua cobertura permanente com palha e a rotação de culturas na área, incluindo um ciclo anual de espécies vegetais produtoras de biomassa para a cobertura do solo, sendo esse um princípio da biodiversidade (CANALLI et al., 2010; CALEGARI; CARLOS, 2014).

O tempo de adoção do SPD, de acordo com Domit et al. (2014), influenciou positivamente nos atributos físicos do solo, diminuindo a resistência à penetração e a densidade do solo, considerando que em curtos períodos de tempo os resultados não são satisfatórios, confirmando que a prática se torna mais eficiente a longo prazo. Junior, De Araújo e Llanillo (2008) apontam que o sistema plantio direto, quando comparado ao sistema plantio convencional, minimiza a perda do perfil do solo em até cinco vezes mais, quando executado o manejo com eficiência.

O processo de plantio direto traz inúmeros benefícios ao solo e a cultura plantada quando utilizado com o manejo adequado. Ocorre a manutenção da camada orgânica do solo, evita a exposição ao sol excessivo, mantém umidade, além de contribuir com a manutenção dos microorganismos do solo (SALOMÃO et al., 2020). Porém, o manejo inadequado deste sistema de produção pode trazer efeitos

negativos, como a erosão hídrica, que é um dos principais distúrbios encontrados pelo SPD (SILVA; DE MARIA, 2011).

A falta de introdução do processo de rotação de culturas coloca a sustentabilidade e biodiversidade do sistema em risco. O monocultivo intenso de espécies, como ocorre frequentemente com soja/milho, tende a afetar definitivamente as condições químicas, físicas e biológicas do solo, propiciando a proliferação de plantas invasoras, redução do desenvolvimento radicular, degradação física do solo e afetando a disponibilidade nutricional e conseqüentemente promovendo a queda da produtividade do sistema agrícola.

2.3 Manejo conservacionista

O solo é um recurso natural de fundamental importância para a produção de alimentos e matérias primas. Como se trata de um sistema trifásico (sólido, líquido e gasoso) e dinâmico, é essencial que suas características físicas, químicas e biológicas sejam preservadas (BERTOLLO; LEVIEN, 2019).

A qualidade do solo é considerada basicamente levando-se em conta aspectos físicos, químicos e biológicos. É uma forma de avaliação do grau de degradação do solo e, também, para distinção entre práticas de manejo (BERTOLLO; LEVIEN, 2019). Dexter (2004) caracteriza como exemplos de má qualidade física do solo quando há na área um ou mais dos seguintes parâmetros: baixa infiltração de água no solo, escoamento superficial, densidade elevada, aeração reduzida e pouco desenvolvimento radicular.

A estrutura do solo é resultado de uma combinação entre seus componentes sólidos, minerais e orgânicos. É no seu sistema físico onde ocorrem as interações entre os gases e a solução do solo (LIMA FILHO et al., 2014), em que a sua estrutura está mais suscetível à ações do manejo ou práticas culturais que resultem em degradação do sistema.

Uma técnica de manejo que contribui para a melhoria da estrutura do solo é por meio do uso de plantas que proporcionam a formação de bioporos com variados tamanhos, os quais auxiliam na difusão de gases no solo, na movimentação de água no solo e no crescimento das raízes. Para as propriedades físicas, contribui na proteção da estrutura do solo ao impedir a ação direta das gotas da chuva sobre a superfície e auxiliar na regulação térmica (FURLANI et al., 2008). Através da reflexão

e absorção de energia solar que incide no solo, diminui as perdas de água por evaporação, colaborando então nas propriedades químicas e biológicas, por meio da liberação de nutrientes ao se decomporem.

2.4 Espécies de cobertura recuperadoras de estrutura

Para manter a sustentabilidade do sistema produtivo são necessárias técnicas que mantenham adequadas a fertilidade do solo e que minimizem impactos sob os recursos naturais (PORTUGAL et al., 2017). Nesse intuito, o uso de espécies de cobertura é um componente fundamental da sustentabilidade dos sistemas de cultivo (CARVALHO et al., 2009).

A cobertura vegetal exerce importante papel na cobertura do solo, ao reduzir o impacto das gotas da chuva (MARTINS et al., 2003; CÂNDIDO et al., 2014), além disso, o incremento de matéria orgânica do solo e o sistema radicular contribuem para a melhoria de atributos físicos do solo, relacionados à infiltração de água e à agregação, e, conseqüentemente, contribuem para a redução da erodibilidade do solo (WOHLENBERG et al., 2004; CONTE, 2011).

Dentre as espécies de leguminosas (*Fabaceae*) destacam-se a *Crotalaria juncea* L. e *Crotalaria spectabilis* Roth, por serem plantas de rápido crescimento vegetativo, eficientes na produção de biomassa e extração de nutrientes, além de adaptadas às condições de baixa fertilidade do solo (ALCÂNTARA et al., 2000; FONTANÉTTI et al., 2006; VARGAS et al., 2011), com ciclo de cultivo relativamente curto (CARNEIRO et al., 2008). Além disso, o sistema radicular da *Crotalaria juncea*, por exemplo, pode crescer em camadas de solo compactado e desenvolver maior número e raízes laterais finas nesta camada, contribuindo assim para a formação de bioporos e melhorando as condições físicas do solo (FOLONI et al., 2006).

Já o guandu-anão (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), apesar da menor relação C/N, possuem capacidade de reciclar elevadas quantidades de nutrientes, podendo fazer parte da rotação, pois promovem a liberação de nutrientes durante a sua decomposição a qual é mais rápida, proporcionando, assim, benefício em curto prazo (TORRES; PEREIRA; FABIAN, 2008). Enquanto o feijão guandu (*Cajanus cajan*), originário na África, possui elevada adaptabilidade ao ambiente tropical e capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico (SILVEIRA et al., 2005).

Outra planta de cobertura que tem se destacado é o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) que também tem se constituído em uma boa opção de planta de cobertura, fornecendo elevadas quantidades de massa de matéria seca (MS), possibilitando o sucesso do SPD (CARNEIRO et al., 2008; CARVALHO et al., 2004a, 2004b, 2004c). É uma espécie com maior relação C/N, possibilitando uma lenta decomposição dos resíduos, e maior a proteção do solo (GIACOMINI et al., 2003; TORRES; PEREIRA; FABIAN, 2008).

A mucuna preta (*Mucuna aterrima*) também contribui para a melhoria das propriedades químicas e físicas do solo, com destaque para o incremento de macronutrientes e aumento da matéria orgânica sobre o solo (TEODORO et al., 2011).

Desta forma a rotação de culturas com espécies de cobertura pode ser considerada alternativa para restaurar a qualidade do solo em áreas degradadas pelo cultivo intenso (SANTOS et al., 2014; ZOTARELLI et al., 2012). Isso ocorre porque a rotação pode promover a ciclagem de nutrientes e melhorar a estrutura do solo (TEJADA; HERNANDEZ; GARCIA, 2008). Sendo que com o passar dos anos, a densidade do solo (Ds) sob sistema plantio direto (SPD) pode diminuir parcialmente, em consequência do aumento no teor de matéria orgânica na camada superficial, melhorando a estrutura do solo (COSTA et al., 2003).

2.5 Leguminosas x gramíneas

O processo de decomposição é diferenciado entre leguminosas e gramíneas, sendo dependente da qualidade bromatológica das espécies vegetais, principalmente em relação a concentração de nitrogênio, das condições climáticas e da atividade microbiana no solo (UBIDA, 2017).

A inclusão de leguminosas em sistemas de rotação de culturas é uma estratégia que deve ser avaliada em relação ao seu efeito nos estoques de matéria orgânica no solo. Bayer et al. (2000) diz que é provável que o aumento da produtividade das culturas comerciais em sucessão à leguminosa também ocasiona um incremento da adição de resíduos não colhidos do solo, favorecendo a acumulação de matéria orgânica e o sequestro de CO₂. São mais utilizadas como adubo verde devido a incorporação de nitrogênio fixado pelas bactérias, associadas as raízes e a rápida decomposição de sua palha, provocada pela baixa relação C/N (ROSOLEM; CALONEGRO; FOLONI, 2003).

Já as gramíneas apresentam maior relação C/N e a decomposição dos resíduos sobre o solo é mais lenta. Então, se por um lado a liberação de nutrientes será mais lenta, por outro, os resíduos permanecem na superfície do solo por mais tempo, aumentando sua proteção contra os agentes erosivos externos. (TIECHER, 2016). Ocasionalmente ocasionam uma melhoria da estrutura do solo, principalmente da estabilização dos agregados, devido ao sistema radicular agressivo e abundante (PAULETTI, 1999).

2.6 Perda de solo e água por erosão

O manejo do solo influencia a perda de solo e, juntamente com a cobertura de solo pelos resíduos culturais, afetam a erosão hídrica. Alguns trabalhos relataram a existência de uma relação direta das perdas de solo com a erosão em culturas agrícolas (HERNANI et al., 1997; BERTOL et al., 2001; MARQUES et al., 2010)

Cogo et al. (2003), ao trabalharem com perda de solo em diferentes declividades, .4

..constataram que nas declividades mais altas, as diferenças nas perdas entre os preparos de solo cresceram consideravelmente. Porém, com efeito mais pronunciado no preparo convencional, intermediário no preparo reduzido e menor no SPD, ressaltando a importância dos resíduos culturais e o não revolvimento do solo na redução da perda de solo.

Outros trabalhos também evidenciaram a contribuição das práticas conservacionistas para a redução da perda de água e solo por escoamento superficial. Guadagnin et al. (2005) observaram que os sistemas conservacionistas de manejo do solo mostraram-se mais eficazes do que o preparo convencional na redução das perdas de solo e água, em relação ao solo sem cultivo, o SPD foi mais eficaz do que o cultivo mínimo na redução das perdas de solo e água e as perdas de solo foram mais influenciadas do que as perdas de água pelos sistemas de manejo do solo.

Lanzanova et al. (2013), avaliaram as alterações temporais das taxas de escoamento da água e das perdas de solo provocadas pela transição do preparo convencional do solo para o SPD, em Argissolo Vermelho distrófico. Observaram que o SPD associado a espécies de cobertura do solo ocasionou a estabilização progressiva do solo e após três anos de sua implantação, a perda de solo foi

semelhante e o escoamento de água foi menor em comparação ao solo sob campo nativo.

Cândido et al. (2014) verificaram maiores perdas de solo em outros sistemas de manejo, em especial o de sem cobertura, ressaltando a importância da cobertura vegetal para a redução da perda de solo pela erosão hídrica. Nesse sentido, ainda ressaltaram que os valores menores em Latossolos deve-se principalmente às características dos Latossolos que reduzem a erosão, como permeabilidade acentuada, coesão entre os agregados, estrutura entre blocos e granular e altos teores de matéria orgânica.

Desta forma, sistemas de produção agrícola que são capazes de propiciar a conservação do solo e da água são de fundamental importância para alcançar o uso mais sustentável dos recursos naturais, como o solo e a água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição da área

O experimento foi realizado no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR, polo regional de Pesquisa Oeste, no município de Santa Tereza do Oeste, situado nas coordenadas a latitude 25° 03' 08" S, longitude 53° 37' 59" W e altitude de 749 m. O clima da região é o subtropical mesotérmico superúmido com temperaturas médias anuais de 19 °C (LIMA et al., 2012). O solo que constitui a área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico, com textura argilosa a muito argilosa (EMBRAPA, 2018). Na Tabela 1, encontram-se os resultados da análise granulométrica realizada na área experimental.

Tabela 1- Composição granulométrica do solo nas camadas de 0 - 0,1; 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,3 m da área experimental do IDR- Santa Tereza do Oeste

Camada (m)	Granulometria		
	Areia	Argila	Silte
	-----g kg ⁻¹ -----		
0,0-0,1	44,9	561,1	394,1
0,1-0,2	38,7	641,9	319,4
0,2-0,3	24,7	706,2	269,1

Os tratamentos analisados constituíram espécies de cobertura e uma área controle, com sistema plantio direto (SPD). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso. As espécies de verão foram: milho (*Pennisetum americanum*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), guandú anão (*Cajanus cajan*), crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), feijão guandú (*Cajanus cajan*) e mucuna preta (*Mucuna pruriens*). As espécies de inverno foram: aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*), ervilhaca + aveia preta (*Pisum sativum* + *Avena strigosa*), tremoço branco + aveia preta (*Lupinus albus* + *Avena strigosa*), nabo+aveia preta (*Raphanus sativus* + *Avena strigosa*) (Tabela 2). Cada parcela possuía dimensões de 20 x 25 m.

Tabela 2. Tratamentos utilizados nas parcelas analisadas, separados por cultura de verão, inverno e sistema de uso e manejo adotado na área experimental

Parcela	Tratamento
Espécies de cobertura de verão	
T1	Milheto
T3	Guandú anão
T7	Crotalaria juncea
T8	Feijão guandú
T9	Crotalaria spectabilis
T11	Mucuna Preta
Espécies de cobertura de inverno	
T2	Aveia branca
T4	Aveia preta
T5	Centeio
T6	Aveia preta + nabo forrageiro
T10	Aveia preta + tremoço branco
T12	Aveia preta + ervilhaca
Sistemas de uso e manejo	
T13	Sistema plantio direto tradicional (testemunha)

Avaliou-se os parâmetros físicos do solo e as perdas de água e solo durante o ciclo de cultivo da cultura do milho. As determinações dos parâmetros físicos do solo foram: densidade, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}), conforme metodologia preconizada pela Embrapa (1997). Nas Figuras 1 e 2 encontram-se respectivamente o croqui e a imagem superior da área experimental.

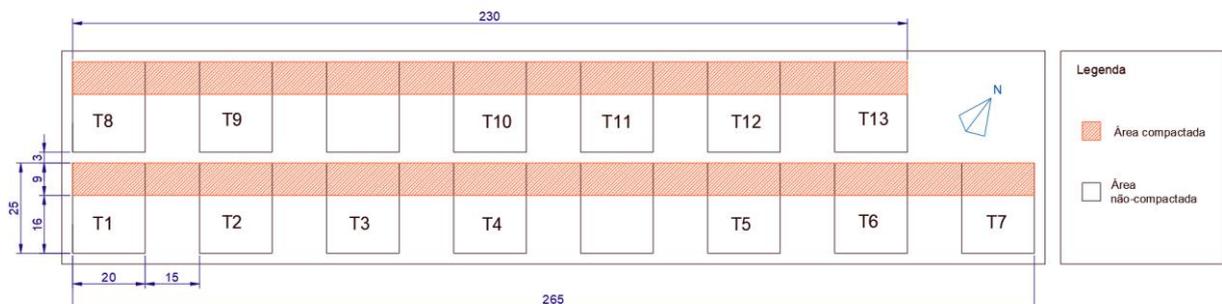


Figura 1. Croqui da distribuição das parcelas/numeração dos tratamentos na área experimental



Figura 2. Imagem aérea da área experimental

3.2 Unidades experimentais e delineamento experimental

Para as avaliações das perdas de água e solo por erosão durante o ciclo de cultivo do milho foram implantadas calhas coletoras com dimensões de 3 x 3 m, conforme ilustrado na Figura 3, instaladas de forma permanente na área, conforme a declividade do terreno, para monitoramento das perdas durante as chuvas naturais.

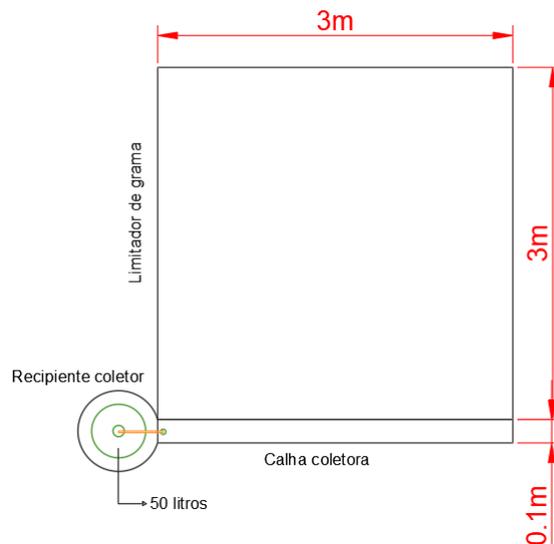


Figura 3. Calha e recipiente coletor

Juntamente com as calhas coletoras permanentes foram instalados recipientes coletores para a armazenagem do volume da enxurrada. Desse volume foram retiradas sub-amostras homogêneas para quantificar a perda de solo de cada

precipitação, de modo que o volume de água escoado após cada precipitação foi determinado diretamente por meio de provetas graduadas.

3.3 Coleta para quantificação de perda de água e solo

No total foram realizadas 16 coletas entre as datas de 14 de março a 17 de junho de 2019. Foi fixado como horário para as coletas às 10 h da manhã. A água escoada em cada parcela, que ficou armazenada no recipiente coletor foi homogeneizada e quantificada através de recipiente graduado. A cada parcela de 9,3 m², levando em conta os 0,3 m² da calha de PVC, foi retirado 500 mL do recipiente coletor, sendo posteriormente separados 50 mL para quantificação do solo perdido no laboratório de física do solo da Unioeste- LAFIS. Essas amostras de 50 mL foram colocadas na estufa a 105°C, para que por meio da evaporação da água fosse quantificada a massa de solo perdida por erosão, de modo que se extrapole a massa total de solo perdida a cada chuva equivalentes para um hectare, utilizando conversões de unidade e medidas.

3.4 Semeadura e colheita do milho

A semeadura do milho foi realizada no dia 21 de fevereiro de 2019 em toda a área experimental. A colheita foi realizada no dia 30 de julho de 2019, de forma manual, onde se avaliou o rendimento de grãos em 3 linhas de 5 metros (área de 13,5 m²), com 3 repetições por parcela. As sementes foram limpas e o peso foi corrigido para 13 % de umidade.

3.5 Semeadura e manuseio de plantas de cobertura

As espécies de verão foram semeadas em março de 2018 e manejadas em julho de 2018 enquanto as espécies de inverno foram semeadas em maio de 2018 e manejadas em meados de agosto de 2018.

3.6 Compactação da área

Para diversificar os valores encontrados dos parâmetros físicos do solo, em 2017 foi criada uma faixa compactada, com rolo compactador de 16 toneladas

(BOMAG BW 211D-40) para todos os tratamentos (tendo a dimensão de 9 x 20 m), podendo assim serem feitos os comparativos dos resultados do solo antes e depois da compactação, através das coletas em campo e análises em laboratório.

O teor de umidade do solo foi de 38% e 37% nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente.

3.7 Dados pluviométricos durante o ciclo do milho

Os dados pluviométricos coletados nos dias durante o ciclo da cultura do milho são apresentados abaixo na Figura 4.

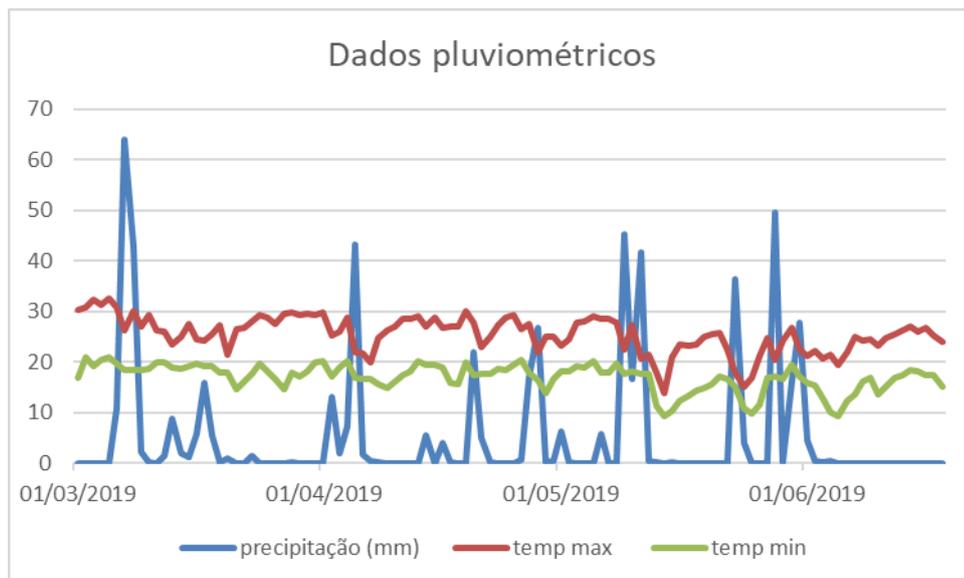


Figura 4. Dados pluviométricos coletados de março até junho de 2019.

De acordo com a Figura 4, verifica-se que ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho foram poucos os períodos em que houve baixa quantidade de água disponível para seu crescimento e formação.

3.8 Avaliações físicas

Para a determinação da densidade, espaço poroso (porosidade total, macroporosidade e microporosidade) e condutividade hidráulica saturada do solo, foram coletadas amostras indeformadas em três camadas: 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sempre considerando a profundidade intermediária da camada visada, utilizando cilindros de dimensões 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro.

Foram coletadas amostras em duplicata em cada camada, a fim de obter amostras representativas, considerando a grande dispersão dos atributos físicos e prevenindo perdas de amostras durante a realização dos procedimentos laboratoriais.

Para a avaliação da densidade do solo e macroporosidade, foi utilizada uma coluna de areia que permite a extração seletiva de água a tensões pré-estabelecidas Reinert e Reichert (2006). Posteriormente as amostras foram pesadas e saturadas novamente por 24 horas para a determinação da condutividade hidráulica saturada em permeâmetro de carga constante. Os cálculos para obtenção da condutividade hidráulica do solo foram realizados conforme metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997).

3.8.1 Densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo, foi utilizada a Equação (1), onde massa do anel e o seu volume são previamente conhecidos.

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V_c} \quad (1)$$

Em que D_s é a densidade aparente do solo (g cm^{-3}); M_{ss} é a massa do solo seco (g) e V_c é o volume do anel (cm^3).

3.8.2 Densidade de partículas

É avaliada através da relação entre a massa de solo seca e o volume ocupado pela fração sólida sem considerar a sua porosidade. Coloca-se uma amostra de 20 gramas de solo seco em um balão volumétrico de 50 ml, completando com álcool etílico. Após agitação, observa-se a diferença entre o volume do balão e o volume do álcool, como descrito na Equação (2).

$$D_p = \frac{M_{ss}}{50 - V_a} \quad (2)$$

em que D_p é a densidade de partículas (g m^{-3}) e V_a é o volume de álcool gasto (cm^3).

3.8.3 Porosidade total

A porosidade total é a parte do volume total de um determinado volume de solo, onde pode ser ocupada por água e/ou ar. É calculada através da separação dos macros e microporos (Micro) pela sucção a 0,60 m.c.a em coluna de areia, onde se drena o volume dos macroporos (Macro). Em seguida, mede-se o volume remanescente de água na amostra, medindo então o volume dos microporos. Tem-se então, os volumes de Macro, micro e porosidade total nas Equações (3), (4) e (5) a seguir.

Para a realização das análises da macroporosidade, os anéis contendo as amostras de solo foram limpos e colocados para saturar durante o período de 24 horas. Em seguida, as amostras de solo foram pesadas e colocadas na coluna de areia. Esse método consiste em saturar a coluna de areia a 1 m.c.a e após as amostras serem colocadas, diminui o nível a 0,6 m.c.a., para que a água presente nos macroporos seja retirada, permanecendo por um período de 48 horas. Após este período as amostras são pesadas.

$$\mathbf{Macro} = Pt - \mathbf{Micro} \quad (3)$$

Após as amostras serem submetidas a 60 cm de coluna de areia, são colocadas em estufa, ainda úmidas, a 105°C por 48 horas. Após retirada da estufa realiza-se o cálculo da microporosidade comparando o peso antes e pós estufa.

$$\mathbf{Micro} = \frac{Msu - Mss}{Mss} * 100 \quad (4)$$

em que Msu é a massa de solo úmido (g) e Mss é a massa de solo seco (g).

Tem-se então a porosidade através da equação a seguir:

$$\mathbf{Pt} = 1 - \frac{Ds}{Dp} * 100 \quad (5)$$

3.8.4 Condutividade hidráulica (mm h⁻¹)

A condutividade hidráulica do solo K é uma propriedade que expressa a

facilidade com que a água se movimentada dentro do solo (GONÇALVES; LIBARDI, 2013). É controlado um dado tempo para se observar a infiltração das amostras coletadas em campo e saturadas em permeâmetro de carga constante. O cálculo é realizado através da Equação (6).

$$K_{sat} = \frac{V_a L}{A t_{ksat} (h+L)} \quad (6)$$

em que K_{sat} é a condutividade hidráulica (mm h^{-1}); V_a é o volume de água percolado (m^3) durante o tempo t_{ksat} (s); L é o comprimento da amostra (m); A é a área da seção transversal da amostra (m^2) e h é o potencial de pressão no topo da amostra (m).

3.9 Dados de declividade das parcelas

Para se determinar a declividade presente nas parcelas estudadas, foram utilizados régua nível com tripé através do intermédio das cotas. Os valores em porcentagem dos declives foram calculados pela Equação (7) a seguir.

$$Dec = \frac{|h_A - h_B|}{d_{AB}} * 100 \quad (7)$$

em que Dec é a declividade do terreno (%); h_A e h_B as alturas dos pontos A e B (m) e d_{AB} é a distância paralela ao nível entre A e B (m).

3.10 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$), utilizando-se o software Sisvar[®] (Software de Análise Estatística, UFla, Lavras, MG, Brasil).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade do solo

Os valores de densidade do solo nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m em razão do cultivo das espécies de cobertura e da época de avaliação, pós-compactação (2017) ou pós-colheita do milho (2019), encontram-se na Tabela 3. A densidade do solo da camada de 0-0,1 m não foi afetada pelas espécies de cobertura, independentemente da época de avaliação, pós-compactação ou pós-colheita.

Tabela 3. Valores médios de densidade do solo pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).

Tratamento	Densidade (Mg m ⁻³)					
	0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2017	2019	2017	2019	2017	2019
Milheto	1,02	1,03	1,13 aA	1,05 abcdB	1,08 abcA	1,04 aA
Aveia branca	0,98	0,98	1,07 aA	1,01 dA	1,07 abcA	1,01 aA
Guandú anão	1,02	1,22	1,10 aA	1,08 abcdA	1,10 abcA	1,03 aB
Aveia preta	1,13	1,04	1,15 aA	1,15 aA	1,03 bcA	1,07 aA
Centeio	1,06	0,94	1,12 aA	1,01 dB	1,14 abA	1,05 aB
Aveia preta+nabo	1,06	1,04	1,15 aA	1,03 bcdB	1,12 abcA	1,05 aA
Crotalaria juncea	1,10	0,94	1,15 aA	1,01 dB	1,13 abA	1,02 aB
Feijão guandú	0,96	1,06	1,10 aA	1,13 abcA	1,15 aA	1,05 aB
Crotalaria spectabilis	1,11	0,95	1,07 aA	1,02 cdA	1,07 abcA	1,00 aA
Aveia preta+tremoço	0,98	1,04	1,07 aB	1,15 abA	1,06 abcA	1,07 aA
Mucuna preta	1,01	1,05	1,08 aA	1,15 aA	1,03 bcA	1,08 aA
Aveia preta+ervilhaca	1,05	1,04	1,15 aA	1,09 abcdA	1,14 abA	1,05 aB
SPD	1,08	1,07	1,14 aA	1,13 abcA	1,11 abcA	1,09aA
DMS (linha)	0,25		0,07		0,07	
DMS (coluna)	0,32		0,12		0,11	
CV (%)	10,53		4,36		4,36	

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas colunas para comparação entre espécies de cobertura e maiúsculas nas linhas para época de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0.05$).

Tendo em vista que a camada de 0-0,1 m é uma camada que sofre intensa mobilização pelos mecanismos semeadores/adubadores, possui alto teor de matéria orgânica e grande volume de bioporos deixado pela senescência das raízes dos cultivos agrícolas, geralmente essa camada não apresenta problema de compactação. Além disto, na camada superficial do solo o crescimento das raízes das plantas e a presença de matéria orgânica acumulada, promove o efeito esponja, que auxilia no processo de descompactação do solo (KONZEN et al., 2018). A presença de matéria orgânica, bioporos, raízes e o revolvimento do solo por sulcadores das

semeadoras no perfil do solo são fatores que atenuam a compactação na camada superficial do solo (SILVEIRA et al., 2018).

Em contrapartida, na camada de 0,1-0,2 m, se concentram as tensões impostas pelos pneumáticos de máquinas e implementos agrícolas e, portanto, normalmente apresentam compactação. Assim, na apresentação dos resultados e discussão será dado mais enfoque a esta camada, evidenciando ou não as espécies de cobertura mais promissoras na redução da compactação, ou seja, aquelas que efetivamente promoveram melhoria significativa dos atributos físicos avaliados neste trabalho.

Nas camadas 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, foi observado interação dos fatores, espécies de cobertura e épocas de avaliação, pós-compactação (2017) ou pós-colheita (2019; Tabela 3). Nestas camadas, o efeito do tráfego de máquinas e equipamentos afetou de forma direta a compactação do solo em sistema plantio direto, tendo em vista que em geral é observado menor teor de matéria orgânica. Com isso, efeitos positivos de espécies cobertura podem ser mais visíveis em camadas de 0,10 a 0,20 m.

O SPD foi utilizado como testemunha para avaliar o comportamento dos atributos do solo pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019). Nas camadas de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m os valores de densidade não variaram significativamente entre a pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019), o que indica que no SPD tradicionalmente utilizado pelos agricultores o solo manteve o valor da densidade inalterada. Na camada de 0,1-0,2 m foi observado densidade de 1,14 e 1,13 Mg m⁻³ pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019), respectivamente. Já na camada de 0,2-0,3 m foi observado densidade de 1,11 e 1,09 Mg m⁻³ pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019), respectivamente (Tabela 3). O SPD apresenta maior densidade do solo do que outros manejos, fato que ocorre principalmente devido ao uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas (HAMZA; ANDERSON, 2005).

Algumas espécies de cobertura foram eficazes na redução da densidade do solo pós-colheita (2019) em comparação a compactação (2017) nas camadas 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. As espécies de cobertura que se destacaram na redução da densidade do solo na camada de 0,1-0,2 m foram milho, centeio, aveia preta + nabo e crotalaria juncea. A crotalaria juncea foi a cultura de cobertura que resultou na maior redução de densidade, equivalente a 12,1% em comparação a condição pós-compactação em 2017. Estes efeitos positivos são devido as raízes das plantas e a adição de material orgânico para o solo, afetando positivamente os atributos físicos do solo (ALVES et al., 2012).

Na camada de 0,2-0,3 m, as espécies de cobertura que diminuíram a densidade do solo foram guandu anão, centeio, crotalaria juncea, feijão guandu e aveia preta + ervilhaca. A densidade na camada 0,1-0,2 m variou de 1,01 a 1,15 g cm⁻³ (Tabela 3). Apesar de se tratar de uma área compactada, os valores não ultrapassaram o limite crítico, que afeta o crescimento das raízes em solos argilosos, que é dado entre 1,30 a 1,40 g cm⁻³ (REICHERT et al., 2003).

Anschau et al. (2018) observaram efeito positivo das espécies de cobertura de inverno após o cultivo da soja para a densidade do solo. Além disto, os autores observaram que a densidade foi maior no tratamento testemunha, ou seja, onde não havia palhada sobre o solo.

4.2 Macroporosidade do solo

Como observado para densidade, a macroporosidade solo da camada de 0-0,1 m não foi afetada pelas espécies de cobertura, independentemente da época de avaliação, pós-compactação ou pós-colheita (Tabela 4).

Tabela 4. Dados de interação entre os resultados médios da macroporosidade do solo pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).

Tratamento	Macroporosidade (%)					
	0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2017	2019	2017	2019	2017	2019
Milheto	14,53	15,95	14,51 aB	17,72 abcA	13,61 aB	17,93 abA
Aveia branca	13,84	15,48	16,05 aB	19,26 abA	15,45 aB	18,39 abA
Guandú anão	17,48	16,54	15,41 aA	16,97 abcA	13,49 aB	17,87 abA
Aveia preta	15,69	14,99	13,92 aA	14,19 cA	14,86 aA	16,43 abA
Centeio	16,98	18,78	15,91 aB	21,37 aA	13,98 aB	20,13 aA
Aveia preta+nabo	14,07	14,21	14,46 aA	17,07 abcA	13,83 aA	16,28 abA
Crotalaria juncea	14,89	14,46	14,87 aA	14,64 bcA	12,87 aB	17,20 abA
Feijão guandú	17,48	14,50	15,41 aA	13,26 cA	14,20 aA	13,79 bA
Crotalaria spectabilis	12,63	16,37	16,44 aA	16,72 abcA	15,95 aA	16,81 abA
Aveia preta+tremoço	14,47	14,05	16,24 aA	15,26 bcA	13,00 aA	14,04 bA
Mucuna preta	12,45	13,35	16,11 aA	14,93 bcA	16,01 aA	14,66 bA
Aveia preta+ervilhaca	14,01	12,91	16,00 aA	17,84 abcA	14,57 aA	15,67 abA
SPD	15,41	13,27	15,39 aA	16,32 bcA	15,15 aB	18,31 abA
DMS (linha)	3,71		2,81		2,92	
DMS (coluna)	6,37		4,82		5,01	
CV (%)	17,69		12,43		13,32	

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas colunas para comparação entre espécies de cobertura e maiúsculas nas linhas para época de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0.05$).

Para macroporosidade do solo nas camadas 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, foi observado interação dos fatores, espécies de cobertura e épocas de avaliação, pós-compactação

(2017) ou pós-colheita (2019) (Tabela 4). Na camada de 0,1-0,2 m, as espécies de cobertura que propiciaram melhoria em relação a macroporosidade do solo foram milho, aveia branca e centeio. A melhoria na macroporosidade do solo em 2019 após o cultivo foi de 34,32% em relação a compactação inicial em 2017 para a espécie centeio. O aumento da macroporosidade pode ser atribuída ao aumento na agregação do solo pelas culturas de cobertura, além dos canais deixados pelas raízes após a decomposição (CHEN; WEIL, 2011; BLANCO-CANQUI et al., 2011; BLANCO-CANQUI; RUIS, 2020).

No SPD na camada de 0,2-0,3 m, foi observado que a porosidade do solo aumentou em 2019 em relação ao de 2017. Com isso, os efeitos das espécies de cobertura na macroporosidade do solo na camada de 0,2-0,3 m devem ser ponderados, uma vez que a macroporosidade da SPD, utilizado como testemunha, também aumentou.

Soares et al. (2021) verificaram que o uso de espécies de cobertura em três safras foi suficiente para alterar o volume da macroporosidade, tendo como destaque o cultivo com a crotalaria *spectabilis*. Enquanto Silva et al. (2017) mostraram que os maiores valores de macroporosidade foram apresentados no solo com resíduos de milho. Bertollo et al. (2021) verificaram que as espécies de cobertura aumentaram a macroporosidade sob níveis de compactação, em comparação com as condições anteriores em 0-0,3 m de profundidade do solo.

O volume de macroporos em todos os tratamentos ficou acima de 10%, portanto, valor considerado não crítico por Vomocil e Flocker (1961) para disponibilidade de ar, água e o pleno desenvolvimento das raízes das plantas. Os macroporos são resultados da disposição dos agregados, da ação da mesofauna e raízes, da expansão e contração da massa do solo, tendo papel fundamental na movimentação de gases no solo, e ao fluxo de água: infiltração, drenagem e transporte de solutos (EMBRAPA, 2013). Os efeitos das espécies de cobertura na macroporosidade do solo diminuem com o aumento da profundidade de amostragem pois há uma diminuição na quantidade de raízes com o aumento da profundidade do solo (ÇERÇIOĞLU et al., 2019), como observado no presente estudo.

4.3 Microporosidade do solo

Os valores de microporosidade do solo nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-

0,3 m em razão das espécies de cobertura e épocas de avaliação, encontram-se na Tabela 5. A microporosidade do solo da camada de 0-0,1 foi afetada pela interação de espécies de cobertura, independentemente da época de avaliação (pós-compactação ou pós-colheita). Os tratamentos aveia preta e crotalaria spectabilis reduziram a microporosidade do solo em 2019 em comparação a 2017. Em geral, as espécies de cobertura que propiciaram menor porcentagem de microporos foram o centeio, aveia preta + tremoço, aveia preta + ervilhaca.

Tabela 5. Dados de interação entre resultados médios da microporosidade do solo pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).

Tratamento	Microporosidade (%)					
	0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2017	2019	2017	2019	2017	2019
Milheto	43,93 bA	44,41 aA	40,44 a	41,88 ab	42,60 abc	42,00 ab
Aveia branca	45,87 bA	46,88 aA	42,71 a	42,03 ab	47,82 a	42,72 ab
Guandú anão	45,97 bA	45,99 aA	41,95 a	42,96 ab	41,75 bc	42,66 ab
Aveia preta	49,69 bA	46,16 aB	43,41 a	41,65 ab	42,45 abc	42,47 ab
Centeio	46,27 bA	44,94 aA	43,72 a	39,91 b	39,73 c	39,43 b
Aveia preta+nabo	45,42 bA	45,68 aA	41,15 a	43,31 ab	39,49 c	43,16 ab
Crotalaria juncea	46,12 abA	49,50 aA	41,63 a	46,56 a	42,76 abc	43,58 ab
Feijão guandú	45,99 bA	44,66 aA	45,66 a	43,18 ab	42,77 abc	45,98 a
Crotalaria spectabilis	52,78 aA	47,18 aB	42,48 a	44,08 ab	46,48 ab	44,59 ab
Aveia preta+tremoço	43,04 bA	45,59 aA	40,94 a	40,68 ab	42,95 abc	44,63 ab
Mucuna preta	46,57 abA	46,16 aA	43,41 a	40,95 ab	44,28 abc	43,74 ab
Aveia preta+ervilhaca	43,33 bA	47,01 aA	41,55 a	40,27 b	41,59 bc	43,78 ab
SPD	46,26 abA	45,25 aA	40,31 a	40,20 b	42,21 abc	39,89 b
DMS (linha)	3,92		3,66		3,50	
DMS (coluna)	6,72		6,28		6,01	
CV (%)	6,03		6,18		5,79	

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas colunas para comparação entre espécies de cobertura e maiúsculas nas linhas para época de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0.05$).

Nas camadas 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m foi observado apenas efeito das espécies de cobertura de forma isolada dentro de cada período de avaliação. Na meta-análise de Blanco-Canqui e Ruis (2020), foi observado que as culturas de cobertura geralmente aumentam a macroporosidade do solo, mas tem pouco ou nenhum efeito na microporosidade, especialmente em curto prazo. Já Soares et al. (2021) apontaram redução significativa do volume dos microporos na camada de 0-0,1 m, condição predominante no cultivo da crotalaria spectabilis, que apresentou redução de 26%. Bertollo et al. (2021) mostraram que as espécies de cobertura diminuíram a fração de microporos, sob níveis de compactação em comparação com condições anteriores em 0,03 m de profundidade do solo.

4.4 Porosidade total do solo (Pt)

Nas camadas 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, foi observado interação dos fatores, espécies de cobertura e épocas de avaliação, pós-compactação (2017) ou pós-colheita para porosidade total do solo (2019), cujos valores estão representados na Tabela 6.

Tabela 6. Dados de interação entre resultados médios da porosidade total do solo pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).

Tratamento	Porosidade total (%)					
	0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2017	2019	2017	2019	2017	2019
Milheto	60,64 aA	60,36 aA	56,40 aB	59,60 abcA	58,62 abcA	59,93 aA
Aveia branca	62,47 aA	62,36 aA	58,77 aA	61,29 aA	58,93 abcA	61,11 aA
Guandú anão	60,42 aA	62,53 aA	57,68 aA	59,93 abcA	57,70 abcB	60,53 aA
Aveia preta	56,56 aA	59,51 aA	55,86 aA	55,83 cA	61,02 aA	58,90 aA
Centeio	59,59 aB	63,72 aA	56,81 aB	61,28 aA	56,31 bcB	59,56 aA
Aveia preta+nabo	59,55 aA	59,90 aA	55,70 aB	60,38 abcA	57,09 abcA	59,45 aA
Crotalaria juncea	57,81 aB	63,96 aA	55,64 aB	61,19 aA	56,48 bcB	60,78 aA
Feijão guandú	63,18 aA	59,16 aB	57,80 aA	56,44 bcA	55,93 cB	59,77 aA
Crotalaria spectabilis	57,50 aB	63,55 aA	58,87 aA	60,80 ab A	58,87 abcB	61,40 aA
Aveia preta+tremoço	62,23 aA	59,64 aA	59,03 aA	55,95 cB	59,27 abA	58,66 aA
Mucuna preta	60,82 aA	59,51 aA	58,38 aA	55,88 cA	60,49 ab	58,40 a
Aveia preta+ervilhaca	59,48 aA	59,92 aA	55,86 aA	58,11 abcA	56,32 bcB	59,45 aA
SPD	58,24 aA	58,52 aA	56,06 aA	56,53 bcA	57,43 abcA	58,20 aA
DMS (linha)	3,98		2,65		2,51	
DMS (coluna)	6,83		4,55		4,31	
CV (%)	4,67		3,25		3,03	

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas colunas para comparação entre espécies de cobertura e maiúsculas nas linhas para época de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0.05$).

As espécies de cobertura centeio e crotalaria juncea foram eficientes em aumentar a porosidade total do solo em 2019 em relação a área compactada em 2017 nas três camadas. Nas parcelas com SPD, utilizado como tratamento testemunha, foi observado que a porosidade total do solo se manteve a mesma da compactação em 2017. De acordo com Andrade e Stone (2009), um solo para ser considerado ideal para a produção agrícola, deve apresentar valores próximos de 50%. Ren et al. (2019) mostram que nenhum efeito das espécies de cobertura na porosidade total foi verificado. Secco et al. (2021) verificaram que no sistema de plantio direto tradicional, a porosidade total é geralmente menor quando comparado a outros manejos, como o de espécies de cobertura.

4.5 Condutividade hidráulica do solo (Ksat)

Na Tabela 7, estão apresentados os valores médios de condutividade hidráulica do solo (Ksat) em função das espécies de cobertura e épocas de avaliação.

Tabela 7. Dados de interação entre resultados médios da condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) pós-compactação (2017) e pós-colheita (2019).

Tratamento	Ksat (mm h ⁻¹)					
	0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2017	2019	2017	2019	2017	2019
Milheto	7,00 aA	44,4 bcA	20,0 aA	68,3 bcA	20,8 aA	25,4 cA
Aveia branca	0,6 aB	106,6 abcA	11,5 aB	191,4 abA	11,2 aB	146,7 abcA
Guandú anão	10,2 aB	83,6 bcA	15,5 aB	107,9 bcA	72,3 aB	183,8 abA
Aveia preta	10,5 aA	51,1 bcA	26,9 aA	25,6 cA	6,1 aB	91,9 abcA
Centeio	20,1 aA	15,2 cA	35,3 aB	282,2 aA	18,0 aB	234,1 aA
Aveia preta+nabo	22,4 aB	99,2 abcA	17,6 aB	115,5 bcA	18,9 aB	111,2 abcA
Crotalaria juncea	10,1 aB	202,8 aA	82,6 aB	178,3 abA	13,2 aA	45,7 bcA
Feijão guandú	10,3 aA	41,7 bcA	43,4 aA	36,6 cA	67,6 aA	28,5 cA
Crotalaria spectabilis	2,3 aB	127,7 abA	5,1 aB	94,8 bcA	5,00 aA	81,1 bcA
Aveia preta+tremoço	3,1 aA	20,1 cA	4,9 aA	37,4 cA	15,2 aA	58,7 bcA
Mucuna preta	4,7 aA	50,6 bcA	14,0 aA	11,7 cA	24,8 aA	66,2 bcA
Aveia preta+ervilhaca	15,2 aB	121,0 abcA	17,5 aA	89,7 bcA	103,4 aA	63,2 bcA
SPD	16,7 aA	86,1 bcA	43,8 aA	28,9 cA	11,5 aA	81,8 bcA
DMS (linha)	62,55		79,00		84,15	
DMS (coluna)	107,40		135,6		144,48	
CV (%)	101,95		90,82		96,75	

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas colunas para comparação entre espécies de cobertura e maiúsculas nas linhas para época de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0.05$).

A maior média para Ksat foi encontrada para o centeio, com infiltração de 282,17 mm h⁻¹, em comparação com a mucuna preta que apresentou menor valor de Ksat com 15,63 mm h⁻¹. A Ksat tem importância nas pesquisas edáficas que avaliam a qualidade do solo os quais revelam as diferenças entre os sistemas de manejo e é correlacionada com a compactação do solo e crescimento das plantas (SECCO et al., 2004).

A crotalaria juncea e crotalaria spectabilis também se destacaram, melhorando a Ksat em 2019 em relação ao ano de 2017. Ambas as espécies possuem ótimo desenvolvimento do sistema radicular em curto período com raízes pivotantes, o que justificaria a melhoria na infiltração da água no solo para os resultados do Ksat.

Foi observado que o centeio, espécie que se destacou em relação a melhoria na infiltração da água no solo, também apresentou resultados positivos para

densidade e porosidade total (Tabelas 3 e 6), justificando a relação das propriedades físicas do solo e a infiltração de água no solo. O sistema radicular das espécies de cobertura amplia espaço poroso, o que favorece a infiltração de água no solo (HARA et al., 2019). Para Reichert, Suzuki e Reinert (2007) pequenas mudanças na macroporosidade trazem alterações consideráveis na Ksat do solo.

Marchini et al. (2015) apontam que solos com ausência de cultivo ou ausência de cobertura vegetal, são mais suscetíveis a sofrerem com os processos de degradação do solo. Quando expostos a agentes erosivos, como a água da chuva, acontece potencial desestabilização de agregados de maiores tamanhos, os quais favorecem a retenção de água com efeitos de lentidão nos movimentos de água e no fluxo de gases.

A Ksat é um atributo com elevado coeficiente de variação (CV), apresentando na camada de 0,1-0,2 m, CV de 65,78%. Por se tratar de um atributo que não depende somente das variações estruturais do solo mas também da continuidade dos poros e da presença de poros naturais, a Ksat, individualmente, não é um bom indicador para a caracterização da qualidade física do solo de uma determinada área (MESQUITA; MORAES, 2004), porém com os atributos anteriormente analisados, é um parâmetro a mais para se discutir a eficácia das espécies de cobertura e seus efeitos benéfico.

4.6 Rendimento de grãos de milho

O rendimento do milho cultivado após as espécies de cobertura foi semelhante em relação as espécies de cobertura e o SPD, não apresentando diferenças significativas. O rendimento de grãos médio foi de 3776 kg ha⁻¹, abaixo do rendimento médio aproximado de 5012 kg ha⁻¹ do milho safrinha no Paraná (CONAB 2020b). Apesar do efeito benéfico de algumas espécies de cobertura nas propriedades físicas do solo após a compactação artificial e o cultivo do milho, isso não provocou aumento de produtividade de grãos de milho. Esse fato pode estar relacionado as condições climáticas e de fertilidade na área experimental, cujos efeitos da compactação artificial foram menos evidentes na produtividade de grãos no curto prazo. De acordo com Ren et al. (2019), a produtividade não foi afetada pela compactação do solo quando o suprimento de água e nutrição é suficiente na camada de 0-0,1m, o que foi observado no presente estudo, uma vez que a camada superior foi levemente afetada pela

compactação do solo.

Tabela 8. Valores médios de rendimento de grãos de milho em função de espécies de cobertura.

Espécies de cobertura	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)
Milheto	3428
Aveia branca	4217
Guandú anão	3995
Aveia preta	3633
Centeio	3810
Aveia preta+nabo	3553
Crotalaria juncea	3863
Feijão guandú	3548
Crotalaria spectabilis	3917
Aveia preta+tremoço	3582
Mucuna preta	3860
Aveia preta+ervilhaca	3835
SPD	3853
CV (%)	8,64

Não significativo pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Apesar de não resultar em aumento de rendimento de grãos no curto prazo, em geral, o cultivo de espécies de cobertura e conservação do solo e possibilita consideráveis aumentos de rendimento nas culturas subsequentes no longo prazo e apresenta viabilidade econômica (PACHECO et al., 2011). Carvalho et al. (2004c) verificaram que a crotalaria juncea como cultura antecessora possibilitou aumento de 18% no rendimento em relação ao pousio. Este resultado pode ser explicado pela capacidade que a planta tem em fornecer nitrogênio para o milho em sucessão.

4.7 Perdas de solo e água

As perdas de solo cultivado com espécies de cobertura são apresentadas na Figura 5, Tabelas 9 e 10. Observa-se que as maiores perdas de solo coincidiram com períodos de alta precipitação. As espécies de cobertura aveia preta + tremoço e feijão guandú apresentaram perdas de solo elevadas em precipitações superiores a 40 mm. Essas maiores perdas podem estar relacionadas a maior densidade do solo e menor macroporosidade nas parcelas destas espécies de cobertura (Tabela 3 e 4).

Em alguns períodos as parcelas com cultivo das espécies de cobertura tiveram perdas de solo maiores do que as perdas observadas no SPD. Esse fato pode ser devido ao curto prazo de instalação das espécies de cobertura na área experimental.

As espécies de cobertura foram implantadas logo após a compactação do solo, em 2017. Ao contrário, o SPD já se encontrava estabilizado por ter sido implantado na área estudada desde 2014. Além disto, apesar do SPD com monocultivo apresentar problemas de sustentabilidade no longo prazo se não for bem manejado, o SPD pode fornecer condições adequadas no curto prazo, dependendo das condições climáticas.

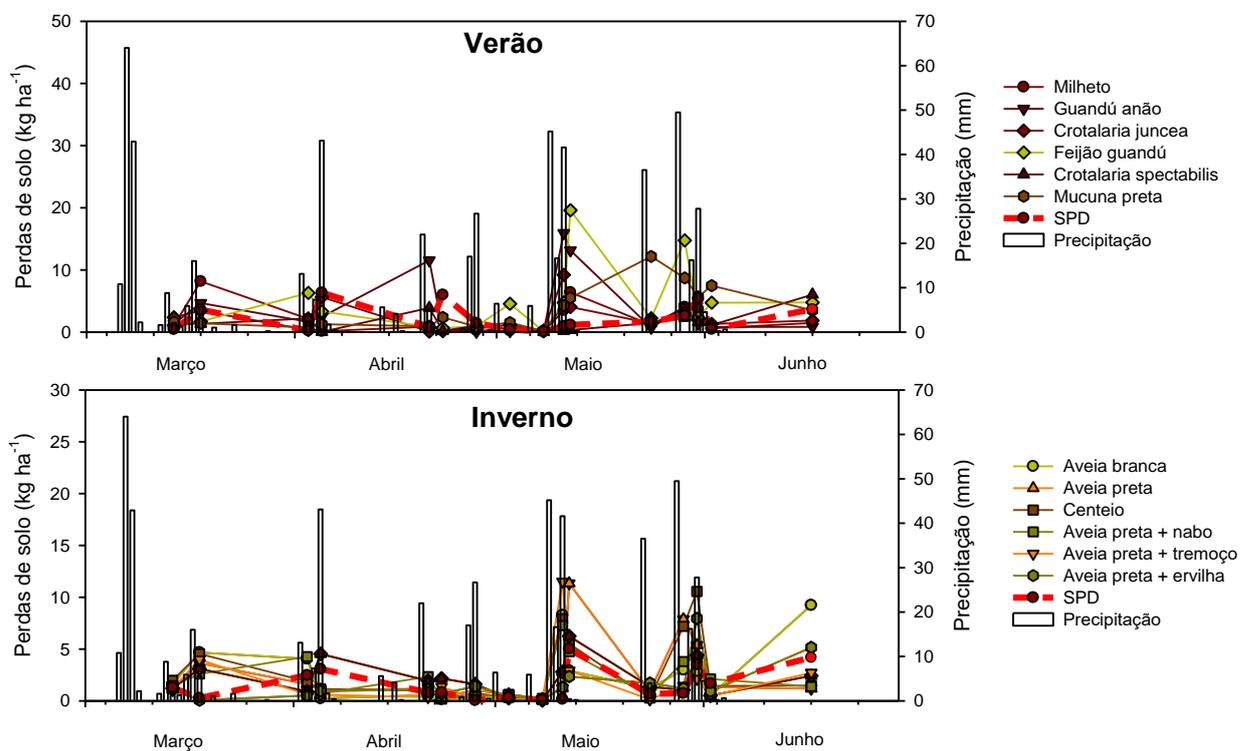


Figura 5. Perdas de solo em função de espécies de cobertura de verão e inverno e sistema plantio direto tradicional no solo compactado.

Tabela 9. Perdas de solo (kg ha⁻¹) em função de espécies de cobertura de inverno e sistema plantio direto (SPD) tradicional no solo compactado.

Data	Milheto	Guandú anão	C. juncea	Feijão guandú	C. spectabilis	Mucuna preta	SPD
3/14/2019	1.1	1.3	2.4	1.1	1.3	1.6	0.4
3/18/2019	8.2	4.7	3.4	1.7	1.3	1.4	3.6
4/3/2019	2.1	1.7	0.4	6.3	2.2	0.7	0.2
4/5/2019	0.1	2.5	5.6	3.3	0.0	1.3	6.3
4/21/2019	0.9	11.5	0.1	0.8	3.9	0.9	0.8
4/23/2019	0.2	0.3	0.2	0.6	0.2	2.4	6.0
4/28/2019	0.3	0.0	0.6	0.9	1.0	0.9	1.4
5/3/2019	0.2	0.2	1.1	4.5	0.5	1.5	0.4
5/8/2019	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.0
5/11/2019	3.5	15.9	9.2	4.8	0.2	4.3	1.0
5/12/2019	6.4	13.2	4.0	19.6	0.3	5.5	1.1
5/24/2019	1.1	0.7	1.4	2.2	1.5	12.2	1.7
5/29/2019	4.0	4.1	3.1	14.8	2.3	8.7	2.6
5/31/2019	3.7	1.4	2.1	2.3	1.6	5.7	5.4
6/2/2019	0.6	0.8	1.3	4.7	1.1	7.5	0.5
6/17/2019	1.5	0.8	1.9	4.8	6.0	3.5	3.7

Tabela 10. Perdas de solo (kg ha⁻¹) em função de espécies de cobertura de inverno e sistema plantio direto (SPD) tradicional no solo compactado.

Data	Aveia branca	Aveia preta	Centeio	Aveia preta + nabo	Aveia preta + tremoço	Aveia preta + ervilha
3/14/2019	1.6	1.1	2.0	1.5	1.2	1.2
3/18/2019	4.7	3.6	4.5	2.6	3.1	0.1
4/3/2019	4.1	1.6	1.9	4.3	0.9	0.5
4/5/2019	0.2	1.1	1.2	0.7	4.5	0.9
4/21/2019	0.6	1.1	1.0	2.3	1.9	1.1
4/23/2019	0.2	0.4	0.2	0.3	2.2	0.7
4/28/2019	0.4	1.0	0.7	0.4	1.6	1.4
5/3/2019	0.4	0.6	0.3	0.6	0.3	0.5
5/8/2019	0.1	0.2	0.1	0.2	0.0	0.1
5/11/2019	8.3	1.2	7.9	7.3	2.8	1.3
5/12/2019	2.9	11.3	5.5	4.7	6.2	2.3
5/24/2019	1.2	0.9	0.3	0.5	1.4	1.7
5/29/2019	3.0	7.9	7.2	3.8	1.0	1.2
5/31/2019	2.8	5.4	10.6	4.1	4.4	7.9
6/2/2019	0.5	1.3	1.4	2.1	0.5	0.9
6/17/2019	9.2	1.2	1.5	1.4	2.4	5.2

Apesar dos reflexos positivos na estrutura do solo, a perda de solo em períodos de alta precipitação nas parcelas com algumas espécies de cobertura pode ser devido a quantidade de palha na superfície e ao pouco tempo de instalação das espécies, como já mencionado. Dos Santos Felix et al. (2019) afirmam que as maiores perdas

de solo ocorreram quando os solos estavam sem cobertura, resultados que estão relacionados com a falta de proteção da superfície do solo, que resulta no impacto direto da gota da chuva, e conseqüentemente, desagregação das partículas do solo e transporte pelo escoamento laminar (NUNES; CASSOL, 2008). Menores perdas de solo foram observadas em pastagens o que está relacionado com a maior eficiência na proteção do solo pelas gramíneas que propiciam maior cobertura, agregação das partículas (VOLK; COGO, 2008), infiltração de água (PINHEIRO; TEIXEIRA; KAUFMANN, 2009) e manutenção dos resíduos deixados pela palhada na superfície do solo (ZIECH et al., 2015), reduzindo o escoamento superficial.

As perdas de água seguiram a mesma tendência das perdas de solo. Em geral, em algumas parcelas com presença de espécies de cobertura foi observado maior perda de água em relação ao SPD (Figura 6, Tabelas 11 e 12).

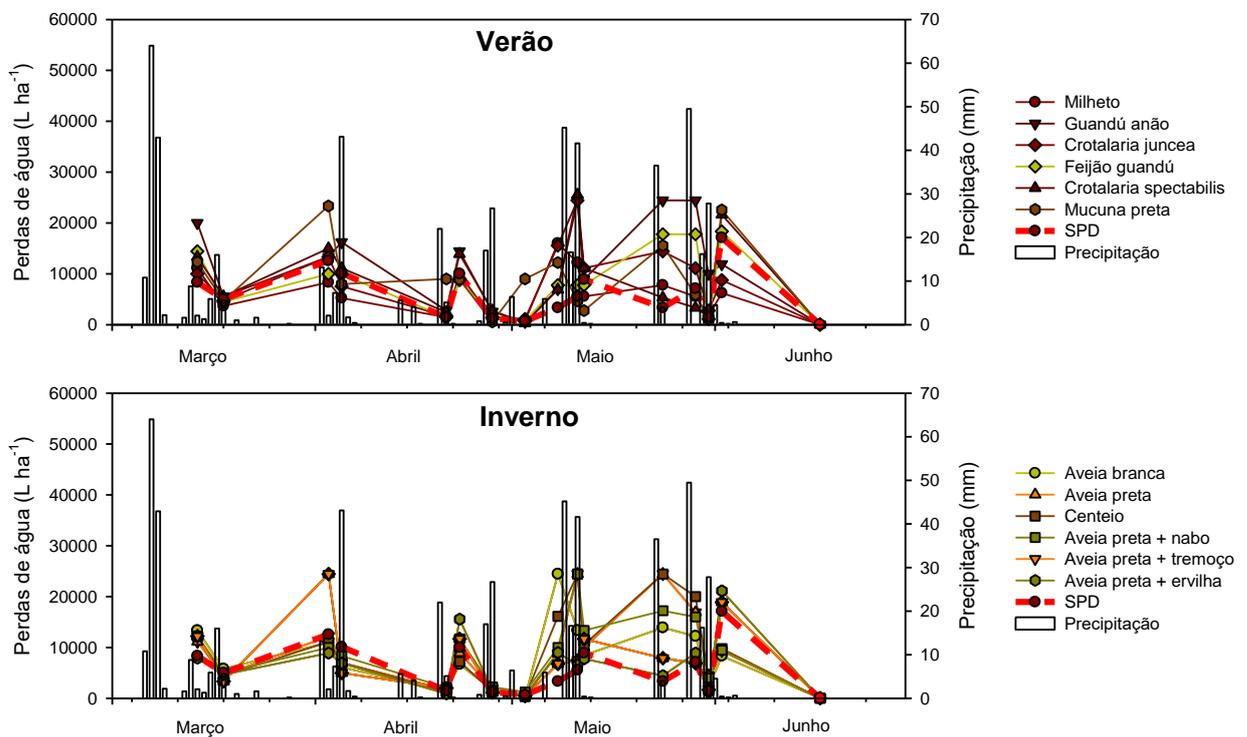


Figura 6. Perdas de água em função de espécies de cobertura de verão e inverno e sistema plantio direto tradicional no solo compactado.

Tabela 11. Perdas de água (L ha⁻¹) em função de espécies de cobertura de verão e sistema plantio direto (SPD) tradicional no solo compactado.

Data	Milheto	Guandú anão	C. juncea	Feijão guandú	C. spectabilis	Mucuna preta	SPD
3/14/2019	11111	20000	10000	14444	13333	12333	8333
3/18/2019	3667	5556	4778	4444	5556	4667	5000
4/3/2019	8333	13333	13333	10000	15000	23333	12556
4/5/2019	5222	16222	7556	9889	11111	8000	10111
4/21/2019	1444	2778	1667	1444	2444	9000	1444
4/23/2019	10000	14444	8778	8889	13889	8889	10000
4/28/2019	1111	2556	1444	1333	2778	556	1222
5/3/2019	778	556	1111	667	278	9000	667
5/8/2019	16000	7000	15556	7778	6889	12222	3333
5/11/2019	12222	24444	24444	7778	25556	4667	5556
5/12/2019	5556	8889	11111	7778	11111	2778	8889
5/24/2019	7778	24444	14444	17778	5333	15556	3333
5/29/2019	5556	24444	11111	17778	3333	5889	7111
5/31/2019	1667	10000	2778	1111	1556	1111	1444
6/2/2019	6222	11889	8778	18333	21667	22556	17111
6/17/2019	1	2	1	5	2	5	4

Tabela 12. Perdas de água (L ha⁻¹) em função de espécies de cobertura de verão e sistema plantio direto (SPD) tradicional no solo compactado.

Data	Aveia branca	Aveia preta	Centeio	Aveia preta + nabo	Aveia preta + tremoço	Aveia preta + ervilha
3/14/2019	13333	11111	12222	12222	12222	7889
3/18/2019	5778	4556	4444	5000	3333	4667
4/3/2019	11000	12222	11111	10000	24444	8889
4/5/2019	6111	7000	7000	8333	5000	6889
4/21/2019	1444	1667	1333	2111	2000	889
4/23/2019	6667	8889	7222	11667	11667	15556
4/28/2019	1667	2000	1333	2222	1111	1556
5/3/2019	333	556	333	1222	444	444
5/8/2019	24444	8778	16111	10000	6778	9000
5/11/2019	13333	24444	24444	24444	7444	6556
5/12/2019	8444	10000	10556	13333	11667	7778
5/24/2019	13889	24444	24444	17222	7889	4444
5/29/2019	12222	16889	20000	16000	6889	8889
5/31/2019	2222	4444	3333	4000	1667	1333
6/2/2019	8333	9333	9778	9444	18889	21111
6/17/2019	9	1	1	1	3	5

As espécies aveia branca e centeio, mesmo tendo se destacado na melhoria de algumas propriedades físicas do solo (Tabelas 3, 4, 5 e 6), não foram eficientes em reduzir as perdas de água. Esse fato se deve, provavelmente, ao curto período de implantação dessas espécies de cobertura na área estudada e a pouca produção de

palha, como mencionado anteriormente. Apesar disto, reflexos positivos nas propriedades físicas do solo, poderão gerar no futuro, condições melhores para infiltração de água e reduzir as perdas de solo.

Chang et al. (2019) afirmaram que, de modo geral, não foram identificadas diferenças significativas nas perdas de água e solo entre espécies de cobertura, o que pode ser justificado pela boa estrutura do solo presente na área experimental. Pinheiro et al. (2018) constataram que em todos os anos avaliados houveram maiores perdas de água na parcela sem cobertura vegetal. A ação da cobertura do solo por resíduos culturais é extremamente importante no controle da erosão hídrica, dissipando a energia cinética decorrente do impacto das gotas de chuva (RAMOS et al., 2014).

Blanco-Canqui e Jasa (2019) observaram pequenos efeitos das espécies de cobertura gramíneas e leguminosas nas propriedades físicas do solo em experimentos de longo prazo (>12 anos). De acordo com os autores, em solos altamente férteis ou produtivos pode ter efeito limitado ou nenhum efeito na melhoria das propriedades do solo, mesmo a longo prazo. Além disto, áreas experimentais cultivadas anteriormente com sistema plantio direto, contínuo, de longo prazo, podem ter efeitos menores ou mais lentos na alteração das propriedades do solo do que quando adicionado a solos manejados sob plantio direto de curto prazo ou plantio convencional.

É bem conhecido que o manejo de plantio direto, contínuo, de longo prazo geralmente aumenta a concentração de matéria orgânica do solo próximo à superfície e melhora as propriedades do solo relacionadas (KIBET; BLANCO-CANQUI; JASA, 2016). Com isso, o manejo de plantio direto, contínuo, de longo prazo, pode não se beneficiar das culturas de cobertura tanto quanto os solos degradados ou arados (BLANCO-CANQUI; JASA, 2019).

5. CONCLUSÕES

As espécies de cobertura, aveia branca, centeio, crotalária juncea e crotalária spectabilis se destacaram na melhoria das propriedades físicas do solo compactado em comparação ao SPD. Com isso, tanto gramíneas como leguminosas foram eficientes na descompactação do solo.

As espécies de cobertura não diminuíram as perdas de solo e água em relação ao SPD em alguns períodos, especialmente em épocas de alta precipitação.

O rendimento de grãos do milho, cultivado após as espécies de cobertura, não foi afetado significativamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMILHO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO. Estatísticas. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br/estatisticas>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- ALCÂNTARA, F. A. et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 277-288, 2000.
- ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Espécies de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, 2009.
- ANSCHAU, K. A. et al. Propriedades físicas do solo, características agronômicas e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 293-299, 2018.
- ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. Response of different crops to soil compaction—Short-term effects in Swedish field experiments. **Soil and Tillage Research**, v. 138, p. 56-63, 2014.
- BAYER, C. et al. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, v. 53, n. 2, p. 95-104, 2000.
- BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 58, p. 555-560, 2001.
- BERTOLLO, A. M. et al. Precrops alleviate soil physical limitations for soybean root growth in an Oxisol from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 206, p. 104820, 2021.
- BERTOLLO, A. M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 208-218, 2019.
- BLANCO-CANQUI, H.; JASA, P. J. Do grass and legume cover crops improve soil properties in the long term. **Soil Science Society of America Journal**, v. 83, n. 4, p. 1181-1187, 2019.
- BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. Cover crop impacts on soil physical properties: A review. **Soil Science Society of America Journal**, v. 84, n. 5, p. 1527-1576, 2020.
- BLANCO-CANQUI, H. et al. Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 4, p. 1471-1482, 2011.
- CALEGARI, A.; CARLOS, J. A. D. Recomendações de plantio e informações gerais sobre o uso de espécies para adubação verde no Brasil. FILHO, OFL et al.(Eds.).

Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília: Embrapa, v. 2, p. 451-478, 2014.

CANNALI, L. B. et al. Proposta de um protocolo para a validação e certificação da qualidade do SPDP relacionada à redução das emissões de CO₂. CANALLI, LB 12º Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha. Anais [...]. Ponta Grossa: Febrapdp, 2010.

CÂNDIDO, B.M. et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1565-1575, 2014.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v. 67, n. 02, p. 455-462, 2008.

CARVALHO, A. M. et al. Characterization by solid-state CPMAS 13C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 102, p. 144-150, 2009.

CARVALHO, M. A. C. et al. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1141-1148, 2004a.

CARVALHO, M. A. C. et al. Adubação verde e sistemas de manejo do solo na produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1205-1211, 2004b.

CARVALHO, M. A. C. et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 01, p. 47-53, 2004c.

ÇERÇIOĞLU, M. et al. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. **Geoderma**, v. 343, p. 247-253, 2019.

CHANG, Pablo et al. Modelagem matemática das perdas de água, solo e nutrientes em Latossolo argiloso sob sistemas de uso e manejo. 2019.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 17-27, 2011.

COGO, N. P. et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 27, n. 4 (jul./ago. 2003), p. 743-753, 2003.

COLOMBI, T. et al. Artificial macropores attract crop roots and enhance plant productivity on compacted soils. **Science of the Total Environment**, v. 574, p. 1283-1293, 2017.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2020/21 - N.12 – Decimo Segundo levantamento. Brasília, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 98p. 2021
<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Grãos - Série Histórica, Conab, 2020. **Portal de Informações Agropecuárias**, Disponível em: Acesso em: 22 abr. de 2020a.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Perspectivas para a agropecuária, safra 2020/21, **Edição grãos**, volume 8, Brasília, 2020b.

COSTA, F.S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 527-535, 2003.

DEXTER, A. R. Soil physical quality Part I. Teory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.

DOMIT, L. A. et al. Tempo de adoção do sistema plantio direto e a relação com atributos do solo. **Agrarian**, v. 7, n. 26, p. 560-569, 2014.

DOS SANTOS FELIX, E. et al. Simulação de diferentes coberturas e práticas de manejo na tolerância e perda de solo no município de Areia, Paraíba. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 22628-22642, 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2º ed. Rio de Janeiro, **Embrapa Solos**, p. 212, 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Brasília, 1. ed., 2018.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BÜLL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de espécies de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 49-57, 2006.

FONTANÉTTI, A. et al. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 146-150, 2006.

FURLANI, C. E. A. et al. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 375-380, 2008.

GHIDIN, A. A. et al. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I - Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

Viçosa, v. 30, p. 1-16, 2006.

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de espécies de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 02, p. 325-334, 2003.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1174-1184, 2013.

GUADAGNIN, J.C. et al. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 277-286, 2005.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and tillage research**, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.

HARA, A. T. et al. Condutividade hidráulica em função do crescimento de *Urochloa decumbens*. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.13, p. 3454- 3466, 2019.

HERNANI, L. C. et al. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 667-676, 1997.

JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M.; GIL, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. **Catena**, v. 81, n. 1, p. 77-85, 2010.

JUNIOR, R. C.; DE ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. Sistema Plantio Direto no sul do Brasil: Fatores que promoveram a evolução do sistema e desenvolvimento de máquinas agrícolas, 2008.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, BELO HORIZONTE - MG, v. 5, n.1, p. 17-40, 1997.

KIBET, L. C.; BLANCO-CANQUI, H.; JASA, P. Long-term tillage impacts on soil organic matter components and related properties on a Typic Argiudoll. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 78-84, 2016.

KONZEN, A. M. et al. Propriedades físicas do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 9, n. 2, p. 183-190, 2018.

LANZANOVA, M. E. et al. Residual effect of soil tillage on water erosion from a Typic Paleudalf under long-term no-tillage and cropping systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1689-1698, 2013.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. Conhecendo os principais solos do Paraná: abordagem para professores do ensino fundamental e médio. Curitiba: **Sociedade**

Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual do Paraná, 2012.

LIMA, C.B.; SANTOS, R.F.; SIQUEIRA, J. Análise da variação das temperaturas mínimas para Cascavel-PR. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 1, p. 1-21, 2012.

LIMA FILHO, OF de et al. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. **Brasília, DF: Embrapa, 2014.**

MARCHINI, D. C. et al. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.6, p.574-580, Campina Grande, 2015.

MARQUES, S. R., et al. Qualidade física de um latossolo vermelho, perdas por erosão e desenvolvimento do milho em dois sistemas de manejo Soil physical quality of a Rhodic Hapludox, erosion losses, and maize development under two management systems. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 967-974, 2010.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, jun. 2004.

MICHELON, C. J. et al. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019.

MONTENEGRO, A. de A. et al. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109, p. 139-149, 2013.

NUNES, M.C.M; CASSOL, E.A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2839-2845, 2008.

PACHECO, L. P. et al. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 464-472, dez. 2015.

PACHECO, L. P. et al. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por espécies de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p 17-25, 2011.

PAULETTI, V.A. Importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto, 3., 1999, Cruz Alta. **Anais [...]**. Passo Fundo: Aldeia Norte, p. 56-66. 1999.

PINHEIRO, A. G. et al. Eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu. **Irriga**, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2018.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L.P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. *Ambiente & Água*, v. 4, n. 2, p.188-199, 2009.

PORTUGAL, J. R. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azopirillum brasilense* em milho no Cerrado. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 4, p. 639-649, 2017.

RAMOS, J. C. et al. Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um cambissolo húmico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, p. 1587-1600, 2014.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos em Ciência do Solo*. 1. ed. Viçosa: SBCS. v. 5, p. 49-134, 2007.

REICHERT, J. M. et al. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência Ambiental*, Canoas, v.27, p.29-48, 2003.

REIS, I. M. S. et al. Adsorção de cádmio em Latossolos sob vegetação de mata nativa e cultivados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, p. 1960-1969, 2014.

REN, L. et al. Short-term effects of cover crops and tillage methods on soil physical properties and maize growth in a sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, v. 192, p. 76-86, 2019.

ROSOLEM, Ciro Antonio; CALONEGO, Juliano Carlos; FOLONI, J. S. S. 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*, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

SANTOS, I. L. et al. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 6, p. 1874-1881, 2014.

SALOMÃO, P. E. A. et al. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 1, p. e154911870-e154911870, 2020.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D.; KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. *Clay Minerals*, v. 43, n. 1, p. 137-154, 2008.

SECCO, D. et al. Crambe oil yield and soil physical properties responses to no-tillage, cover crops and chiseling. *Industrial Crops and Products*, v. 161, p. 113174, 2021.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. *Revista Brasileira de Ciência do*

Solo, v.28, p.797-804, 2004.

SILVA, M. P. et al. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 60-67, 2017.

SILVA, R. L.; DE MARIA, I. C. Erosão em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 554-561, 2011.

SILVEIRA, L. et al. Implicações de plantas de cobertura e de doses de nitrogênio no rendimento de grãos da soja. 2018.

SILVEIRA, P.M. et al. Acumulação de nutrientes no limbo foliar de guandu e estilosantes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, p. 133-138, 2005.

SOARES, M. B. et al. Use of cover crops in the southern Amazon region: What is the impact on soil physical quality? **Geoderma**, v. 384, p. 114796, 2021.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M. T.; GARCIA, C. Soil restoration using composted plant residues: effects on soil properties. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 18, n. 3, p. 389-396, 2008.

TEODORO, R.B. et al. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 635-643, 2011.

TIECHER, Tales. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. 2016.

TORRES, J. L. R; PEREIRA, M. G; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por espécies de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 421-428, 2008.

Tormena, C. A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.1023-1031, 2004.

UBIDA, R. B. Produtividade da soja em sucessão a gramíneas e oleaginosas no sistema plantio direto. 2017.

VALICHESKI, R. R. et al. Desenvolvimento de espécies de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 969-977, 2012.

VARGAS, T. O. et al. Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 562-568, 2011.

VOLK, L.B. da S.; COGO, N.P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1713-1722, 2008.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. Trans. **American Society of Agricultural and Biological Engineers.**, v. 4, p. 242-246, 1961.

VUJIĆ, S. et al. Effect of winter cover crops on water soil storage, total forage production, and quality of silage corn. **European Journal of Agronomy**, v. 130, p. 126366, 2021.

ZIECH, A.R.D. et al. Proteção do solo por espécies de cobertura de ciclo hiberna na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

ZOTARELLI, L. et al. 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.