

BRUNA DE VILLA

**EFICÁCIA DE SISTEMAS DE MANEJO E DE ESPÉCIES DE
COBERTURA NA REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA E SOLO E NA
MELHORIA DA ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO ARGILOSO**

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
JANEIRO – 2020

BRUNA DE VILLA

**EFICÁCIA DE SISTEMAS DE MANEJO E DE ESPÉCIES DE
COBERTURA NA REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA E SOLO 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.

Orientador: Deonir Secco

Coorientador: Luiz Antônio Zanão Junior

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
JANEIRO – 2020

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

de Villa, Bruna

Eficácia de sistemas de manejo e de espécies de cobertura na redução das perdas de água e solo e na melhoria da estrutura de um latossolo argiloso : Impacto do uso de espécies de cobertura na estrutura de um latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grão de milho; Impacto do uso de espécies de cobertura na estrutura de um latossolo argiloso e seus reflexos na perda de água, solo e nutrientes / Bruna de Villa; orientador(a), Deonir Secco; coorientador(a), Luiz Antônio Zanão Junior, 2020.

83 f.

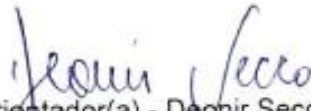
Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Graduação em Engenharia Agrícola Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2020.

1. Produtividade. 2. Espécies de cobertura. 3. Sistema radicular. 4. Práticas conservacionistas. I. Secco, Deonir. II. Zanão Junior, Luiz Antônio. III. Título.

BRUNA DE VILLA

Eficácia de sistemas de manejo e de espécies de cobertura na redução das perdas de água e solo e na melhoria da estrutura 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)



Douglas Bassegio

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Augustinho Borsoi

Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG)

“Dedico aos meus pais e a todos os professores e colegas que acreditam e encorajam minha busca pelo sucesso pessoal”.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a meu anjo da guarda, por permitir chegar a mais esta conquista.

À minha mãe e meu irmão, que sempre me apoiaram.

Ao Dr. Augustinho Borsoi e ao Dr. Doglas Bassegio, que contribuíram imensamente com a minha dissertação.

À Dr^a Luciene Kazue Tokura, que sempre me apoiou em todas as etapas.

Ao professor orientador, Dr. Deonir Secco, por seus conselhos e ensinamentos.

A toda equipe do laboratório LAFIS que sempre ajudaram.

A todos os responsáveis pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura pelo apoio científico.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, por ter fornecido a infraestrutura necessária para a realização da pesquisa.

A todos os meus amigos e familiares que, de alguma forma, contribuíram com este trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo antes da implantação do experimento na camada de 0-0,20 m no ano de 2010	12
Tabela 2. Granulometria ¹ do solo da área experimental nas três camadas avaliadas	13
Tabela 3. Histórico de safra dos últimos 8 anos da área experimental.....	15
Tabela 4. Descrição das culturas utilizadas, densidade de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura	15
Tabela 5. Atributos químicos do solo na camada de 0-0,5 m, 0,5-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,2-0,4 m, após o cultivo das espécies de cobertura do solo e das alterações de manejo no sistema plantio direto.....	20
Tabela 6. Valores médios de pH, alumínio (Al), acidez potencial (HAl), capacidade de troca de cátions (tefetiva), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), carbono orgânico (C), na camada de 0-0,1 m, após o cultivo do milho	21
Tabela 7. Valores médios da massa de palha nos tratamentos durante o cultivo do milho em t ha ⁻¹	22
Tabela 8. Valores médios da densidade do solo (DS) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, antes e depois do cultivo do milho.....	29
Tabela 9. Valores médios da condutividade hidráulica saturada do solo (Ksat) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e de 0,2-0,3 m, (2018a) e depois (2018b) do cultivo do milho.....	33
Tabela 10. Valores médios da porosidade total (PT) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e de 0,2-0,3 m, antes (2018a) e depois (2018b) do cultivo do milho	35
Tabela 11. Valores médios do volume de microporos (Micro) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e de 0,2-0,3 m, antes (2018a) e depois (2018b) do cultivo do milho	37
Tabela 12. Valores médios do volume de macroporos (Macro) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e de 0,2-0,3 m, antes (2018a) e depois (2018b) do cultivo do milho	39
Tabela 13. Rendimento dos grãos de milho nos tratamentos envolvendo sistemas de manejo e espécies de cobertura	40

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** a) Colocação do tripé no terreno, de modo a instalar o nível; b) verificação do prumo para conferir o nível; c) medição das declividades por meio de leituras de ré e vante com o auxílio da régua..... 13
- Figura 2.** a) Terra fina seca ao ar (TFSA); b) Amostras de solo contendo hidróxido de sódio a 6% e água destilada antes de ir ao agitador com oscilação horizontal; c) acondicionamento dos frascos no agitador com oscilação horizontal; d) Transferência da amostra de solo para a lavagem da areia usando peneira de 0,053 mm e proveta de 1000 ml; e) Areia retida na peneira, após lavagem da amostra de solo; f) transferência da areia retida na peneira para uma lata previamente pesada (lata do lado direito); g) Provetas com 1000 ml contendo argila e silte, após a lavagem da areia com água destiladas. 14
- Figura 3.** Figura 3 – Croqui com a distribuição das parcelas experimentais e seus respectivos tratamentos: MI: milheto; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; AB: aveia branca; AP: aveia preta; CE: centeio; AN: aveia preta + nabo; AT: aveia preta + tremoço branco; AE: aveia preta + ervilha; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha)..... 17
- Figura 4.** Valores de precipitações referente a cada dia da coleta 18
- Figura 5.** Coleta das amostras químicas do solo: a) abertura da trincheira, com suas marcações de profundidade; b) retirada das amostras químicas com faca, de acordo com as marcações pré-estabelecidas, c) deposição das amostras químicas retiradas em recipiente pré-demarcado de acordo com a parcela e profundidade do ponto de coleta. 19
- Figura 6.** a) quadrado de 30 cm² realizado com régua graduada para a coleta das palhas realizado de forma aleatória de 15 em 15 dias; b) área delimitada pelo quadrado na área amostrada, após a retirada da cobertura existente; c) passagem das amostras, após período de 48 horas na estufa de vegetação a 65° C, com circulação forçada por um período de 48 horas. 21
- Figura 7.** Coleta de amostras físicas, em que: a) deposição das latinhas, anel e tampa em seus respectivos pontos de coleta em cada parcela; b) marcação da profundidade com trena em cada ponto de coleta para o alocamento do anel; c) alocamento do extrator sobre o anel, para a retirada da amostra de solo; d) visualização de até onde o extrator deve estar retido no solo para encerrar as marretadas; e) visualização das amostras para posterior retirada; f) retirada das amostras. 23
- Figura 8.** a) amostra com presença de tule e elástico pronta para a saturação; b) amostras saturadas com 2/3 de água; c) balança em que as amostras foram pesadas para em seguida serem colocadas na coluna de areia; d) medição do nível de água da coluna de areia de modo que, inicialmente, deve-se encontrar em 0 cm de coluna de água; e) nivelamento da areia para posterior colocação das amostras de solo; f) alocamento das amostras na coluna de areia..... 24
- Figura 9.** a) coluna de areia contendo as amostras de solo, após as 48 horas; b) pesagem das amostras e acondicionamento dos anéis em latas pré-pesadas; c) colocação das amostras na estufa a 105° C por um período de 48 horas; d) retirada das amostras da estufa para posterior pesagem delas. 25
- Figura 10.** a) separação das mesmas de acordo com as profundidades para se ter uma boa representação da área; b) peneiramento de solo em peneira de malha

2mm; c) Terra fina seca ao ar após o peneiramento; d) amostras dentro do dessecador; e) bureta no suporte universal; f) calibração do balão volumétrico; g) marcação contornando todo o balão volumétrico; h) pesagem de 20 gramas de solo em papel alumínio já tarado; i) deposita-se as 20 gramas de TFSA em papel alumínio; i) deposita-se 20 gramas de solo no balão volumétrico; j) balão volumétrico contendo solo e álcool até a marcação de 50 ml.....	26
Figura 11. a) Medição do diâmetro e altura do anel superior; b) amostras saturadas antes de serem colocadas no permeâmetro; c) amostras preparadas para as determinações da condutividade hidráulica saturada; d) amostras no permeâmetro com um fluxo de água; e) detalhamento da amostra em que mostra como o tubo de cobre serve como um duto hidráulico f) medição em proveta dos ml de água percolado em determinado período de tempo; g) medição da altura da lâmina de água.....	27
Figura 12. Calhas confeccionadas, em que: a) marcação para o corte horizontal dos canos de 5 cm de diâmetro por 3 metros de comprimento para o posterior corte; b) corte dos canos com a cerra fita, com os EPIs de segurança para a devida atividade; c) furo dos canos para posterior alojamento das mangueiras corrugadas 3/4" de diâmetro; d) colagem das tampas na calha com cola de silicone; e) inserção das mangueiras nas calhas com cola de silicone, em que permaneceram estagnadas até secagem	63
Figura 13. a) Instalação das calhas coletoras com as demarcações estabelecidas pelo separador de grama em que a calha se encontra no mesmo nível do terreno, para posteriores coletas de solo e água; b) trincheira realizada para posterior colocação das bombonas, mostrando o detalhamento para que não ocorra escoamento lateral de forma a não ser contabilizado nas coletas; c) imagem da calha com o desenvolvimento do milho.....	64
Figura 14. a) furo das tampas das bombonas, feitos com cerra copo, em que mostra o fichamento das tampas na morsa de bancada; b) teste do diâmetro estabelecido com a instalação da mangueira 3/4" de diâmetro; c) Recipiente para recolhimento das perdas de solo e água, estando o mesma inferior ao nível do terreno, para que ocorra deposição da água e solo nos momentos de precipitação; d) teste realizado para se verificar o escoamento de água para dentro da bombona, assim como se verifica se a mangueira, tampa da bombona e calha estão bem fixos e colados.....	65
Figura 15. a) acondicionamento da amostra coletada de perda de água e solo em garrafas de 500 ml; b) latas colocadas na estufa por 24 horas, para posterior deposição das amostras de 50 ml; c) marcação de 50 ml de cada amostra de 500 ml; d) pesagem da amostra; e) colocação das amostras de 50 ml nas latas pré-enumeradas e já pesadas; f) colocação na estufa por 48 horas das amostras; g) colocação das amostras pós 48 horas no dessecador para posterior pesagem e quantificação da perda de solo	66
Figura 16. a) amostras para a medição de fósforo e potássio; b) pipetação de cada amostra para posterior leitura de cálcio e magnésio; c) deposição das amostras para a leitura de cálcio e magnésio.....	66
Figura 17. Valores médios da perda de água nos intervalos de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,9917, f média precipitação:0,6276, f alta precipitação: 0,0057	70
Figura 18. Valores médios da perda de solo no intervalo de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa	

precipitação:0,5088, f média precipitação:0,4822, f alta precipitação:0,0334	71
Figura 19. Valores médios da perda de cálcio no intervalo de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,0000, f média precipitação:0,4046, f alta precipitação:0,0171.	73
Figura 20. Valores médios da perda de Magnésio no intervalo de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação: 0,1212, f média precipitação:0,0213, f alta precipitação:0,0139	74
Figura 21. Valores médios da perda de fósforo no intervalo de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,1209, f média precipitação:0,2245, f alta precipitação:0,6890	75
Figura 22. Valores médios da perda de Potássio no intervalo de alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,8792, f média precipitação:0,4929, f alta precipitação:0,4317	76

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO I.....	2
IMPACTO DO USO DE ESPÉCIES DE COBERTURA NA ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO ARGILOSO E SEUS REFLEXOS NO RENDIMENTO DE GRÃO DE MILHORESUMO.....	2
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2. 1 ESPÉCIES DE COBERTURA.....	5
2. 2 APLICAÇÃO DE GESSO	7
2. 3 ESCARIFICAÇÃO DO SOLO	8
2. 4 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	12
3.2 HISTÓRICO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS	14
3.3 AVALIAÇÃO CLIMATOLÓGICA	17
3.4 DETALHAMENTO DA CONDUÇÃO DAS CULTURAS ESTUDADAS.....	18
3.5 AVALIAÇÕES E DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS	19
3.5.1 AVALIAÇÕES QUÍMICAS	19
3.5.2 COLETA DE PALHA	21
3.5.3 AVALIAÇÕES FÍSICAS.....	22
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5. CONCLUSÕES.....	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
CAPÍTULO II.....	53
IMPACTO DO USO DE ESPÉCIES DE COBERTURA NA ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO ARGILOSO E SEUS REFLEXOS NA PERDA DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES	
RESUMO	53
ABSTRACT	55
1. INTRODUÇÃO.....	56
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	58
2. 1 PERDA DE ÁGUA SOLO E NUTRIENTES	58

2. 2 MANEJO DO SOLO	59
3. MATERIAL E MÉTODOS	60
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	60
3.2 HISTÓRICO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS	60
3.3 AVALIAÇÃO CLIMATOLÓGICA	62
3.4 DETALHAMENTO DA CONDUÇÃO DAS CULTURAS ESTUDADAS.....	62
3.5 AVALIAÇÕES E DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS	62
3.5.1 AVALIAÇÕES QUÍMICAS	62
3.5.2 AVALIAÇÃO DE PERDA DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES.....	63
3.5.3 COLETA DE PALHA	66
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	67
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5. CONCLUSÕES.....	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
CONCLUSÕES GERAIS	83

INTRODUÇÃO GERAL

As taxas de erosão e consequente desgaste do solo agrícola vêm assumindo grandes proporções com implicações de ordem física, financeira e social em todo o mundo (OLIVEIRA et al., 2010). A erosão hídrica tem ocasionado a cada ano, no Brasil, perdas de milhões de toneladas de solo agrícola, tendo em vista que a maioria dos agricultores ainda não utiliza técnicas de manejo nem de conservação adequadas ao solo (LIMA et al., 2015).

No entanto, em sistemas considerados conservacionistas, como o sistema plantio direto, com pouco ou nenhum revolvimento do solo e que mantenham cobertura vegetal sobre a superfície tem a formação de agregados maiores e mais estáveis (SOUSA; LOBATO; REIN, 2005), o que proporciona aumento da resistência do solo à erosão (ENGEL et al., 2009).

Preparos conservacionistas e sistemas de manejo relacionados aos diferentes tipos de cobertura vegetal e preparos do solo proporcionam maior eficiência no controle da erosão hídrica, em decorrência das menores perdas de água por escoamento superficial (SILVA et al., 2011).

A cobertura do solo é uma prática muito recomendada, uma vez que contribui com o desenvolvimento das culturas em sucessão, reduz a perda de água, diminui a erosão superficial e incrementa a umidade (BORGES et al., 2014). Montenegro et al. (2013) verificaram que coberturas mortas à base de palha, com taxas de aplicação de 2 e 4 t ha⁻¹, foram eficientes no controle do escoamento superficial e da temperatura do solo, além de ter promovido maior umidade no solo durante diferentes eventos de chuva simulada.

Desta forma, é de suma importância o estudo dos efeitos de sistema de manejo e de espécies de cobertura na estrutura de um Latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos na cultura do milho (*Zea mays*), que é um dos principais cultivos do Brasil. O Brasil representa o terceiro maior produtor mundial com uma safra anual 91.08 milhões de toneladas, em 2018, sendo o Paraná responsável por 14.62 milhões de toneladas e com uma produtividade média de 5944 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018).

CAPÍTULO I

IMPACTO DO USO DE ESPÉCIES DE COBERTURA NA ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO ARGILOSO E SEUS REFLEXOS NO RENDIMENTO DE GRÃO DE MILHO

VILLA, Bruna de. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Janeiro de 2020. **Impacto do uso de espécies de cobertura na estrutura de um Latossolo Argiloso e seus reflexos no rendimento de grão de milho**. Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco. Coorientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Zanão Junior.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de espécies de cobertura e de alterações de manejo do sistema plantio direto na estrutura de um Latossolo argiloso e seus reflexos na produtividade do milho. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com 4 repetições para a caracterização física do solo e três repetições para produtividade do milho. Os dados de atributos físicos, antes e após a utilização das espécies de cobertura/alterações do sistema plantio direto, foram analisados como sendo modelo fatorial, levando em conta os efeitos das espécies de cobertura e de épocas. Os tratamentos foram constituídos por três parcelas envolvendo alterações de manejo no sistema plantio direto: sistema plantio direto tradicional (testemunha), sistema plantio direto escarificado e sistema plantio direto gessado e outras doze parcelas envolvendo o cultivo de espécies de cobertura vegetal, sendo seis espécies de verão: milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), guandú anão (*Cajanus cajan*), crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), feijão guandú (*Cajanus Cajan*), mucuna preta (*Mucuna Pruriens*) e outras seis parcelas com espécies de cobertura vegetal de inverno: aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*), ervilhaca forrageira + aveia preta (*Pisum sativum* var. *arvense* + *Avena strigosa*), tremoço branco + aveia preta (*Lupinus albus* + *Avena strigosa*), nabo forrageiro + aveia preta (*Brassica rapa* L. + *Avena strigosa*). O experimento foi conduzido em parcelas experimentais de 20x16 m. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, antes e após o cultivo o milho, quando foram avaliados os parâmetros físicos do solo. O rendimento de grãos de milho foi avaliado em subparcelas de 13,5 m². As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Scott Knott a 5% de significância. Os tratamentos de crotalária spectabilis, mucuna preta, aveia branca e aveia preta+tremoço branco foram os que proporcionaram melhorias na estrutura do solo. Quanto ao rendimento de grão da cultura do milho, os tratamentos de milheto, guandú anão, crotalária júncea, feijão guandú, crotalária spectabilis, aveia branca, centeio, aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + tremoço branco, sistema de plantio direto escarificado, sistema de plantio direto com gesso e sistema de plantio direto tradicional foram os que proporcionaram maior rendimento de grãos em relação aos demais tratamentos.

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

PALAVRAS-CHAVE: produtividade; espécies de cobertura; sistema radicular; *zea mays*.

VILLA, Bruna de. State University of West Paraná. January of 2020. **Impact of the use of cover species on the structure of a clayey latosol and its effects on corn grain yield.** Adviser: Dr. Deonir Secco. Co-adviser: Prof. Dr. Luiz Antônio Zanão Junior.

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the effect of cover species and changes in the management of the no-tillage system on the structure of a clayey Oxisol and its reflexes on corn productivity. The experimental design used was completely randomized with 4 repetitions for the physical characterization of the soil and three repetitions for corn productivity. The data of physical attributes, before and after the use of cover species / changes in the no-tillage system, were analyzed as a factorial model, having seen the effects of cover species and seasons. The treatments consisted of three plots involving management changes in the no-tillage system: traditional no-tillage system (control), scarified no-tillage system and plastered no-till system and twelve other plots involving the cultivation of vegetation cover species, six species with summer vegetation cover: pearl millet (*Pennisetum americanum*), crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*), dwarf pigeon (*Cajanus cajan*), crotalaria spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), guandú bean (*Cajanus Cajan*), black mucuna (*Mucuna Pruriens*) and other six plots with winter vegetation cover species: white oats (*Avena sativa*), black oats (*Avena strigosa*), rye (*Secale cereale*), forage vetch + black oats (*Pisum sativum* var. *arvense* + *Avena strigosa*), white lupine + black oats (*Lupinus albus* + *Avena strigosa*), forage turnip + black oats (*Brassica rapa* L. + *Avena strigosa*). The experiment was carried in experimental plots of 20 x 16 m. Undisturbed soil samples were collected in layers 0-0.1; 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m, before and after cultivation, corn, where density, porous space and hydraulic conductivity of the saturated soil were evaluated. The corn grain yield was evaluated in 13.5 m² subplots. The treatment means were compared by the Scott Knott test at 5% significance. The treatments of crotalaria spectabilis, black mucuna, white oats and black oats + white lupine were the ones that provided improvements in the soil structure. As for the grain yield of the corn crop, the treatments of millet, dwarf pigeon, crotalaria júncea, guandú bea, crotalaria spectabilis, white oats, rye, black oats + turnip, black oats + white lupine, scarified no-till system, no-tillage system with plaster and traditional no-tillage system provided the highest grain yield in relation to the other treatments.

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

KEYWORDS: grain yield; species of cover; root system; *zea mays*.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays*) é um dos principais cultivos do Brasil. De acordo com dados da Conab (2018), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial com uma safra anual 91,08 milhões de toneladas, sendo o Paraná responsável por 14,62 milhões de toneladas, com uma produtividade média de 5.944 kg ha⁻¹. Por isso, é importante a realização de estudos voltados à avaliação das características físicas do solo com reflexos no rendimento de milho.

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 plantas de cobertura é um componente fundamental da sustentabilidade dos sistemas de cultivo para as culturas em sucessão (CARVALHO et al., 2009).

Contudo, usa-se como uma estratégia para descompactar ou retardar o aumento da compactação do solo, máquinas para a escarificação (JIN et al., 2007). No entanto, uma das limitações do uso da escarificação como estratégia de recuperação da estrutura do solo é a efemeridade dos benefícios sobre as propriedades do solo, os quais, muitas vezes, duram menos de um ano (ÁLVAREZ et al., 2009). Nesse sentido, os benefícios da escarificação do solo sobre o rendimento de culturas nem sempre se concretizam (GUBIANI et al., 2013; NUNES et al., 2014).

A busca por alternativas para mitigar os efeitos da compactação tem motivado a realização de estudos em escala global, uma vez que a compactação é considerada uma das principais ameaças à manutenção da qualidade do solo (SCHJONNING; HECKRATH; CHRISTENSEN, 2009).

A rotação de culturas com plantas de cobertura pode ser considerada uma alternativa para restaurar a qualidade estrutural do solo em áreas degradadas pelo cultivo intenso (SANTOS et al., 2014; ZOTARELLI et al., 2012). Isso se deve porque a rotação pode promover a ciclagem de nutrientes, refletindo na estrutura do solo (TEJADA; HERNANDEZ; GARCIA, 2008).

Com o passar dos anos, a densidade do solo (DS) sob o sistema de plantio direto (SPD) pode diminuir parcialmente, em consequência do aumento no teor de matéria orgânica na camada superficial, bem como dos bioporos deixados para as culturas subsequentes (COSTA et al., 2003).

O gesso tem sido utilizado no SPD, pois, desde a década de 1990, serve para minimizar problemas de toxidez por alumínio no solo, pela redução na toxicidade por alumínio (Al^{3+}) (ZANDONÁ et al., 2015), reagindo com o Al^{3+} precipitando-o (ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES ., 2007) e fazendo com que ele fique em formas menos tóxicas (AlSO_4), além de aumentar os teores de cálcio (Ca^{2+}) e enxofre (S) no subsolo (NEIS et al., 2010), possibilita o desenvolvimento das raízes em profundidade, ampliando o volume de solo a ser explorado e a tolerância das plantas aos períodos de seca (SOUSA; LOBATO; REIN ., 2005).

Desta forma, o gesso é considerado um condicionador de solo e pouco afeta o pH, podendo compensar o efeito superficial do calcário, pois atua até nas camadas subsuperficiais, sem a necessidade de incorporação (CAIRES et al., 2003).

Assim, o emprego do gesso agrícola melhora o ambiente radicular em profundidade, diminuindo a toxidez por alumínio e fornecendo cálcio e enxofre ao sistema radicular, potencializando maior absorção de água, nutrientes e refletindo em maior crescimento e produção das culturas (SOUZA et al., 2012).

Deste modo, este trabalho objetivou avaliar o efeito de espécies de cobertura e de alterações de manejo do sistema plantio direto na estrutura de um Latossolo argiloso e seus reflexos na produtividade do milho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESPÉCIES DE COBERTURA

O cultivo de plantas de cobertura de inverno é uma estratégia que contribui com a melhoria da qualidade da estrutura do solo. Em um Argissolo franco-argiloarenoso, Paladini e Mielniczuk (1991) observaram diferenças significativas no estado de agregação, com o cultivo do consórcio aveia-preta + ervilhaca em substituição ao pousio no inverno, e atribuíram isso à ação mecânica das raízes de aveia e à provável contribuição da ervilhaca para o aumento do teor de matéria orgânica.

A adoção de sistemas de culturas baseados em rotações com uso de aveia-preta e ervilhaca no inverno e milho no verão reduziu a densidade e aumentou a condutividade hidráulica saturada (ALBUQUERQUE et al., 1995).

Rosa (2013) ressalta que as espécies de cobertura *crotalaria spectabilis* (CS) ($1,08 \text{ Mg m}^{-3}$) e mucuna verde ($1,07 \text{ Mg m}^{-3}$) apresentaram redução significativa de densidade do solo (DS) em comparação com a área de pousio, mostrando potencial estruturante superior às demais espécies após o primeiro ano de cultivo.

Vale frisar que a CS alcançou destaque dentre os tratamentos avaliados, pelo fato de possuir raiz pivotante e crescimento agressivo, capaz de romper camadas compactadas que, com a decomposição, favorecem as culturas subsequentes, permitindo o crescimento dos seus sistemas radiculares pelos canais produzidos (CALEGARI et al., 1993).

Carvalho et al. (2002) também destacam a grande habilidade dessa espécie em explorar maior volume de solo em profundidade pela presença dos bioporos formados que contribuem com o aumento do movimento de água no solo e a difusão de gases.

A manutenção do resíduo de aveia preta sobre a superfície do solo no sistema plantio direto ocasionou acréscimo da ordem de 5% no rendimento de milho (CAIRES et al., 2006).

A rotação de culturas tem sido destacada por promover melhorias às condições físicas, químicas e biológicas do solo, como proteção contra erosão, maior espaço poroso e da taxa de infiltração de água e aumento da capacidade de retenção de água, incremento da capacidade de reciclagem e mobilização de

nutrientes lixiviados ou pouco solúveis em camadas mais profundas do solo. Ela também propicia melhor aproveitamento de adubos químicos e redução nos custos com adubação mineral, uma vez que promove aumento da atividade biológica do solo, promovendo o controle de plantas daninhas e dos patógenos das plantas cultivadas (CARVALHO et al., 2007).

2. 2 APLICAÇÃO DE GESSO

Um dos tratamentos a se abordar nesse experimento, foi a utilização do gesso agrícola para a verificação dos seus benefícios acarretados nos parâmetros físicos do solo. Vale frisar que a utilização do gesso precipita o alumínio tóxico para as plantas, possibilitando que as culturas subsequentes explorem as maiores camadas subsuperficiais do solo.

A calagem é uma das práticas menos trabalhosas e mais efetivas na correção da acidez do solo. Além disso, o Brasil possui vastas reservas de calcário (FAGEIRA, 2001). Outra importante fonte de Ca^{2+} é o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), pois, além de ser fonte de cálcio, resulta em melhor crescimento radicular em camadas mais profundas e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas, em decorrência do aumento da concentração de Ca^{2+} e da precipitação de Al^{3+} (CAIRES et al., 2003).

O enxofre (S) possui função estrutural no metabolismo das plantas, atuando na formação de várias proteínas vegetais e enzimas na formação da clorofila e promoção da nodulação do sistema radicular (FOIS et al., 2018).

A aplicação de gesso agrícola, um subproduto da indústria produtora dos fertilizantes fosfatados, tem sido uma alternativa interessante, buscando tanto a disponibilidade de nutrientes quanto problemas de toxidez de Al em subsuperfície. Trata-se de é uma excelente fonte de Ca (20%) e S (15-18%), além de contribuir com pequenas concentrações de fósforo (P) (0,5-0,8%).

Além do seu potencial fertilizante como fonte de macronutrientes, por ser um sal com alta solubilidade, o gesso é comumente comercializado como um condicionador do solo, pois aumenta rapidamente as concentrações de Ca^{2+} e sulfato (SO_4^{2-}) em subsuperfície (NEIS et al., 2010).

O aumento dessas concentrações pode trazer benefícios ao crescimento radicular em profundidade tanto pelo fornecimento dos nutrientes Ca e S quanto pela

capacidade de diminuir a atividade do Al^{3+} do solo em subsuperfície e, conseqüentemente, aliviar sua toxidez às plantas, e também pela promoção do carregamento de outras bases, como Mg^{2+} e K^+ , para camadas de solo mais profundas (SALDANHA et al., 2007). De forma que a utilização generalizada desse condicionador aumenta o custo de produção e pode causar efeitos indesejados, como a excessiva lixiviação de bases trocáveis (Mg^{2+} e K^+), causando deficiências nutricionais e redução da produtividade da soja (FONTOURA et al., 2012).

Apesar dos benefícios nas propriedades químicas do solo promovidos pela aplicação de gesso, vários estudos realizados em solos do estado do Paraná não apresentaram incremento na produtividade da soja com aplicação superficial de gesso agrícola em áreas sob plantio direto (SORATTO; CRUSCIOL; MELLO, 2010; RAMPIN et al., 2011).

2.3 ESCARIFICAÇÃO DO SOLO

Outro tratamento abordado é o sistema de plantio direto escarificado para observar seus benefícios no milho. Sabe-se que, geralmente, é utilizado para a incorporação da matéria orgânica e o revolvimento do solo.

A compactação do solo é uma das causas de perdas de produtividade em razão de modificações físicas no ambiente radicular. Essas alterações englobam a redução das disponibilidades de oxigênio e de água, bem como o aumento da resistência do solo ao crescimento radicular (DEBIASI et al., 2010).

A escarificação é uma das medidas recomendadas para reduzir a compactação dos solos, utilizando-se para essa atividade o escarificador, que, conforme Cortez et al. (2011), é um equipamento de preparo do solo em que o trabalho ocorre por ação de hastes, sem a inversão da leiva, com menor capacidade de reversão das camadas do solo, reduzindo a compactação de forma mais localizada.

Para Nagahama et al. (2016), em um Argissolo Amarelo distrófico típico, textura arenosa, a escarificação de 0 a 0,15 m foi mais eficiente em diminuir o valor da resistência à penetração, na camada de 0 a 0,10 m, do que a escarificação de 0-0,30 m.

Tim Chamen et al. (2015) constataram que intervenções mecânicas, como subsolagens ou escarificações, nem sempre são eficientes para mitigar a

compactação do solo, pois normalmente têm efeito temporário, o que demanda repetições frequentes. Os autores alertam, ainda, sobre o fato de que o revolvimento do solo favorece a mineralização de matéria orgânica e o aumento da emissão de gases de efeito estufa.

Como estratégia para descompactar ou retardar o aumento da compactação do solo, são utilizadas máquinas para a sua escarificação (JIN et al., 2007). No entanto, uma das limitações do uso da escarificação como estratégia de recuperação da estrutura do solo é a efemeridade dos benefícios sobre as propriedades do solo, os quais, muitas vezes, duram menos de 1 ano (ÁLVAREZ et al., 2009). Vale salientar que os benefícios sobre o rendimento de culturas nem sempre são concretizados (NUNES et al., 2014).

2. 4 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A qualidade de um solo é definida por meio da interação entre atributos químicos, físicos e biológicos que, por sua vez, são fundamentais para avaliar os impactos sofridos pelo solo em decorrência das atividades agropecuárias, bem como pelos sistemas de manejo utilizados. Portanto, atuam e são indicadores da sustentabilidade destes sistemas (ARATANI et al., 2009).

Deste modo, a manutenção da qualidade desses atributos proporciona condições ideais para o desenvolvimento das plantas por meio da não compactação e aumento da matéria orgânica, além de manter e/ou elevar a diversidade de microrganismos do solo (DORAN; PARKIN, 1994).

No que diz respeito à qualidade do solo, os atributos físicos merecem destaque especial, uma vez que a sua alteração tem afetado bastante os atributos químicos e biológicos, já que estes são interdependentes, ou seja, a melhoria nos atributos físicos do solo contribui diretamente para a melhoria dos atributos químicos e biológicos (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007).

O sistema de plantio direto tem alcançado destaque como uma das estratégias mais eficazes para a sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais, contribuindo para minimizar as perdas de solo e de nutrientes por erosão. Esse sistema de manejo do solo sem preparo tem apresentado rápido crescimento em área cultivada no Brasil, ocupando, atualmente, cerca de 20 milhões de hectares (CAIRES et al., 2006).

Solos com horizontes subsuperficiais endurecidos de alta coesão entre as partículas - duros, muito duros e extremamente duros, quando secos, e friáveis quando úmidos - são conhecidos no Brasil como solos coesos (JACOMINE, 2001). Nesses solos, o caráter coeso é um inibidor físico que pode afetar a produção agrícola por conta da elevada resistência do solo à penetração (MELO FILHO et al., 2009), particularmente quando seco, o que prejudica a infiltração de água, a absorção de nutrientes e o desenvolvimento radicular das plantas.

Assim, estudos sobre a densidade, umidade e porosidade são importantes para analisar a qualidade física do solo e dar suporte ao uso e manejo do solo (VIEIRA et al., 2012).

A base necessária para definir práticas apropriadas de manejo em solos coesos, é que se conheça a relação entre os atributos físicos do solo e o manejo utilizado (RIBEIRO et al., 2016). Esses benefícios estruturais são refletidos no aumento da taxa de infiltração de água no solo, em razão da formação de macroporos a partir de canais deixados posteriormente pela senescência das raízes (RASSE; SMUCKER; SANTOS, 2000).

Os atributos físicos mais sensíveis a essas mudanças são: a estabilidade de agregados, densidade do solo, a macroporosidade e teor de carbono orgânico. Tais atributos são indicadores utilizados para verificar as alterações no solo (VASCONCELOS et al., 2010; VIEIRA et al., 2011).

Os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 a 1,9 Mg m⁻³, enquanto solos argilosos têm valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 Mg m⁻³. Valores de D_s associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular estão situados em torno de 1,65 Mg m⁻³ para solos arenosos e 1,45 Mg m⁻³ para solos argilosos (ROSA, 2013).

O solo é considerado compactado quando a proporção de macroporos em relação à porosidade total é inadequada para o eficiente desenvolvimento da planta. Onde o solo ideal é aquele que tem a porosidade total de 50% e cerca de 17% de macroporos ocupados pelo ar do solo, e de 33% de microporos responsáveis pela retenção de água (ASSIS et al., 2009; ANDRADE; STONE., 2009).

Segundo Prevedello (1996), Suzuki (2005) e Jong Van Lier (2010) afirmam que o valor crítico de macroporos para o desenvolvimento dos cultivos agrícolas está em torno de 10%. Valores inferiores causam redução na produtividade das culturas. E, para Sanchez (2012), o ideal para as camadas amostradas de microporos é em

torno de 40 a 43%.

Desta forma, no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações no rendimento das culturas, o uso de sistemas de manejo, assim como as práticas conservacionistas, tem recebido grande ênfase atualmente (ARGENTON et al., 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no período de março a agosto de 2018. Localizado na estação experimental de Santa Tereza do Oeste no Instituto Agrônomo do Iapar (IAPAR), em Cascavel-PR, com latitude 25°8' S, longitude de 53°58' W e altitude média de 607 metros. O clima da região, conforme a classificação de Koppen, é subtropical úmido, com precipitação média anual de 1840 mm (IAPAR, 2000). O relevo local é suavemente ondulado com declividade média de 3%, no sentido sudoeste-nordeste, e 8%, no sentido sudeste-noroeste em relação ao norte geográfico.

As avaliações do estudo proposto foram realizadas em área de ensaios experimentais, anteriormente utilizadas para cultivos agrícolas, no sistema de plantio direto, a pelo menos 18 anos. O experimento planejado para ser de longa duração foi instalado em março de 2014. No ano de 2011, foi realizado a última calagem na área, utilizando-se 3 t ha⁻¹ de calcário.

Antes da implantação do experimento, que tem por histórico 10 anos de acompanhamento, foram desenvolvidas as análises químicas para caracterização inicial do solo, as quais estão na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo antes da implantação do experimento na camada de 0-0,20 m no ano de 2010

P	C	pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	Al*
mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂		-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----%-----
23,6	32,72	4,70	0,32	9,00	4,20	3,00	0,44	7,64	16,64	45,91	4,02

P - Fósforo - C - Carbono - Al³⁺-Alumínio - H⁺+Al³⁺ - Alumínio potencial - Ca²⁺-Cálcio - Mg²⁺-Magnésio - K⁺-Potássio-SB - Soma de bases - CTC - Capacidade de troca de cátions - V - Saturação por bases - Al* - Saturação por alumínio.

As declividades dos tratamentos foram medidas por meio do teodolito, com a trena e régua, cujas medidas obtidas foram: T1: 2,63%, T2: 1,08%, T3:2,08%, T4: 4,33%, T5: 1,48%, T6: 1,02%, T7: 1,29%, T8: 3,58%, T9:0,89%, T10: 0,72%, T11: 2,02%, T12: 3,39%, T13: 5,09%, T14: 3,99%, T15: 5,41%, podendo-se observar a medição da mesma, conforme a Figura 1:



Figura 1 – a) Colocação do tripé no terreno, de modo a instalar o nível; b) verificação do prumo para conferir o nível; c) medição das declividades por meio de leituras de ré e vante com o auxílio da régua.

O solo analisado é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (LVdf) de textura argilosa (EMBRAPA, 2018) (Tabela 2).

Os resultados da análise granulométrica das três camadas de solo se encontram na Tabela 2, e seus procedimentos laboratoriais na Figura 2.

Tabela 2. Granulometria¹ do solo da área experimental nas três camadas avaliadas

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
Média	36,1	636,4	327,5

¹ Método da pipeta, conforme USDA-Soil Conservation Service. Soil Survey Investigations Report n.1. Whashington, 1972. 63p.

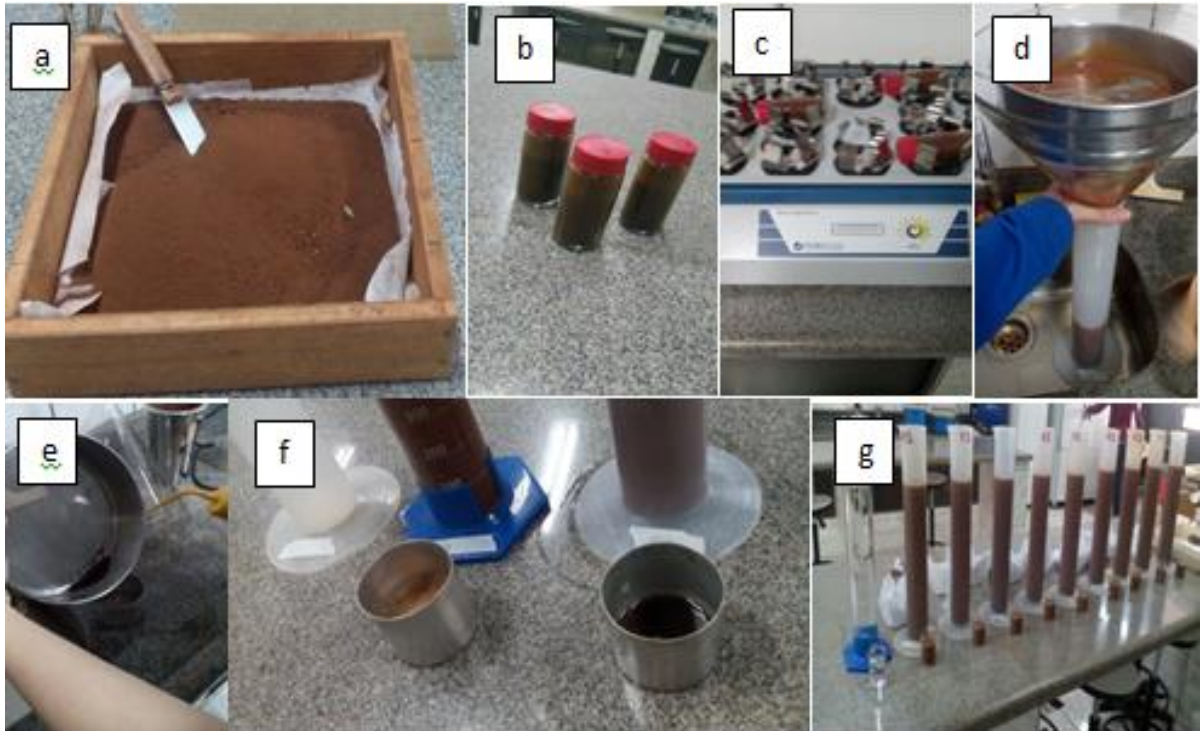


Figura 2 – a) Terra fina seca ao ar (TFSA); b) Amostras de solo contendo hidróxido de sódio a 6% e água destilada antes de ir ao agitador com oscilação horizontal; c) acondicionamento dos frascos no agitador com oscilação horizontal; d) Transferência da amostra de solo para a lavagem da areia usando peneira de 0,053 mm e proveta de 1000 ml; e) Areia retida na peneira, após lavagem da amostra de solo; f) transferência da areia retida na peneira para uma lata previamente pesada (lata do lado direito); g) Provetas com 1000 ml contendo argila e silte, após a lavagem da areia com água destiladas.

3.2. HISTÓRICO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS DOS TRATAMENTOS

A área experimental foi constituída por 15 parcelas de 20 x 16 metros. As informações referentes ao histórico da área experimental são encontradas na Tabela 3.

Tabela 3. Histórico de safra dos últimos 8 anos da área experimental

Safra	Cultura de verão	Cultura de inverno
2010	Soja e Feijão	Aveia
2011	Milho	Aveia
2012	Soja e Feijão	Trigo e Aveia
2013	Soja	Aveia e Centeio
2014	Soja+6 plantas de cobertura*	6 plantas de cobertura
2015	Soja+6 plantas de cobertura**	Crambe
2016	Soja+6 plantas de cobertura	Crambe
2017	Soja+6 plantas de cobertura	Crambe
2018	Soja	Milho
2019	Soja	

*Plantas de cobertura, constituídas por seis espécies de cobertura de verão e seis espécies de cobertura de inverno com três diferentes sistemas de manejo: sistema de plantio direto escarificado, sistema de plantio direto com gesso e sistema de plantio direto tradicional (testemunha).

**A soja mais as seis plantas de cobertura de verão e seis coberturas de inverno são referentes à implantação após a colheita da soja.

As plantas de cobertura, bem como as culturas comerciais, foram implantadas ao longo do experimento com os espaçamentos previamente estabelecidos.

O detalhamento da semeadura das espécies estudadas, assim como a densidade de sementes e espaçamento entre linhas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Descrição das culturas utilizadas, densidade de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura

Trat.	Quantidade de sementes (kg ha ⁻¹)	Espaçamento	
		Entre linha (m)	Sementes/m
<i>Crotalaria juncea</i>	25	0,17	14
<i>Crotalaria spectabilis</i>	15	0,17	24
Guandu anão	30	0,45	27
Feijão guandú	50	0,45	33
Mucuna preta	70	0,45	8
Milheto	20	0,17	81
Aveia branca	70	0,17	52
Aveia preta	40	0,17	80
Centeio	70	0,17	42
Aveia preta+	40	0,17	80
Ervilhaca forrageira	30	0,17	80
Aveia preta+	40	0,17	80
tremoço branco	90	0,45	10
Aveia preta+	40	0,17	80
Nabo	4	0,34	24
SPDT			
SPDG Crambe	12	0,34	113
SPDT			
Soja	300	45	16
Milho		90	5,5

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, constituído a partir de quatro sistemas de manejo do solo: sistema plantio direto tradicional (SPDT), sistema plantio direto escarificado (SPDE), sistema plantio direto gessado (SPDG), e sistema plantio direto com qualidade (SPDQ). Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente, em 15 parcelas de 20 x 16 m dentre as quais doze tratamentos compõem o tratamento SPDQ.

Os doze tratamentos SPDQ são constituídos de culturas de cobertura de inverno e verão no período de entressafra das culturas comerciais. O sistema plantio direto tradicional (SPDT) foi utilizado como testemunha no qual empregou-se ações de uso e de manejo de cultivos normalmente utilizado pelos produtores da região, a qual deixam a área em pousio pós-cultivo de verão. Para o sistema plantio direto escarificado (SPDE), foi realizada a escarificação da parcela a profundidade de até 0,30 m e, por fim, para o tratamento sistema plantio direto gessado (SPDG), foi realizado a aplicação de 3 t ha⁻¹ de gesso agrícola um mês após início do experimento.

Desta forma, apresenta-se na Figura 3 a distribuição dos tratamentos, sendo seis espécies de verão: milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), guandú anão (*Cajanus cajan*), crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*) feijão guandú (*Cajanus cajan*) e mucuna preta (*Mucuna Pruriens*) e outras seis parcelas com espécies de cobertura vegetal de inverno: aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*), ervilhaca forrageira + aveia preta (*Pisum sativum* var. *arvense* + *Avena strigosa*), tremoço branco + aveia preta (*Lupinus albus* + *Avena strigosa*), nabo forrageiro + aveia preta (*Brassica rapa* L. + *Avena strigosa*) e os três sistemas de manejo.

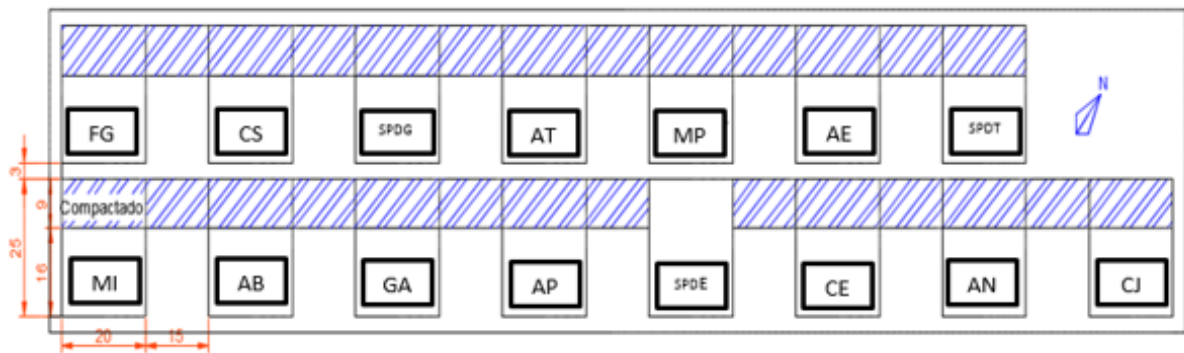


Figura 3 – Croqui com a distribuição das parcelas experimentais e seus respectivos tratamentos: MI: milho; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; AB: aveia branca; AP: aveia preta; CE: centeio; AN: aveia preta + nabo; AT: aveia preta + tremoço branco; AE: aveia preta + ervilha; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha).

3.3. AVALIAÇÃO CLIMATOLÓGICA

Quanto à precipitação pluvial acumuladas no período de 24 horas, os dados foram obtidos por meio de um pluviômetro instalado na área, durante todo o ciclo da cultura do milho, no período de 08/03/2018 a 28 e 29/08/2018. Das coletas que podem ser observadas na Figura 4, as 15 primeiras são referentes às datas do primeiro mês do dossel vegetativo da cultura (15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31 de março), as coletas de 16 a 18 ao período do segundo mês (1, 2 e 16), as coletas de 19 a 21 referentes ao terceiro mês (11, 16 e 19) e as coletas de 21 a 27 referentes ao quarto mês (1, 5, 13, 15, 28 e 29).

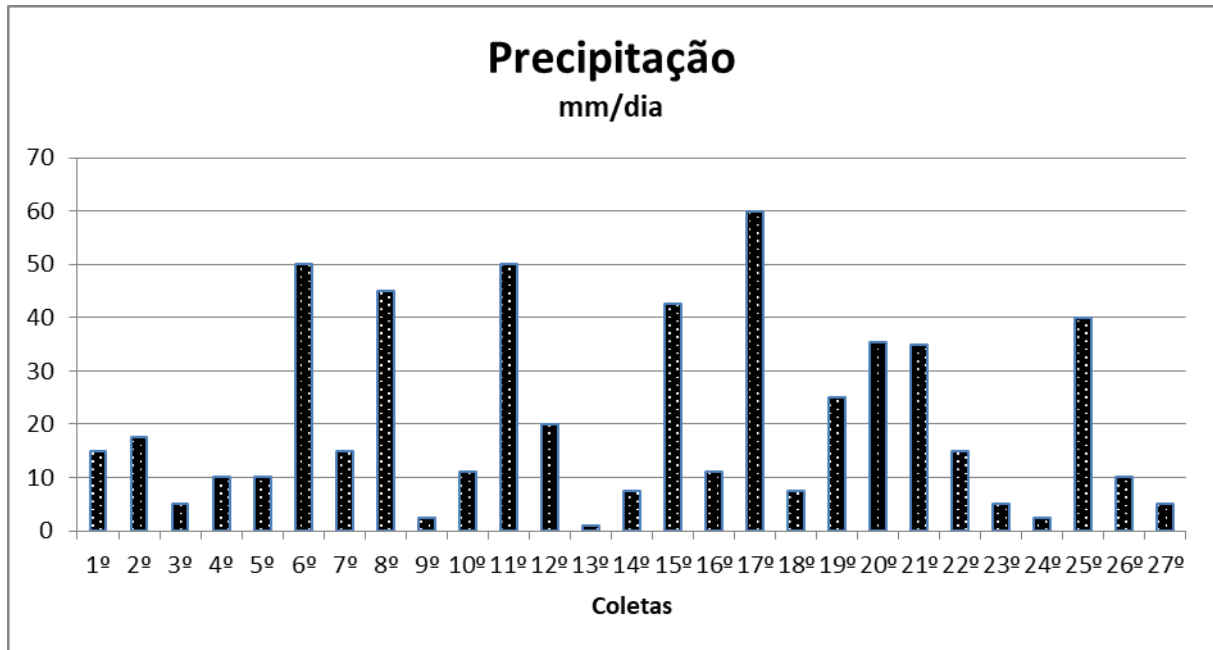


Figura 4. Valores de precipitações referente a cada dia da coleta.

3.4. DETALHAMENTO DA CONDUÇÃO DAS CULTURAS ESTUDADAS

Em março de 2015, foi colhida a soja e realizada a semeadura das espécies de cobertura do ciclo de verão para os respectivos tratamentos. Já para os tratamentos de inverno, SPDE, SPDG e SPDT, foi semeada a cultura do crambe. Para todos os tratamentos, a quantidade de semente em kg ha^{-1} foi corrigida com base na taxa de germinação obtida previamente. A semeadura pós-cultivo da soja foi realizada sem nenhuma adubação para qualquer um dos tratamentos.

O manejo das culturas de cobertura, rolagem e dessecação ocorreram no estágio de pleno florescimento das culturas. Já para as culturas comerciais, foi aguardado o ciclo completo das culturas para realização das determinações analíticas. Em 17/08/2015, foi realizada a colheita do crambe.

No final de 2015 e início de 2016, assim como no final de 2016 e início de 2017, foi novamente semeada e colhida a cultura da soja.

Posteriormente, no dia 09/02/2018 foi dessecada a área e no dia 08/03/2018 foi implantado milho Híbrido 90XB06 Bt em todas as 15 parcelas. Em seguida, no dia 14/03/2018 foi aplicado inseticida para a vaquinha e no dia 23/03/2018 foi aplicado ureia no milho.

3.5. AVALIAÇÕES E DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

3.5.1. AVALIAÇÕES QUÍMICAS

Para caracterização inicial dos nutrientes contidos no solo, as amostragens ocorreram em triplicatas na camada de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 metros em cada estande experimental ao final do ciclo das culturas comerciais. As determinações das características químicas do solo foram realizadas tendo por base a metodologia proposta por Pava et al. (1992), desenvolvendo-se as seguintes determinações analíticas: pH, carbono (C), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al). Além disso, foram calculados os valores de: soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (Al).



Figura 5 – Coleta das amostras químicas do solo: a) abertura da trincheira, com suas marcações de profundidade; b) retirada das amostras químicas com faca, de acordo com as marcações pré-estabelecidas, c) deposição das amostras químicas retiradas, em recipiente pré-demarcado de acordo com a parcela e profundidade do ponto de coleta.

As análises químicas foram obtidas no decorrer do experimento em 3 etapas, em 2010, assim como a caracterização inicial como apresentada na Tabela 1. Em 2015, após a utilização das plantas de cobertura, como pode ser observado na Tabela 5. E, em 2019, após a colheita do milho como apresentado na Tabela 6.

Tabela 5. Atributos químicos do solo na camada de 0-0,5 m, 0,5-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,2-0,4 m, após o cultivo das espécies de cobertura do solo e das alterações de manejo no sistema plantio direto

Trat.	P	C	pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	Al*
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----cmolc dm ⁻³ -----				-----%-----				
Camada de 0-0,05 m												
MI	29,43	24,41	5,17	0,00	6,05	6,92	2,77	0,61	10,29	16,34	62,87	0,00
GA	35,73	25,71	5,77	0,00	4,07	8,13	4,13	0,67	12,93	17,00	76,01	0,00
CJ	29,43	26,23	5,60	0,00	4,53	6,77	3,89	0,51	11,17	15,70	70,99	0,00
FG	63,67	27,53	5,03	0,01	6,39	5,67	3,13	0,61	9,40	15,79	59,45	0,12
CS	18,60	28,83	4,77	0,08	8,22	4,51	2,41	0,44	7,36b	15,58	47,29	1,24
MP	20,57	30,64	5,13	0,02	6,34	6,28	4,25	0,48	11,01	17,35	63,42	0,20
SPDE	22,93	25,71	4,97	0,01	7,03	6,10	2,53	0,52	9,15	16,18	56,56	0,11
SPDG	29,40	25,71	5,03	0,06	6,72	5,33	2,68	0,39	8,41b	15,12	55,59	0,92
SPDT	17,13	27,79	4,67	0,22	9,05	4,65	2,14b	0,34	7,13b	16,18	44,20	3,80
Média	29,61	26,95	5,13	0,04	6,49	6,04	3,10	0,51	9,65	16,14	59,60	0,71
Camada de 0,05-0,10 m												
MI	15,07	19,99	4,80	0,06	7,79	4,90	2,55	0,45	7,90	15,69	50,23	0,90
GA	18,03	22,59	5,03	0,07	7,05	5,65	2,79	0,47	8,91	15,97	55,75	0,91
CJ	9,80	21,29	4,90	0,20	7,60	3,63	2,37	0,47	6,47	14,06	46,14	3,74
FG	18,40	22,33	4,57	0,39	9,27	3,55	1,82	0,44	5,81	15,08	38,30	9,73
CS	12,70	23,63	4,53	0,56	9,36	2,98	1,53	0,33	4,85	14,21	34,82	15,55
MP	8,83	27,67	4,63	0,11	9,72	4,38	1,94	0,38	6,70	16,4	40,80	1,66
SPDE	17,73	25,45	4,83	0,08	7,88	5,05	2,23	0,43	7,71	15,59	49,36	1,23
SPDG	10,10	19,48	4,80	0,22	7,78	3,89	1,94	0,31	6,14	13,91	44,26	5,06
SPDT	19,23	23,11	4,27	0,80	10,76	2,45	0,98	0,25	3,69	14,44	25,64	18,55
Média	14,43	22,84	4,71	0,28	8,58	4,05	2,02	0,39	6,46	15,04	42,81	6,37
Camada de 0,10-0,20 m												
MI	8,47	19,47	4,53	0,28	9,23	3,03	1,89	0,34	5,26	14,49	36,02	5,60
GA	3,60	19,74	4,30	1,05	10,89	2,63	1,10	0,29	4,03	14,91	27,38	22,98
CJ	4,60	17,40	4,10	1,09	10,89	1,37	0,86	0,28	2,50	13,39	19,36	31,04
FG	6,10	18,18	4,10	1,04	10,73	1,17	0,78	0,29	2,24	12,97	16,99	34,70
CS	3,63	19,74	4,27	1,09	10,67	1,63	1,03	0,23	2,89	13,55	22,95	31,29
MP	2,03	20,51	4,10	1,03	11,88	1,5	0,67	0,23	2,46	14,34	17,28	29,56
SPDE	3,83	18,96	4,77	0,13	7,88	3,97	1,93	0,35	6,25	14,13	44,02	2,86
SPDG	2,10	15,58	4,30	0,51	8,30	1,99	1,03	0,21	3,23	11,53	28,35	16,37
SPDT	8,63	21,04	4,10	1,17	11,41	1,52	0,50	0,18	2,19	13,60	16,55	34,26
Média	4,78	18,96	4,28	0,82	10,21	2,10	1,09	0,27	3,45	13,66	25,43	23,18
Camada de 0,20-0,40 m												
MI	3,37	16,10	4,33	0,50	9,72	2,31	1,22	0,24	3,77	13,49	27,60	13,13
GA	2,00	15,06	4,17	1,16	10,57	1,78	0,94	0,22	2,95	13,52	22,15	29,95
CJ	1,67	14,28	4,00	1,27	10,52	0,97	0,40	0,20	1,57	12,09	13,23	44,10
FG	1,10	12,72	4,07	1,03	9,72	0,72	0,31	0,22	1,25	10,97	11,41	46,80
CS	1,10	12,46	4,30	0,74	8,67	1,43	0,78	0,14	2,36	11,03	22,66	28,24
MP	0,80	16,62	4,03	1,09	11,27	1,07	0,46	0,19	1,72	12,99	13,28	38,74
SPDE	0,47	15,06	4,50	0,26	7,97	2,03	1,16	0,22	3,41	11,40	26,65	7,40
SPDG	1,20	11,42	4,40	0,42	7,39	1,58	0,46	0,15	2,20	9,59	22,76	17,64
SPDT	1,13	16,10	4,03	1,14	12,65	0,97	0,44	0,12	1,53	12,85	12,08	41,76
Média	1,43	14,42	4,20	0,82	9,83	1,43	0,69	0,19	2,30	11,99	19,09	29,75

MI: milheto; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha). Médias de tratamentos seguidas pelas mesmas letras minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 6. Valores médios de pH, alumínio (Al), acidez potencial (HAI), capacidade de troca de cátions (tefetiva), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), carbono orgânico (C), na camada de 0-0,1 m, após o cultivo do milho

Tratamento	pH	CaCl ₂	Al	HAI	tefetiva	Ca	Mg	P	K	C
	----- Cmol _c dm ⁻³ -----					Mg dm ⁻³		g dm ⁻³		
Camada de 0-0,1 m										
MI	5.13b	0.00	6.40c	10.09a	6.79 ^a	2.77b	17.86	0.54a	23.38	
GA	5.31b	0.00	6.16c	10.23a	6.88 ^a	2.77b	19.51	0.58a	23.90	
CJ	5.28b	0.00	6.46c	8.44c	5.64b	2.23c	12.59	0.56a	22.08	
FG	4.92c	0.05	8.57a	7.11c	5.03c	1.52d	21.10	0.51a	25.19	
CS	4.75d	0.08	9.17a	7.69c	5.31c	1.67d	25.86	0.63a	23.64	
MP	4.73d	0.10	8.73a	7.04c	4.81c	1.75d	23.85	0.38b	23.38	
AB	5.27b	0.00	6.19c	10.93a	7.23 ^a	3.11a	19.86	0.59a	25.19	
AP	5.56a	0.00	5.07d	11.26a	7.28 ^a	3.46a	14.04	0.51a	24.68	
CE	5.39a	0.00	5.76d	9.25b	6.15b	2.63b	19.00	0.47a	23.38	
NA	5.42a	0.00	5.74d	9.13b	6.05c	2.50b	22.35	0.58a	24.16	
AT	4.90c	0.01	7.58b	9.35b	6.22b	2.68b	22.62	0.44b	23.90	
AE	4.75d	0.01	8.35b	7.41c	5.16c	1.82d	20.71	0.42b	22.34	
SPDE	5.22b	0.00	6.26c	8.82b	5.92b	2.46b	18.88	0.44b	22.60	
SPDG	4.70d	0.37	9.40a	7.79c	5.65b	1.41d	17.70	0.36b	23.64	
SPDT	4.82d	0.02	7.90b	7.51c	5.23c	1.76d	18.80	0.50a	25.19	
CV	2.03	325.34	6.27	9.41	9.88	11.17	36.09	13.47	8.47	
Média	5.08	0.04	7.18	8.80	5.96	2.30	19.65	0.50	23.77	
f*	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.73	

MI: milheto; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; AB: aveia branca; AP: aveia preta; CE: centeio; NA: aveia preta + nabo; AT: aveia preta + tremoço branco; AE: aveia preta + ervilha; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha). Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.

3.5.2. Coleta de palha

Para a coleta de palha, foram estabelecidos quadrados com a dimensão de 30 cm com o intuito de coletar aleatoriamente na área a quantidade presente de cobertura vegetal de 15 em 15 dias, em dois pontos por parcela. Posteriormente, as amostras foram colocadas em recipientes pré-etiquetados, para que fossem levadas até a estufa e ficassem por 48 horas a 65°C, com circulação de ar forçada, para a obtenção de massa seca.



Figura 6 – a) quadrado de 30 cm² realizado com régua graduada para a coleta das palhas realizado de forma aleatória de 15 em 15 dias; b) área delimitada pelo quadrado na área amostrada, após a retirada da cobertura existente; c) passagem das amostras, após período de 48 horas na estufa de vegetação a 65° C, com circulação forçada por um período de 48 horas.

Tabela 7. Valores médios da massa de palha nos tratamentos durante o cultivo do milho em t ha⁻¹

Tratamentos	Período de avaliação				
	Março	Abril	Maio	Junho	Julho
MI	5,57aA	2,32aB	2,19aB	2,99aAB	2,67aB
GA	4,44abA	2,74aA	2,59aA	3,42aA	2,51aA
CJ	3,01abA	2,70aA	2,85aA	3,71aA	1,59aA
FG	3,62abA	1,77aAB	1,80aAB	0,81aA	1,82aAB
CS	4,09abA	2,37aA	3,23aA	1,90aA	1,63aA
MP	4,09abA	2,65aAB	4,14aA	1,75aAB	0,86aB
AB	4,30abA	1,70aA	2,43aA	2,14aA	2,19aA
AP	2,92abAB	1,75aAB	4,11aAB	2,11aAB	0,84aB
CE	3,96abA	1,09aB	2,56aAB	2,85aAB	3,34aAB
NA	3,04abA	1,56aA	3,36aA	3,38aA	1,08aA
AT	3,87abA	2,03aA	3,75aA	2,23aA	3,41aA
AE	3,01abA	1,42aA	3,47aA	1,36aA	1,11aA
SPDE	3,22abA	1,59aA	1,95aA	2,50aA	2,13aA
SPDG	4,76abA	2,21aAB	2,33aAB	1,94aB	1,77aB
SPDT	2,40bA	1,76aA	1,32aA	0,90aA	2,07aA
CV(%)			47,11		
Médias			2,62		
DMSC			3,00		
DMSL			2,63		

Mês1: março; Mês2: abril; Mês3: maio; Mês4: junho; Mês1: julho; MI: milheto; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; AB: aveia branca; AP: aveia preta; CE: centeio; NA: aveia preta + nabo; AT: aveia preta + tremoço branco; AE: aveia preta + ervilha; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha). Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

3.5.3. AVALIAÇÕES FÍSICAS

No laboratório LAFIS (Laboratório de Física do Solo), localizado na UNIOESTE-PR, foram realizadas as análises de macro e microporosidade, densidade do solo e de partícula, porosidade total e condutividade hidráulica saturada, as quais são descritas abaixo, antes e depois da implantação do milho.

Foram coletados dois pontos por parcela, com duas repetições por ponto, em três profundidades: 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m. Para a coleta, foi medida a profundidade estabelecida com trena, retirando-se a camada de palhada da superfície do solo para que, posteriormente, fosse alocado o anel previamente enumerado, com a parte chanfrada para o solo, colocando o extrator para ser martelado. Com isso, após atingir a marcação do extrator se retirava as camadas de solo em torno da amostra com o auxílio do martelo pedológico. Em seguida, com a faca, a amostra foi coletada indeformada do solo, como observado na Figura 7.

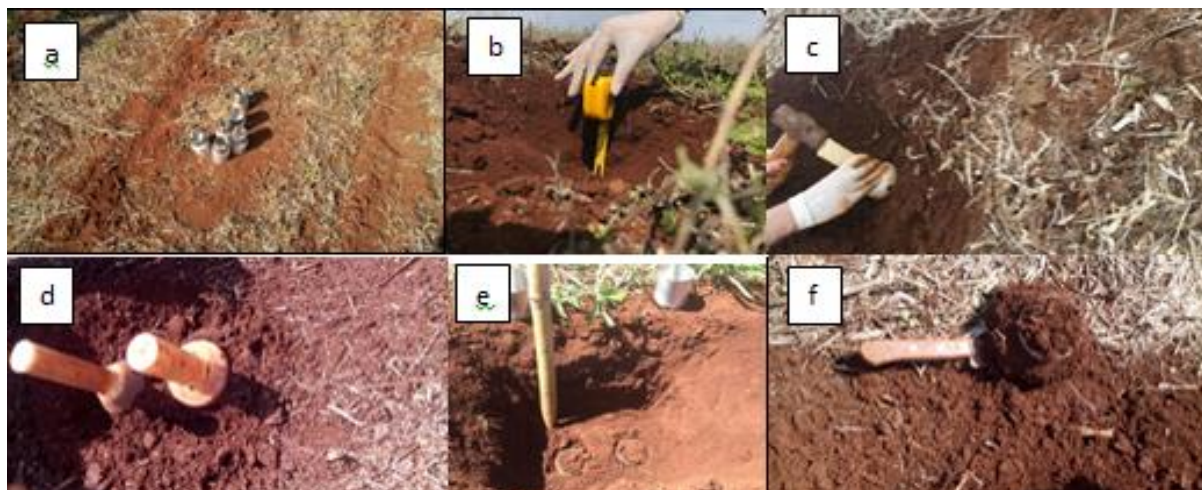


Figura 7 – Coleta de amostras físicas, ou seja: a) deposição das latinhas, anel e tampa em seus respectivos pontos de coleta em cada parcela; b) marcação da profundidade com trena em cada ponto de coleta para o alocamento do anel; c) alocamento do extrator sobre o anel para a retirada da amostra de solo; d) visualização de até onde o extrator deve estar retido no solo para encerrar as marretadas; e) visualização das amostras para posterior retirada; f) retirada das amostras.

- MACROPOROSIDADE

É o volume do solo que corresponde aos poros com diâmetro $\geq 0,05\text{mm}$ (EMBRAPA, 1997).

Para a realização das análises de macroporosidade, os anéis contendo as amostras de solo foram limpos (toalete) e colocados para saturar por 24 horas. Depois disso, as amostras de solo foram pesadas e colocadas na coluna de areia.

A coluna de areia foi preparada para receber as amostras, de forma que permaneceu saturada a 100 cm de coluna de água. Após este preparo, as amostras de solo foram levadas na coluna de areia e o nível de água foi reduzido a 60 cm, para que a água presente nos macroporos fosse retirada por meio da pressão negativa/sucção, do contado estabelecido entre os poros capilares da amostra e a areia, permanecendo por 4 dias. Após este período, as amostras são pesadas.

Os cálculos para a macroporosidade pode ser realizado pela equação 1

$$\text{Macroporosidade} = \text{Porosidade total} - \text{microporosidade} \quad (\text{eq. 1})$$

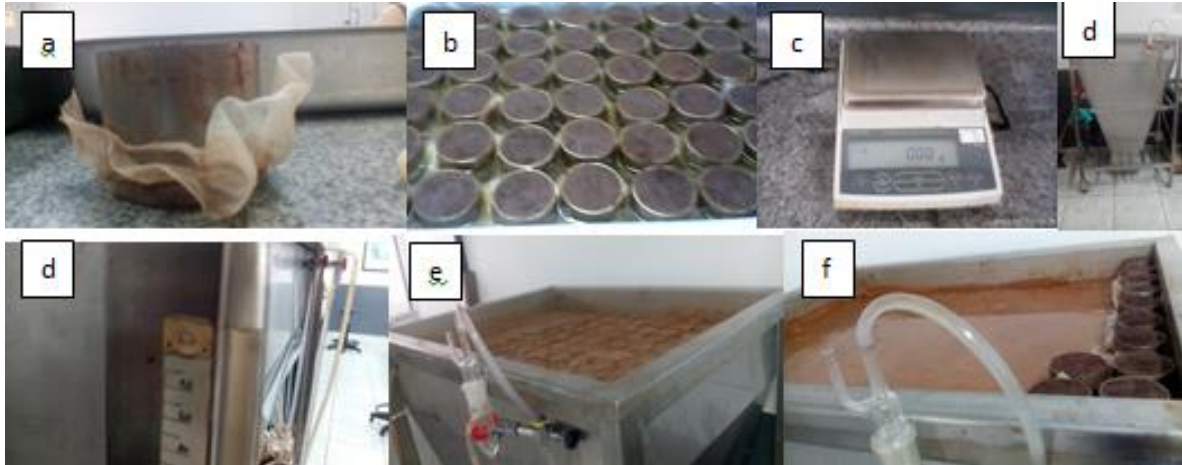


Figura 8 – a) amostra com presença de tule e elástico prontas para a saturação; b) amostras saturadas com 2/3 de água; c) balança em que as amostras foram pesadas para, em seguida, ser colocadas na coluna de areia; d) medição do nível de água da coluna de areia de modo que, inicialmente, encontre 0 cm de coluna de água; e) nivelamento da areia para posterior colocação das amostras de solo; f) alocamento das amostras na coluna de areia.

- MICROPOROSIDADE

É o procedimento em que ocorre a retirada de água presente nos microporos.

Na realização da microporosidade, as amostras úmidas são colocadas em estufa a 105°C por 48 horas. Com isso, obtém-se o volume de microporos contidos na amostra por meio da evaporação (EMBRAPA, 1997).

Em que:

MSU= massa do solo úmido;

MSS = massa do solo seco.

Os cálculos para a microporosidade podem ser realizados pela equação 2

$$\text{Microporosidade} = ((\text{MSU} - \text{MSS}) / \text{MSS}) * 100 \quad (\text{eq. 2})$$

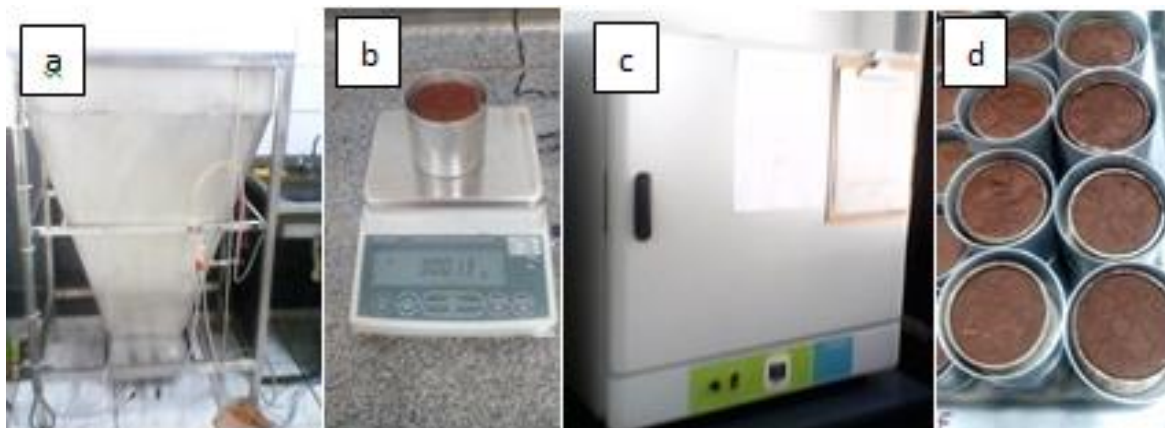


Figura 9 – a) coluna de areia contendo as amostras de solo, após as 48 horas; b) pesagem das amostras e acondicionamento dos anéis em latas pré-pesadas; c) colocação das amostras na estufa a 105° C por um período de 48 horas; d) retirada das amostras da estufa para posterior pesagem delas.

- DENSIDADE DE PARTÍCULA

É a determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa (EMBRAPA,1997).

Para a determinação da densidade de partícula, pesou-se 20g de solo, colocou-se o material em lata de alumínio de peso conhecido, levou-se à estufa, deixando por 6 a 12 horas. Posteriormente, as amostras foram colocadas em dessecador e pesou-se o material a fim de se obter o peso da amostra seca a 105°C. Completada tal fase, transferiu-se a amostra para balão aferido de 50 ml e adicionou-se álcool etílico, agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar que se formavam. Em seguida, prosseguiu-se com a operação, vagarosamente, até a ausência de bolhas e completou-se o volume do balão. Por fim, foi anotado o volume de álcool gasto.

Com os dados obtidos, calculou-se a densidade de partícula pela equação 3:

$$\text{Densidade de partículas (g /cm}^3\text{)} = a / 50 - b \quad (\text{eq. 3})$$

Em que:

a = peso da amostra seca a 105°C;

b = volume de álcool gasto.

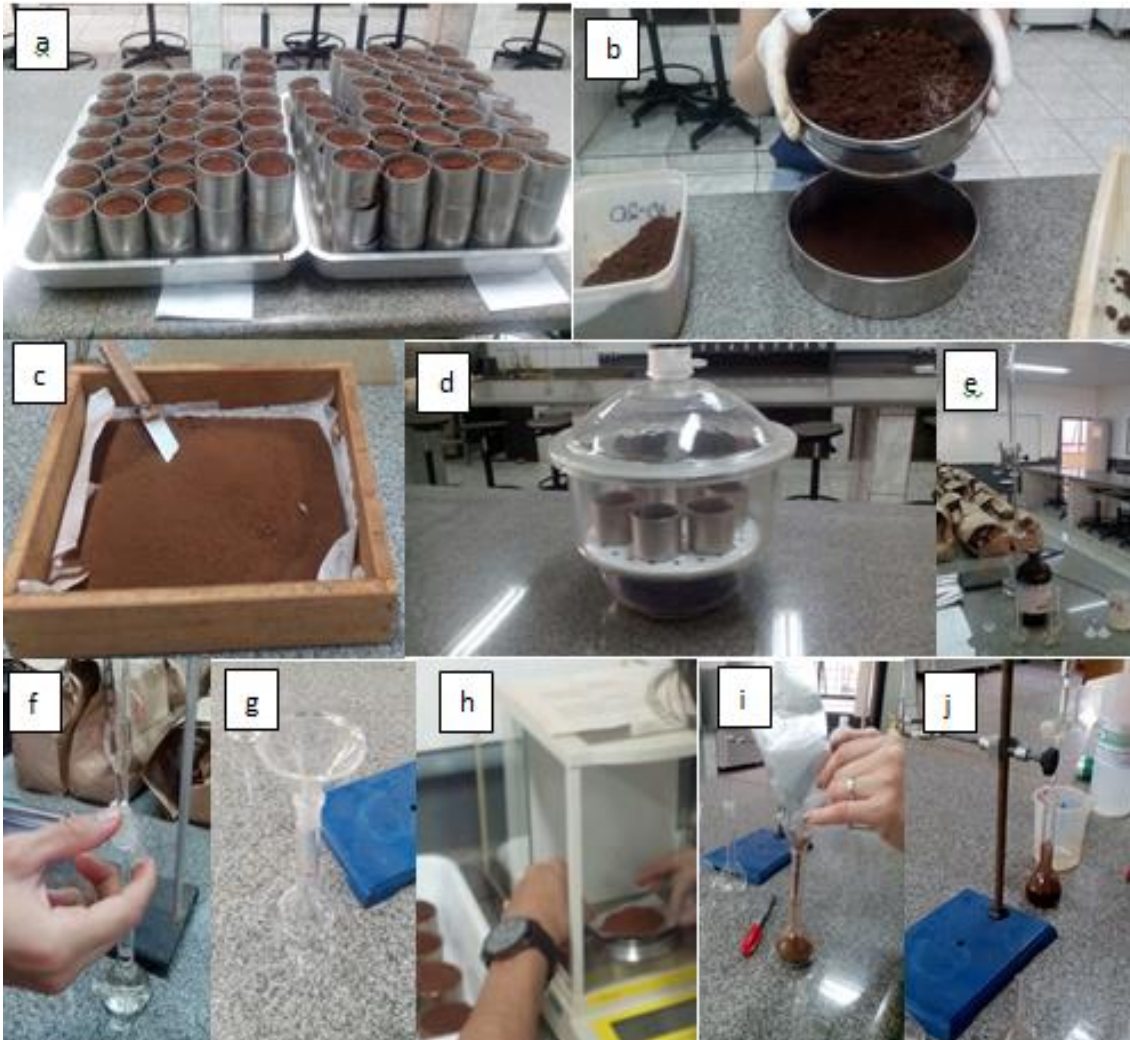


Figura 10 – a) separação ocorreu de acordo com as profundidades para se ter uma boa representação da área; b) peneiramento de solo em peneira de malha 2mm; c) Terra fina seca ao ar após o peneiramento; d) amostras dentro do dessecador; e) bureta no suporte universal; f) calibração do balão volumétrico; g) marcação contornando todo o balão volumétrico; h) pesagem de 20 gramas de TFSE em papel alumínio; i) deposita-se as 20 gramas de solo no balão volumétrico; j) balão volumétrico contendo solo e álcool até a marcação de 50 ml.

- POROSIDADE TOTAL

É o princípio que determina o volume de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar (EMBRAPA, 1997).

Com os dados obtidos, calculou-se a porosidade total pela equação 4:

$$\text{Porosidade total} = (1 - (DS/Dp)) * 100 \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

DS = densidade do solo;

Dp = densidade de partícula.

- CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

É a medida da velocidade com que a água se movimenta por meio do solo, em que as amostras saturadas são colocadas em permeâmetro de carga constante, sendo que a medida quantitativa da condutividade hidráulica é obtida a partir da aplicação da equação de Darcy, após o tempo que os valores atingem a estabilidade (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada, as amostras de solo, após saírem da coluna de areia, foram saturadas novamente por 24 horas, para, em seguida, serem colocadas no permeâmetro de carga constante para a realização das análises.



Figura 11 – a) Medição do diâmetro e altura do anel superior; b) amostras saturadas antes de serem colocadas no permeâmetro; c) amostras preparadas para as determinações da condutividade hidráulica saturada; d) amostras no permeâmetro com um fluxo de água; e) detalhamento da amostra em que evidencia como o tubo de cobre serve como um duto hidráulico f) medição em proveta dos ml de água percolado em determinado período de tempo; g) medição da altura da lâmina de água.

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste F para identificar as diferenças entre médias de tratamentos por meio do SISVAR (FEREIRA, 2010) pelo teste de Skott Knott ao nível de 5% de probabilidade

($p < 0,05$). A análise utilizada no programa foi a fatorial 15×2 , sendo que 15 representa o número de tratamentos e 2 representa o período de antes e após a implantação da cultura do milho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 8, são apresentados os valores médios da densidade do solo (DS) nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m antes (2018a) e após o cultivo das espécies de cobertura (2018d).

Tabela 8. Valores médios da densidade do solo (DS) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, antes e depois do cultivo do milho.

Tratamentos	DS (Mg m ⁻³)					
	0,0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2018 a	2018 d	2018 a	2018 d	2018 a	2018 d
MI	0,98bA	1,02aA	1,06	1,06	0,98bA	1,06aA
GA	0,93bA	0,91bA	1,17	1,11	1,11aA	1,11aA
CJ	1,08aA	0,95bB	1,12	1,14	1,11aA	1,13aA
FG	1,01bA	0,94bA	1,14	1,11	1,08aA	1,00bB
CS	1,00bA	0,98bA	1,16	1,01	1,12aA	1,04aA
MP	1,09aA	0,93bB	1,17	1,03	1,07aA	0,96bB
AB	1,06aA	1,01aA	1,09	1,06	1,01bA	0,90bB
AP	1,00bA	1,00aA	1,11	1,06	1,08aA	1,05aA
CE	0,99bA	0,95bA	1,12	1,09	1,14aA	1,06aA
NA	0,98bA	0,97bA	1,13	1,05	1,15aA	1,04aB
AT	1,10aA	1,00aB	1,16	1,04	1,13aA	0,98bB
AE	1,05aA	0,98bA	1,18	0,97	1,18aA	1,07aB
SPDE	1,16aA	0,99aB	1,10	0,99	1,10aA	0,98bB
SPDG	1,03bA	1,09aA	1,14	1,09	1,13aA	1,02aB
SPDT	1,05aA	1,06aA	1,16	1,11	1,15aA	1,09aA
Média do a-d	1,03	0,98	1,13	1,06	1,10	1,03
CV (%)	6,04		6,55		5,30	
Médias	1,01		1,10		1,07	
F ano	0,0001*		0,0000*		0,0000*	
F parcela	0,0002*		0,2899**		0,0000*	
F ano*parcela	0,0062*		0,1293**		0,0048*	

MI: milheto; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; AB: aveia branca; AP: aveia preta; CE: centeio; AN: aveia preta + nabo; AT: aveia preta + tremçoço branco; AE: aveia preta + ervilha; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha). Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância, *significativo a 5% de probabilidade perante o teste F, **não significativo a 5% de probabilidade perante o teste F.

Referente à DS na camada de 0,0-0,1 m, no período antes da implantação do milho, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos com MI, GA, FG, CS, MP, AP, CE, AN e SPDG estando agrupados entre si. Foram diferentes quanto aos tratamentos de CJ, AB, AT, AE, SPDE, SPDT. Já no período posterior ao cultivo do milho, foi possível observar que ocorreu diferença significativa entre os tratamentos de GA, CJ, FG, CS, MP, CE, AN, AE e SPDE, se comparados aos tratamentos de MI, AB, AP, AT, SPDG e SPDT. Ademais, comparando-se o antes e depois da

implantação da cultura do milho é oportuno observar que ocorreu diferença entre os períodos referentes aos tratamentos de CJ, MP, AT e SPDE. Os demais tratamentos não diferiram entre os períodos. É provável que a diferença entre os tratamentos para esta camada ocorra em razão de apresentar uma grande quantidade de matéria orgânica, assim como bioporos deixados pela senescência do sistema radicular das coberturas vegetais cultivadas anteriormente, bem como ao revolvimento do solo no momento de semeadura, maior atividade biológica e mais ciclos de umedecimento e secagem (SILVA et al., 2003). Além disso, é possível que seja justificado por meio da apresentação da média da DS nessa camada do solo, se comparada com as demais.

Os resultados quanto à CJ e MP podem ser ressaltados por conta do seu sistema radicular profundo e vigoroso. O fato de que sejam leguminosas, apresentando também baixa relação C/N (carbolo/nitrogênio), pode ter favorecido a sua rápida decomposição, deixando os bioporos nessa camada, bem como a matéria orgânica no momento pós-senescência dessas plantas de cobertura.

Quanto à combinação de aveia preta mais tremoço branco (AN), pode ter ocorrido pelo fato da aveia ser uma gramínea com o sistema radicular fasciculado, estando tramado e emaranhado nas camadas de subsuperfícies do solo, deixando assim grande quantidade de raízes nessas camadas, bem como pelo nabo forrageiro ser uma leguminosa tendo o sistema radicular profundo e vigoroso deixando também os seus bioporos no solo, bem como a matéria orgânica, visto que reduzem a DS e aumentam a sua porosidade total.

Em relação ao SPDE, o revolvimento ocasionado no solo por este sistema de manejo reduz momentaneamente a sua compactação. No caso dos tratamentos que não apresentaram diferença entre os períodos avaliados, tem-se que o sistema de manejo com plantas de cobertura já se encontra há mais de 5 anos na área experimental deixando, assim, o efeito residual benéfico dos cultivos de espécies de cobertura anteriores.

Na camada de 0,1-0,2 m não ocorreu a interação entre os tratamentos, o que pode ser observado pelo valor de f da interação, com valor de 0,1293. A média de todos os tratamentos para os períodos antes e após a cultura é ser de $1,13 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,06 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente, o que evidencia o bom manejo do solo. Demonstrando também que ocorreu a sua redução por conta do sistema radicular deixado pela senescência da cultura demorar um certo período para que ocorra a

cimentação do material orgânico deixado pelas raízes que, com a expansão no momento do crescimento radicular, faz com que os bioporos deixados perpetuem por um maior período nas camadas do solo reduzindo, assim, a densidade do solo e aumentando o valor de porosidade total.

Na camada de 0,2-0,3m, antes da implantação do milho, ocorreu diferença significativa para os tratamentos de MI e AB, se comparados aos tratamentos de GA, CJ, FG, CS, MP, AP, CE, AN, AT, AE, SPDE, SPDG e SPDT. Já no período depois do cultivo do milho, pode-se observar que ocorreu diferença significativa para os tratamentos de FG, MP, AB, AT, SPDE, se comparado aos tratamentos de MI, GA, CJ, CS, AP, CE, AN, AE, SPDG e SPDT. Ademais, comparando-se o antes e depois da implantação da cultura do milho, pode-se observar que houve diferença significativa para os tratamentos de FG, MP, AB, AN, AT, AE, SPDE e SPDG. Sendo assim, constatou-se a redução do valor de DS quando comparados com os diferentes períodos.

As plantas de cobertura FG, MP podem ser justificadas por serem leguminosas de sistema radicular profundo e vigoroso, acarretando a melhoria física do solo por meio de seus benefícios e do sistema radicular. Quanto à aveia branca, pode ser justificada pelo seu sistema radicular fasciculado, bem como pelo histórico do crambe e da cultura da soja que também contribui com seu sistema radicular pivotante podendo chegar a 50 cm de profundidade.

As plantas de cobertura combinadas ou em consórcio, como no caso da AN, AT, AE, são provenientes da combinação das gramíneas no caso da aveia preta com leguminosas de sistema radicular profundo e vigoroso.

O SPDE ocorre pelos mesmos motivos comentados anteriormente, visto que o revolvimento do solo chegou até as camadas dos 30 cm de profundidade, como descrito nos materiais e métodos.

Além disso, o SPDG pode ser explicado em razão do gesso precipitar o alumínio, que é tóxico para as plantas, transformando-o também em formas menos tóxicas, acarretando no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular nas camadas mais profundas do solo, possibilitando uma maior abrangência de exploração do solo por meio das cultivares, sejam plantas de cobertura ou culturas comerciais.

A utilização do gesso agrícola também busca a disponibilidade de nutrientes, visto que é uma excelente fonte de Ca (20%) e S (15-18%), além de contribuir com

pequenas concentrações de fósforo (P) (0,5-0,8%), tendo potencial como fertilizante de macronutrientes. Por ser um sal com alta solubilidade, o gesso é comumente comercializado como um condicionador do solo, pois aumenta rapidamente as concentrações de Ca^{2+} e sulfato (SO_4^{2-}) em subsuperfície (NEIS et al., 2010).

Assim, abrangendo algumas citações, tem-se que os valores de densidade do solo, no estudo proposto, estão abaixo dos valores considerados críticos, como citado por Reichert et al. (2009), pois, para solos argilosos, o nível crítico de DS fica entre 1,25 a 1,35 Mg m^{-3} . Sendo assim, eles afirmam que o solo pode apresentar restrições ao crescimento radicular para culturas anuais. No entanto, para Souza, Carneiro e Paulino (2005), o valor de 1,40 Mg m^{-3} foi o limite para solos argilosos. Nestes experimentos, o valor obtido para a variável DS ficou abaixo do considerado por Souza et al. (2005) e Reichert et al. (2009).

Os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 a 1,9 Mg m^{-3} , enquanto solos argilosos têm valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 Mg m^{-3} . Valores de DS associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de 1,65 Mg m^{-3} para solos arenosos e 1,45 Mg m^{-3} para solos argilosos (ROSA, 2013).

A respeito do ressalto das plantas de cobertura, Rosa (2013) ressalta que as espécies *crotalaria spectabilis* (1,08 Mg m^{-3}) e *mucuna verde* (1,07 Mg m^{-3}) apresentaram redução significativa de DS em comparação com a área de pousio, mostrando potencial estruturante superior às demais espécies após o primeiro ano de uso.

O que fora explicitado ocorre em razão de possui raiz pivotante e profunda capaz de romper camadas compactadas que, quando entram em decomposição, favorecem as culturas subsequentes permitindo a extensão dos seus sistemas radiculares pelos canais produzidos, o que está de acordo com o citado por Calegari et al. (1993).

Carvalho et al. (2002) também destacam a grande habilidade dessa espécie em explorar maior volume de solo em profundidade por conta dos bioporos formados que contribuem com o aumento do movimento da água no solo e a difusão de gases.

Na Tabela 2, são apresentados os valores médios da condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m antes (2018a) e após o cultivo das espécies de cobertura (2018d).

Tabela 9. Valores médios da condutividade hidráulica saturada do solo (Ksat) nas camadas de 0,0-0,1, 0,1-0,2 e de 0,2-0,3 m, antes e depois do cultivo do milho.

Tratamentos	Ksat (mm h ⁻¹)					
	0,0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2018 a	2018 d	2018 a	2018 d	2018 a	2018 d
MI	24,07	51,64	176,56aA	27,41bB	51,43	72,37
GA	67,64	236,19	3,68aA	23,29bA	12,56	10,81
CJ	84,26	52,65	21,22aA	38,73bA	23,17	9,38
FG	32,22	177,30	48,17aB	191,45aA	97,59	278,90
CS	16,24	185,04	14,78aB	137,59bA	67,59	205,96
MP	63,22	154,40	9,69aA	76,41bA	160,89	225,44
AB	11,48	82,29	31,90aA	73,09bA	15,48	124,87
AP	65,26	45,72	4,77aA	100,49bA	1,17	62,54
CE	346,62	225,94	69,71aB	253,38aA	19,59	79,77
NA	159,60	113,10	75,87aA	78,45bA	7,36	26,67
AT	16,73	41,56	28,47aA	107,70bA	34,34	52,86
AE	106,07	136,19	14,61aA	57,33bA	10,20	61,84
SPDE	1,54	187,21	7,91aB	122,02bA	0,74	85,85
SPDG	52,70	12,42	55,49aA	47,54bA	52,39	86,38
SPDT	98,97	52,78	85,48aA	40,31bA	59,46	26,87
Médias do a-d	81,56	116,96	43,22	91,68	40,93	90,37
CV (%)	118,94		115,32		122,01	
Médias	97,42		67,45		67,48	
F ano	0,0668**		0,0010*		0,0007*	
F parcela	0,0052*		0,0430*		0,0000*	
F ano*parcela	0,1998**		0,0110*		0,4756**	

MI: milheto; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; AB: aveia branca; AP: aveia preta; CE: centeio; AN: aveia preta + nabo; AT: aveia preta + tremoço branco; AE: aveia preta + ervilha; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha). Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância, *significativo a 5% de probabilidade perante o teste F, **não significativo a 5% de probabilidade perante o teste F.

Quanto ao Ksat na camada de 0,0-0,1 m, pode-se observar que não ocorreu interação entre os tratamentos, sendo que o valor de f ano*parcela foi de 0,1919. Dessa forma, foi apresentada a média de todos os sistemas de manejo perante os períodos de antes e após a implantação da cultura do milho. Por isso, tem-se que ocorreu um aumento da condutividade hidráulica saturada do solo indo de 81,56 mm h⁻¹ para 116,9 mm h⁻¹, o que demonstra a melhoria dos parâmetros físicos do solo por meio das plantas de cobertura, bem como pelos diferentes manejos instalados nesse experimento.

Sendo assim, pode-se observar também os valores da DS apresentados anteriormente, pois, conforme a redução da DS, ocorre o aumento da porosidade total, conseqüentemente, são elevados os valores de macroporos responsáveis pela

retenção de água no solo, bem como pelas trocas gasosas e controle da temperatura. Logo, com o aumento dos macroporos, ocorre a elevação da taxa de infiltração de água no solo, o que reflete em sua condutividade.

É possível notar também o alto valor do coeficiente de variação para todas as camadas do solo, estando em torno de 100%, o que pode ser justificado pela alta heterogeneidade, visto que passa a ser notória a diferença entre as leituras tabuladas até entre a mesma parcela.

Na camada de 0,1-0,2m, antes da implantação do cultivo de milho, não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos. Assim, foi possível observar que, no período depois da colheita do milho, existiu uma diferença significativa entre os tratamentos de FG e CE, se comparados aos tratamentos de MI, GA, CJ, CS, MP, AB, AP, AN, AT, AE, SPDE, SPDG e SPDT. Ao promover a comparação do antes e depois da implantação da cultura do milho, tornou-se favorável perceber a diferença significativa para os tratamentos de FG, CS, CE e SPDE, o que pode ter ocorrido em razão do sistema radicular das plantas de cobertura, sendo profundos e vigorosos ou fasciculados, assim como por meio do revolvimento do solo no caso do SPDE.

Já na camada de 0,2 a 0,3m, não ocorreu interação entre as parcelas e os períodos de antes e após a implantação da cultura do milho. Vale frisar que as médias dos tratamentos para antes e após a implantação da cultura comercial foram de 40,93 mm h⁻¹ para 90,37 mm h⁻¹ demonstrando, assim, o benefício ou melhoria desse parâmetro físico abordado.

É importante destacar também as médias para todas as camadas, demonstrando que ocorreu uma redução significativa se comparada com a primeira camada de profundidade do solo, indo de 97,42 mm h⁻¹ para 67 mm h⁻¹, o que pode ser evidenciado pela presença da grande quantidade de palhada depositada nessa camada, como também pela grande quantidade de raízes e pelo revolvimento no momento da semeadura.

Tal parâmetro do solo é considerado esdrúxulo, com muita heterogeneidade entre os dados, o que pode ser demonstrado pelo seu alto coeficiente de variação, indo de 115,32 a 122,01 entre as diferentes camadas avaliadas. Assim, existe concordância com os resultados encontrados por Fontana et al. (2016) em Latossolos sob o cultivo de soja. De modo semelhante, Primo et al. (2015) verificaram que a condutividade hidráulica do solo tende a diminuir com a

profundidade.

Na Tabela 3, são apresentados os valores médios da porosidade total do solo (PT) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m antes (2018a) e após o cultivo das espécies de cobertura (2018d).

Tabela 10. Valores médios da porosidade total (PT) nas camadas de 0,0-0,1, 0,1-0,2 e de 0,2-0,3 m, antes (2018a) e depois (2018b) do cultivo do milho.

Tratamentos	PT (%)					
	0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2018 a	2018 d	2018 a	2018 d	2018 a	2018 d
MI	61,75aA	60,30bA	59,02	58,78	63,18aA	60,26Ab
GA	63,54aA	64,35aA	54,86	57,01	58,33bA	58,44b
CJ	57,90bB	62,82aA	56,77	56,03	58,50bA	57,48bA
FG	60,73aA	63,15aA	55,81	57,19	59,41bB	62,47aA
CS	61,19aA	61,89aA	55,18	61,18	58,14bA	60,93bA
MP	57,56bB	63,54aA	54,75	60,17	60,05aB	63,91aA
AB	58,62bA	60,64bA	57,92	59,03	62,00aB	66,14aA
AP	61,16aA	61,16bA	57,04	58,93	59,54bA	60,66bA
CE	61,42aA	62,98aA	56,69	57,82	57,29bB	60,34bA
NA	61,89aA	62,02aA	56,55	59,37	56,75bB	61,20bA
AT	57,27bB	61,09bA	55,07	59,78	57,68bB	63,36aA
AE	59,13bA	61,75aA	54,43	62,50	55,60bB	59,79bA
SPDE	54,83bB	61,29bA	57,57	61,55	58,78bB	63,42aA
SPDG	59,93aA	57,75bA	55,81	57,62	57,76bB	61,63bA
SPDT	59,22bA	58,75bA	55,29	57,00	56,93bA	59,10bA
Media de a-d	59,74	61,56	56,18	58,93	58,66	61,27
CV (%)	3,89		4,81		3,53	
Médias	60,67		57,56		59,97	
F ano	0,0001*		0,0000*		0,0000*	
F parcela	0,0002*		0,2889**		0,0000*	
F ano*parcela	0,0062*		0,1132**		0,0049*	

MI: milheto; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; AB: aveia branca; AP: aveia preta; CE: centeio; AN: aveia preta + nabo; AT: aveia preta + tremoço branco; AE: aveia preta + ervilha; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha). Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância, *significativo a 5% de probabilidade perante o teste F, **não significativo a 5% de probabilidade perante o teste F.

Pode-se observar quanto à PT na camada de 0,0-0,1 m, no período antes da implantação do milho, que ocorreu uma diferença significativa para os tratamentos de MI, GA, FG, CS, AP, CE, AN e SPDG se comparados aos tratamentos de CJ, MP, AB, AT, AE, APDE e SPDT. Já no período depois do cultivo do milho, nota-se que ocorreu diferença significativa para os tratamentos de GA, CJ, FG, CS, MP, CE, AN e AE, se comparados aos tratamentos de MI, AB, AP, AT, SPDE, SPDG e SPDT. Além disso, comparando-se o antes e depois da implantação da cultura do milho é notório que houve diferença significativa para os tratamentos de CJ, MP, AT

e SPDE, isto é, com o aumento do seu valor de PT.

Tal aspecto ocorreu provavelmente por conta dos benefícios promovidos pelo sistema radicular dessas culturas ou pelo revolvimento do solo quanto ao sistema com escarificação.

Deve-se ressaltar que os sistemas apresentaram valores elevados de PT não tiveram aderência quanto à avaliação da palhada depositada sobre o solo perante os diferentes meses de avaliação, o que comprova que essas diferenças ocorrem por conta dos diferentes comportamentos do sistema radicular dessas plantas de cobertura, pois as culturas comerciais implantadas anteriormente também foram as mesmas para todas as parcelas.

Ao observar as Tabelas 5 e 6 das análises químicas, nota-se a comprovação de que não ocorreu diferença do valor desse nutriente quanto aos diferentes tratamentos abordados. Por isso, constata-se a redução do carbono no solo quanto ao aprofundamento das camadas, pois ressalta a evidência de que, na primeira camada avaliada, os valores se devem ao grande acúmulo de matéria orgânica, bem como a considerável quantidade de raízes.

Na camada de 0,1-0,2 m, constatou-se que não ocorreu interação entre os tratamentos, pois as médias de todas as parcelas perante cada período avaliado foi de 56,18% para 58,93% ressaltando, assim, os benefícios dos diferentes sistemas de manejo na estrutura do solo.

Na camada de 0,2-0,3 m, antes da implantação do milho, ocorreu uma diferença significativa para os tratamentos de MI, MP e AB, se comparados aos tratamentos de GA, CJ, FG, CS, AP, CE, AN, AT, AE, SPDE, SPDG e SPDT. Já no período seguinte, após o cultivo do milho, percebeu-se que existiu uma diferença significativa para os tratamentos de FG, MP, AB e AT, se comparados aos tratamentos de MI, GA, CJ, CS, AP, CE, AN, AE, SPDE, SPDG e SPDT, pois não tiveram aderência entre si, bem como do tratamento de GA e CJ. Ademais, comparando-se o antes e depois da implantação da cultura do milho, passou-se a observar que houve diferença significativa para os tratamentos de FG, MP, AB, CE, AN, AT, AE, SPDE e SPDG.

Nesse sentido, ocorreu a melhoria dos parâmetros físicos do solo por meio dos benefícios acarretados pelas plantas de cobertura, bem como pelos diferentes sistemas de manejo, como comentado anteriormente.

As médias das três camadas avaliadas estão acima de 50%, valor este

considerado ideal para Latossolos, segundo Lima, Pilon e Lima (2007). Afirmação esta que corrobora com os resultados encontrados por Andrade e Stone (2009) quanto os autores relataram que um solo deve apresentar, no mínimo, 50% de porosidade total para desempenhar suas funções na física do solo.

Na Tabela 4, são apresentados os valores médios do volume de microporos do solo (Micro) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m antes (2018a) e após o cultivo das espécies de cobertura (2018d).

Tabela 11. Valores médios do volume de microporos (Micro) nas camadas de 0,0-0,1, 0,1-0,2 e de 0,2-0,3 m, antes (2018a) e depois (2018b) do cultivo do milho

Tratamentos	Micro (%)					
	0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2018 a	2018 d	2018 a	2018d	2018 a	2018d
MI	46,98bA	46,54aA	36,37	41,74	46,45	42,64
GA	48,74aA	48,19aA	38,54	40,10	42,00	42,80
CJ	41,33bB	51,36aA	39,95	40,58	40,86	42,62
FG	49,47aA	45,75aA	39,91	42,61	39,26	41,87
CS	48,34aA	46,11aA	40,71	43,83	40,19	41,46
MP	44,82bA	46,87aA	40,85	42,07	44,60	45,71
AB	42,32bA	44,99aA	43,49	41,84	46,06	50,11
AP	48,13aA	46,64aA	40,84	41,61	44,24	42,41
CE	43,34bA	47,31aA	38,04	39,86	41,15	43,66
NA	46,05aA	46,96aA	38,52	41,56	40,25	43,14
AT	44,23bA	46,79aA	41,83	42,94	42,61	49,16
AE	46,39aA	44,44aA	39,94	47,21	39,81	41,55
SPDE	42,10bA	43,04aA	43,41	46,52	46,77	46,71
SPDG	46,44aA	44,79aA	42,30	41,60	43,21	43,96
SPDT	44,07bA	43,07aA	37,15	41,08	39,36	40,69
Média de a-d	45,52	46,19	40,12	42,34	42,45	43,90
CV (%)	6,23		7,51		6,51	
Médias	45,88		41,23		43,18	
F ano	0,2404**		0,0002*		0,0060*	
F parcela	0,0048*		0,0026*		0,0000*	
F ano*parcela	0,0019*		0,3952**		0,1540**	

MI: milho; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; AB: aveia branca; AP: aveia preta; CE: centeio; AN: aveia preta + nabo; AT: aveia preta + tremoço branco; AE: aveia preta + ervilha; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha). Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância, *significativo a 5% de probabilidade perante o teste F, **não significativo a 5% de probabilidade perante o teste F.

Constatou-se a pertinência dos microporos (Micro) na camada de 0-0,1 m, antes da implantação do cultivo de milho, considerando os tratamentos de GA, FG, CS, AP, AN, AE, SPDG se comparados aos tratamentos de MI, CJ, MP, AB, CE, AT, SPDE e SPDT. Assim, no período depois da colheita do milho não houve diferença significativa entre os tratamentos. Comparando-se o antes e depois da implantação

da cultura do milho, percebe-se que só existiu diferença significativa para o tratamento de CJ.

Na camada de 0,1-0,2m e de 0,2-0,3m não ocorreu interação entre os tratamentos, porém houve acréscimo do valor médio se comparado ante e após a colheita da cultura do milho, o que pode ser justificado pelo tempo para que ocorra a degradação das raízes das plantas antecessoras na formação dos bioporos.

Pode-se observar quanto ao volume de microporos que eles têm demonstrado um maior valor na camada superficial de 0,0-0,1 m que na camada de 0,2-0,3 m, por conta do maior tráfego de máquinas nessa camada.

Os valores de microporos ficaram acima do recomendado e próximos dos encontrados por Silveira (2018), valores médios de 45,98 e 46,37% para a camada 0,0 – 0,1 m, 41,99 e 43,83% para a camada de 0,1 – 0,2 m e 43,87 e 47,26% para a camada de 0,2 – 0,3 m. Observa-se que, nesse caso, nenhuma das camadas está abaixo do valor considerado crítico pelo pesquisador.

Para Sanchez (2012), o ideal para as camadas amostradas é que a quantidade de microporos fique em torno de 40 a 43%. No estudo proposto, foram observados valores acima dos considerados como críticos.

Na Tabela 5, são apresentados os valores médios do volume de macroporos do solo (Macro) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m antes (2018a) e após o cultivo das espécies de cobertura (2018d).

Tabela 12. Valores médios do volume de macroporos (Macro) nas camadas de 0,0-0,1, 0,1-0,2 e de 0,2-0,3 m, antes (2018a) e depois (2018b) do cultivo do milho

Tratamentos	Macro (%)					
	0-0,1 m		0,1-0,2 m		0,2-0,3 m	
	2018 a	2018 d	2018 a	2018 d	2018 a	2018 d
MI	14,77aA	13,76aA	22,65aA	17,04aB	16,73	17,61
GA	14,79aA	16,17aA	16,31cA	16,91aA	16,33	15,64
CJ	16,56aA	11,46aB	16,82cA	15,44aA	17,65	14,85
FG	11,26bB	17,39aA	15,90cA	14,58aA	20,15	20,60
CS	12,85bA	15,78aA	14,46cA	17,34aA	17,95	19,47
MP	12,74bB	16,67aA	13,90cB	18,10aA	15,45	18,20
AB	16,30aA	15,65aA	14,43cA	17,19aA	15,94	16,03
AP	13,03bA	14,52aA	16,20cA	17,32aA	15,30	18,25
CE	18,08aA	15,67aA	18,65bA	17,96aA	16,14	16,69
NA	15,85aA	15,06aA	18,03bA	17,82aA	16,49	18,06
AT	13,04bA	14,31aA	13,24cA	16,84aA	15,07	14,20
AE	12,74bB	17,31aA	14,49cA	15,29aA	15,79	18,24
SPDE	12,73bB	18,25aA	14,16cA	15,03aA	12,01	16,71
SPDG	13,49bA	12,95aA	13,51cA	16,02aA	14,55	17,67
SPDT	15,15aA	15,68aA	18,13bA	15,92aA	17,57	18,41
Média de a-d	14,23	15,37	16,06	16,59	16,21	17,37
CV (%)	18,17		15,83		12,99	
Médias	14,79		16,32		16,79	
F ano	0,0182*		0,2662**		0,0042*	
F parcela	0,4058**		0,0032*		0,0001*	
F ano*parcela	0,0032*		0,0287*		0,1331**	

MI: milheto; GA: guandu anão; CJ: crotalaria juncea; FG: feijão guandu; CS: crotalaria spectabilis; MP: mucuna preta; AB: aveia branca; AP: aveia preta; CE: centeio; AN: aveia preta + nabo; AT: aveia preta + tremoço branco; AE: aveia preta + ervilha; SPDE: sistema de plantio direto escarificado; SPDG: sistema de plantio direto com gesso; SPDT: sistema de plantio direto tradicional (testemunha). Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância, *significativo a 5% de probabilidade perante o teste F, **não significativo a 5% de probabilidade perante o teste F.

Quanto aos macroporos (Macro) vistos no período antes da implantação do cultivo de milho, só houve uma diferença significativa para os tratamentos de MI, GA, CJ, AB, CE, AN e SPDT. Ademais, a comparação depois da cultura do milho evidenciou que não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos. Por outro lado, no caso do antes e depois da implantação da cultura do milho, ocorreu uma diferença significativa para os tratamentos de FG, MP, AE e SPDE.

Nas camadas de 0,1-0,2 m e de 0,2-0,3 m, foi possível observar por meio do f da interação que não existiu a interação entre os tratamentos. Quanto à média geral para cada período, foi oportuno constatar que ocorreu acréscimo dos valores, o que resulta melhorias ocasionadas pelos diferentes sistemas de manejo.

No caso dos macroporos, eles apresentam acréscimo de acordo com o aprofundamento das camadas, bem como a melhoria entre o período de safra se

deve aos bioporos deixados pelas plantas de cobertura utilizados pela cultura subsequente.

Todos os valores estão acima dos considerados críticos. Com isso, segundo Prevedello (1996), Suzuki (2005) e Jong Van Lier (2010), o valor crítico de macroporos para o desenvolvimento dos cultivos agrícolas está em torno de 10% e que valores inferiores causam redução na produtividade das culturas.

Os valores referentes ao rendimento de grãos, número de plantas e peso de 100 grãos de milho são apresentados na Tabela 6.

Tabela 13. Rendimento dos grãos de milho nos tratamentos envolvendo sistemas de manejo e espécies de cobertura

Tratamento	Rendimento dos grãos (kg ha ⁻¹)
Milheto (MI)	68245a
Guandú anão (GA)	6467a
Crotalária juncea (CJ)	6365a
Feijão guandú (FG)	6160a
Crotalária spectabilis (CS)	6295a
Mucuna preta (MP)	5791b
Aveia branca (AB)	6952a
Aveia preta (AP)	5620b
Centeio (CE)	6485a
Aveia preta+Nabo (AN)	6421a
Aveia preta+Tremoço branco (AT)	6392a
Aveia preta+Ervilhaca (AE)	5447b
SPD escarificado (SPDE)	6689a
SPD com gesso (SPDG)	6749a
SPDT (testemunha)	6487a
Média geral	6343,02
CV (%)	6,44
DMS	1228,69

Médias de tratamentos seguidas pelas mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.

A Tabela 6 evidencia que existiram diferenças significativas entre o rendimento de grão da cultura do milho para os tratamentos de MI, GA, CJ, FG, CS, AB, CE, AN, AT SPDE, SPDG e SPDT, se comparados aos tratamentos de MP, AP e AE. O cultivo de plantas de cobertura é uma estratégia que também contribui com a qualidade da estrutura do solo, assim como os seus reflexos demonstrados no rendimento de grão, que pode ter ocorrido por conta da ação do sistema radicular e

do incremento de matéria orgânica e palhada depositada sobre a superfície do solo (PALADINI; MIELNICZUK, 1991; ALBUQUERQUE et al., 1995).

A utilização de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase no momento, principalmente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações no rendimento das culturas (ARGENTON et al., 2005).

O solo é considerado compactado quando a proporção de macroporos em relação à porosidade total é inadequada para o eficiente desenvolvimento da planta, sendo o solo ideal aquele que tem a porosidade total de 50%, cerca de 17% de macroporos ocupados pelo ar do solo, e de 33% de microporos responsáveis pela retenção de água (ASSIS et al., 2009).

A rotação de culturas tem sido destacada por promover vantagens às condições físicas, químicas e biológicas do solo, como proteção contra erosão, maior espaço poroso e taxa de infiltração de água e aumento da capacidade de retenção de água, incremento da capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis em camadas mais profundas do solo. Além de propiciar maior aproveitamento de adubos químicos e redução nos custos com adubação mineral, uma vez que promove aumento da atividade biológica do solo, promovendo o controle de plantas daninhas e dos patógenos das plantas cultivadas (CARVALHO et al., 2007).

5. CONCLUSÕES

Os tratamentos de crotalaria spectabilis, mucuna preta, aveia branca e aveia preta+tremoço branco foram os que proporcionaram melhorias na estrutura do solo.

Quanto ao rendimento de grão da cultura do milho, os tratamentos de milheto, guandú anão, crotalaria júncea, feijão guandú, crotalaria spectabilis, aveia branca, centeio, aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + tremoço branco, sistema de plantio direto escarificado, sistema de plantio direto com gesso e sistema de plantio direto tradicional foram os que proporcionaram maior rendimento de grãos em relação aos demais tratamentos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 115-119, 1995.

ÁLVAREZ, C. R.; DUGGAN, M. T.; CHAMORRO, E. R.; D'AMBROSIO, D.; TABOADA, M. A. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. **Ciencia del Suelo**, v. 27, p. 159-169, 2009.

ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; BALDO, G. R.; PICCOLLA, C. D.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A. Physical properties of a Humic Cambisol under tillage and cropping systems after 12 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 219-226, 2010.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F. E ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 677-687, 2009.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J. E LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, A.; BAYER, C.; WILDNER, L. R. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p.425-435, 2005.

ASSIS, R. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LAZARINI, G. D. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, 2009.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN-JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

BORGES, T. K. S; MONTENEGRO, A. A. A; SANTOS, T. E. M; SILVA, D. D; JUNIOR, V. P. S. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1862-1873, 2014.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Surface lime application and black oat cover preceding corn and soybean crops under a no-till system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A; WILDNER, L. P.; COSTA, M. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. **Adubação verde no Sul do Brasil**. Rio de Janeiro, 2ª edição, p. 346, 1993.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARVALHO, A. M; BRUSTAMANTE, M. M. C; ALCÂNTARA, F. A; RESCH, I. S; LEMOS, S. S. Characterization by solid-state CP/MAS 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.; ALVES, M. C.; ARF, O.; SÁ, M. E.; SORATTO, R. P. Plantas de cobertura, sucessão de culturas e manejo do solo em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, 2007.

CARVALHO, S. R. L. de; REZENDE, J. O.; FERNANDES, J. C.; PEREIRA, A. P. **Caracterização e avaliação de leguminosas e gramíneas com alto poder relativo de penetração de raízes em solo coeso dos tabuleiros costeiros do recôncavo baiano** - ETAPA I. Magistra, Cruz das Almas, v. 14, n. 1, 2002.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira**, v.5-safra 2017/2018-n.6. sexto levantamento, março 2018.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1207-1216, 2011.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. 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.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 603-612, 2010.

DORAN, J. W. E PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F. e Stewart, B.A. (Eds.) - Defining soil quality for sustainable environment. **Soil Science Society of America**, Madison. p.3-21, 1994.

ENGEL, F. L.; BERTOL, I.; RITTER, S. R.; PAZ GONZÁLEZ, A.; PAZ-FERREIRO, J.; VIDAL VÁZQUEZ, E. Soil erosion under simulated rainfall in relation to

phenological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 216-221, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 1997.

FERREIRA, D. F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

FAGEIRA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, n. 2, p.825-831, 2001.

FOIS, D. A. F.; LANA, M. C.; ALVAREZ, J. W. R.; FRANDOLOSO, J.; VERA, L. R. Q.; TIECHER, T. Response of soybean to grains in no-till system no Paraguai. **Revista Ceres**, v. 65, n. 5, p 450-462, 2018.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. C.; MOURA, T. P. A.; MENEZES, A. R.; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1457-1465, set. 2016.

FONTOURA, S. M.; BAYER, C.; VIEIRA, R. C.; MORAES, R. P. Calcário e gesso. Efeito na produtividade de culturas e na melhoria química do solo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. Guarapuava, **Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária**. p. 34, 2012.

GUBIANI, P. I.; GOULART, R. Z.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Crescimento e produção de milho associados com o intervalo hídrico ótimo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1502-1511, 2013.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 4., 2001, Aracaju. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.19-46, 2001.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

JIN, H.; HONGWEN, L.; XIAOYAN, W.; McHUGH, A. D.; WENYING, L.; HUANWEN, G.; KUHN, N. J. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. **Soil and Tillage Research**, v.94, p.493-502, 2007.

JONG VAN LIER, Q. de. Física do Solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2010. 298 p.

LIMA, C. A; MONTENEGRO, A. A. A; SANTOS, T. E. M; ANDRADE, E. M; MONTEIRO, A. L. M. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 697-706, 2015

LIMA, C. L. R; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R. **Qualidade física do solo: indicadores quantitativos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 25p (Documentos, 196).

MELO FILHO, J. F. de; CARVALHO, L. L. de; SILVEIRA, D. de C.; SACRAMENTO, J. A. A. do S.; SILVEIRA, E.C.P. Índice de qualidade em um Latossolo Amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, p.1168-1177, 2009.

MONTENEGRO, A. A. A; ABRANTES, J. R. C. B; LIMA, J. L. M. P; SINGH, V. P; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109 p. 139-149, 2013.

NAGAHAMA, H. J.; GRANJA, G, P.; CORTES, J. W.; RAMOS, R. L.; ARCOVERDE, S. N. S. Effects of the mechanical chiseling in the soil physical and agronomical attributes in an elephant grass crop. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p, 741-746, 2016

NASCIMENTO, J. T., SILVA, I. F., SANTIAGO, R. S. AND NETO, L. F. S. Efeito de

leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.825-831, 2005.

NEIS L.; PAULINO, H. B.; DE SOUZA, E. M.; DOS REIS, O. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

NUNES, M. R.; PAULETTO, E. A.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S.; SCHEUNEMANN, T. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 531-539, 2014.

OLIVEIRA, J. R; PINTO, M. F; SOUZA, W. J; GUERRA, J. G. M; CARVALHO, D. F. Erosão hídrica em um argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 140-147, 2010.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 135-140, 1991.

PORTUGAL, J. R; ARF, O; PERES, A. R; GITTI, D. C; GARCIA, N. F. S. 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.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, Saeafs, p.446, 1996

PRIMO, J. T. A.; SILVA, T. G. F.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S.B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 1, p. 20-29, fev. 2015.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos

químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 35, p. 687-1698, 2011.

RASSE, D. P.; SMUCKER, A. J. M.; SANTOS, D. Alfalfa root and shoot mulching effects on soil hydraulic properties and aggregation. **Soil Science Society of America**. Am. J. v. 64, p. 725-731, 2000.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, p. 242-254, 2009.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. V; SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade física dos solos**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 16., Aracaju, 2006. Palestras. Aracaju, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

RIBEIRO, L. S.; OLIVEIRA, I. R.; DANTAS, J. S.; SILVA, C. V.; SILVA, G. B.; AZEVEDO, J. R.; Spatial variability of physical attributes of a cohesive soil under conventional and no-tillage management systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, 2016.

ROSA, H. A. **Potencial estruturante de espécies de cobertura em um latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE, Cascavel, 2013, p.21.

SALDANHA, E. C; CÉSAR, E.; TAVARES DA ROCHA, A.; ALMEIDA DE OLIVEIRA, E.; NASCIMENTO, W. C.; FREIRE, F. J. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana de açúcar. **Revista Caatinga**, v. 20, p. 36-42, 2007.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 2012. 59. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

SANTOS, I. L.; CAIXETA, C. F.; SOUSA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M. 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.

SCHJONNING, P.; HECKRATH, G.; CHRISTENSEN, B. T. Threats to soil quality in Denmark: a review of existing knowledge in the context of the EU Soil Thematic Strategy. Tjele: Aarhus University, Faculty of Agricultural Sciences, 2009. 121p. DJF **Report Plant Science**, 143.

SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M.; FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:973- 983, 2003.

SILVA, V. A.; MOREAU, M. S.; MOREAU, A. M. S. S.; REGO, N. A. C. Uso da terra e perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Colônia, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 310-315, mar. 2011.

SILVEIRA, L. **Implicações de plantas de cobertura e de doses de nitrogênio no rendimento de grãos da soja**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE, Cascavel, 2018.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A.; MELLO, F. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, v. 69, p. 965-974, 2010.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado. **Planaltina: Embrapa Cerrados**. Circular Técnica, 32, p.19, 2005.

SOUZA, M. A. S.; FAQUIN, V.; GUELFY, D. R.; OLIVEIRA, G. C.; BASTOS, C. L. A. Acúmulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo prévio do capim-

marandu, correção e compactação do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 611-622, 2012.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 32, p19, 2005.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um neossolo quartzarênico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

SUZUKI, L. E. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 146f. Tese (Doutorado em ciência do solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

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.

TIM CHAMEN, W. C.; MOXEY, A. P.; TOWERS, W.; BALANA, B.; HALLETT, P. D. Mitigating arable soil compaction: a review and analysis of available cost and benefit data. **Soil and Tillage Research**, v.146, p.10-25, 2015.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33:141-163, 1982.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 309-316, 2010.

VIEIRA, J. M.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.623-632,

2012.

VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; SIQUEIRA, G. M.; DUFRAC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v. 70, p. 185-195, 2011.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 891-900, 2004.

ZAMBROSI, F. C. B; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117, 2007.

ZANDONÁ, R. R; BEUTLER, A. N; BURG, G. M; BARRETO, C. F; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

ZOTARELLI, L; ZATORRE, N. P; BODDEY, R. M; URQUIAGA, S; JANTALIA, C. P; FRANCHINI, J. C; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185-195, 2012.

CAPÍTULO II

IMPACTO DO USO DE ESPÉCIES DE COBERTURA NA ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO ARGILOSO E SEUS REFLEXOS NA PERDA DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES

VILLA, Bruna de. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Janeiro de 2020. **Impacto do uso de espécies de cobertura na estrutura de um Latossolo Argiloso e seus reflexos na perda de água, solo e nutrientes.** Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco. Coorientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Zanão Junior.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a perda de água, solo e nutrientes do solo durante o ciclo da cultura do milho. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado de modo que as repetições foram a quantidade de chuva em cada intervalo de precipitação, tendo por intervalo a baixa precipitação de 0-20 mm/dia, média precipitação de 20-40 mm/dia e alta precipitação de 40-60 mm/dia. As parcelas experimentais eram de 20x16 m., sendo que os dados foram rodados como DIC, comparando a diferença entre os tratamentos para cada uma das faixas de precipitação. Os tratamentos foram constituídos por três parcelas envolvendo sistemas de manejo: sistema plantio direto tradicional (testemunha), sistema plantio direto escarificado e sistema plantio direto gessado e outras doze parcelas envolvendo o cultivo de espécies de cobertura vegetal, sendo seis espécies de verão: milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), guandú anão (*Cajanus cajan*), crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), feijão guandú (*Cajanus Cajan*), mucuna preta (*Mucuna Pruriens*) e outras seis parcelas com espécies de cobertura vegetal de inverno: aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*), ervilhaca forrageira + aveia preta (*Pisum sativum* var. *arvense* + *Avena strigosa*), tremoço branco + aveia preta (*Lupinus albus* + *Avena strigosa*), nabo forrageiro + aveia preta (*Brassica rapa* L.+ *Avena strigosa*). O experimento foi conduzido de março a agosto de 2018. Foram coletadas amostras para quantificar a perda de solo, água e nutrientes. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Skott Knott a 5% significância.

Os tratamentos que propiciaram menores perdas de água para a faixa de alta precipitação foram: milheto, crotalária júncea, mucuna preta, aveia branca, aveia preta e plantio direto escarificado. Quanto à perda de solo na faixa de alta precipitação os tratamentos que propiciaram as menores perdas foram: milheto, crotalária juncea, guandú anão, crotalária spectabilis, feijão guandú, aveia branca, aveia preta, centeio, nabo forrageiro + aveia preta e sistema plantio direto escarificado. Para a perda de cálcio na alta precipitação, os tratamentos que apresentaram as menores perdas foram: milheto, guandu anão, crotalaria juncea, feijão guandu, crotalaria spectabilis, aveia branca, aveia preta; centeio, aveia preta + nabo, aveia preta + tremoço branco, sistema de plantio direto escarificado, sistema de plantio direto com gesso. Referente à perda de magnésio, para as altas precipitação os tratamentos que apresentaram as menores perdas foram: centeio, milheto, guandu anão, crotalaria juncea, feijão guandu, crotalaria spectabilis, aveia branca, centeio, aveia preta + nabo, aveia preta + tremoço branco e sistema de plantio direto escarificado.

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

PALAVRAS-CHAVE: precipitação, cobertura vegetal, práticas conservacionistas.

VILLA, Bruna de. State University of West Paraná. January of 2020. **Impact of the use of cover species on the structure of an Oxisols and its reflexes on the loss of water, soil and nutrients.** Adviser: Dr. Deonir Secco. Co-adviser: Prof. Dr. Luiz Antônio Zanão Junior.

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the loss of water, soil and soil nutrients during the corn crop cycle. The experimental design used was completely randomized so that the repetitions were the amount of rain in each precipitation interval, with a low precipitation of 0-20 mm / day, medium precipitation of 20-40 mm / day and high rainfall of the interval. 40-60 mm / day. The experimental plots were 20x16 m., In which the data were rotated as DIC, comparing the difference between treatments for each of the precipitation ranges. The treatments consisted of three plots involving management systems: traditional no-tillage system (control), scarified no-tillage system and plastered no-tillage system and twelve other plots involving the cultivation of vegetation cover species, with six species with summer vegetation cover: pearl millet (*Pennisetum americanum*), crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*), dwarf pigeon (*Cajanus cajan*), crotalaria spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), guandú bean (*Cajanus Cajan*), black mucuna (*Mucuna Pruriens*) and other six plots with winter vegetation cover species: (*Avena sativa*), black oats (*Avena strigosa*), rye (*Secale cereale*), forage vetch + black oats (*Pisum sativum* var. *arvense* + *Avena strigosa*), white lupine + black oats (*Lupinus albus* + *Avena strigosa*), forage turnip + black oats (*Brassica rapa* L. + *Avena strigosa*). The experiment was conducted from March to August 2018. Where samples were collected to quantify the loss of soil, water and nutrients. The treatment means were compared by the Skott Knott test at 5% significance. The treatments that provided less water losses for the high precipitation range were: millet, crotalaria juncea, black mucuna, white oats, black oats and scarified no-till. As for soil loss in the high precipitation range, the treatments that provided the lowest losses were: millet, crotalaria juncea, guandú bean, crotalaria spectabilis, pigeonpea, white oats, black oats, rye, turnip + black oats and no-till system scarified. For the loss of calcium in high precipitation, the treatments that showed the lowest losses were: millet, dwarf pigeon pea, crotalaria juncea, dwarf pigeon, crotalaria spectabilis, dwarf pigeon, black oats; rye, black oats + turnip, black oats + white lupine, scarified no-till system, no-till system with plaster. Regarding magnesium loss, for the highest precipitation the treatments that presented the lowest losses were: rye, millet, dwarf pigeon, crotalaria juncea, guandú bean, crotalaria spectabilis, white oats, rye, black oats + turnip, black oats + white lupine and scarified no-till system.

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

KEYWORDS: precipitation, vegetation cover, conservation practices.

1. INTRODUÇÃO

As perdas de solo por escoamento superficial dependem de vários fatores como a precipitação, topografia, cobertura vegetal e das práticas conservacionistas que são utilizadas nos sistemas de produção (GUADAGNIN et al., 2005).

Com a perda de água e solo, ocorre a perda de nutrientes, pois um dos principais impactos é o causado pelo fósforo (P) que, apesar de se encontrar em pequena quantidade na maioria dos solos brasileiros, é considerado o elemento-chave para ocorrência de eutrofização das águas (BERTOL et al., 2011).

No caso do potássio (K) perdido por erosão hídrica, seu conhecimento é importante para se saber quais os impactos causados pelo empobrecimento do solo no local de origem da erosão (BERTOL et al., 2004b).

Entre esses fatores, a cobertura vegetal e as práticas conservacionistas que visam a não erosão, não compactação e aumento de matéria orgânica no solo podem ser aperfeiçoados de forma a contribuir com a redução da erosão hídrica em sistemas agrícolas (ZOLIN et al., 2016).

A cobertura vegetal exerce desta forma importante papel na cobertura do solo, ao reduzir o impacto das gotas da chuva, por ocorrer uma dissipação da gota antes do momento de ela chegar ao solo (MARTINS et al., 2003; CÂNDIDO et al., 2014). Além disso, o incremento de matéria orgânica do solo e o sistema radicular contribuem com a melhoria de atributos físicos do solo, relacionados à infiltração de água e à agregação e, conseqüentemente, contribuem com a redução da erodibilidade do solo (WOHLENBERG et al., 2004; CONTE, 2011).

A cobertura morta, por ser uma prática que reduz os danos causados pela ação erosiva das gotas de chuva, proporciona o aumento da umidade do solo, redução do escoamento, erosão hídrica e controle da temperatura do solo por conta da presença da matéria orgânica depositada pelo solo, bem como pelo dossel vegetativo da cultura (JORDÁN et al., 2010; MONTENEGRO et al., 2013).

De modo que Latossolos argilosos sob sistema plantio direto (SPD) normalmente apresentam camadas mais adensadas em subsuperfície do solo que são causados pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas, vale frisar que as erosões são mais evidentes em períodos de excesso de chuvas, considerando a limitação da infiltração de água ocasionada pela camada compactada nos Latossolos com o selamento superficial por meio da ausência de

cobertura sobre ele (LIMA et al., 2015).

Sendo assim, torna-se necessário implementar práticas conservacionistas que promovam benefícios quanto às condições de infiltração de água no solo, por meio de rotação de culturas com espécies denominadas “recuperadoras” de estrutura que deixam, no perfil do solo, bioporos estáveis que favorecem a infiltração e retenção de água, trocas gasosas e controle da temperatura (FOLONI et al., 2006).

A pesquisa é relevante para o conhecimento das práticas de uso e manejo do Latossolo do Oeste do Paraná sob sistema plantio direto, contribuindo com a estrutura do solo e conseqüente redução das perdas de água, solo e nutrientes.

Para determinar quais foram os fatores e/ou atributos do solo que mais contribuem ou explicam as perdas de água, solo e nutrientes em um Latossolo argiloso sob sistema plantio direto de uso e manejo no Oeste do Paraná, este trabalho teve como hipóteses que um sistema de manejo do solo de qualidade contribui com a redução das perdas de água, solo e nutrientes em um Latossolo argiloso sob sistema plantio direto. Com o intuito de avaliar a perda de solo, água e nutrientes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PERDA DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES

O conhecimento sobre o processo de infiltração de água nos solos é relevante para avaliar parâmetros de drenagem e compreender sua relação com o desenvolvimento de processos erosivos (MATHIAS; LUPINACCI; MORUZZI, 2018).

Tais premissas são ainda reforçadas ao levar em conta terrenos com intensa remobilização dos perfis superficiais do solo, situação comum nas áreas que passam por algum tipo de obra (MATHIAS; LUPINACCI; MORUZZI, 2018).

Os processos erosivos e a perda do solo gerada por esses escoamentos são temas desafiadores no âmbito da engenharia e carecem investigações, bem como busquem avaliar a redução da erosão por meio de diferentes sistemas que acarretem o aumento da matéria orgânica e benefícios acerca da parte física do solo (SILVA et al., 2010; MACHADO et al., 2014; GARCÍA-RUIZ et al., 2015; DUAN; HUANG; ZHANG, 2016).

O sistema de plantio direto (SPD) favorece a concentração de nutrientes no solo, particularmente na superfície (CASSOL et al., 2002; SHARPLEY et al., 2001), pela mínima mobilização da camada superficial (ISMAIL et al., 1994). Por outro lado, nesse sistema, a perda de água, que é o veículo para o transporte dos nutrientes, permanece elevada (EGHBALL; GILLEY, 1999).

Um dos principais impactos é o causado pelo fósforo (P) que, apesar de se encontrar em pequena quantidade na maioria dos solos brasileiros, é considerado o elemento-chave para ocorrência de eutrofização das águas (BERTOL et al 2011). Para que isso ocorra, é necessário que esse elemento seja deslocado de seu ambiente natural, o solo, e chegue a um corpo d'água, o que normalmente se dá por meio do escoamento superficial (BARBOSA et al., 2009).

No caso do potássio (K) perdido por erosão hídrica, seu conhecimento é importante para saber quais são os impactos causados pelo empobrecimento do solo no local de origem da erosão (BERTOL et al., 2004b).

O aumento do volume e da velocidade de enxurrada, decorrente do decréscimo da taxa de infiltração, explica a elevação das perdas de solo (HESTER et al., 1997).

2.2 MANEJO DO SOLO

A qualidade da estrutura do solo é fundamental para o suprimento de água, nutrientes e oxigênio ao sistema radicular das culturas, além de proporcionar condições de resistência favoráveis ao crescimento radicular por meio da estabilidade dos agregados (TORMENA et al., 1999).

Contudo, com a ampla adoção do sistema plantio direto no Sul do Brasil tem como desafio atual a qualidade da estrutura do solo pela adoção de sistemas de rotação de culturas, são utilizados os benefícios advindos das plantas em termos de adição de resíduos culturais e de ação das raízes, seja no enredamento por raízes fasciculadas como na abertura de canais por raízes pivotantes (DA-SILVA et al., 2012).

Essas vantagens estruturais trazem pontos positivos tanto para o crescimento radicular, em razão da menor resistência mecânica do solo à penetração e crescimento das raízes e maior aeração, quanto pela melhoria da qualidade ambiental, por aumentar a taxa de infiltração de água e diminuir o escoamento superficial (DA-SILVA et al., 2012).

As alterações físicas das camadas do perfil do solo podem ocorrer pelo tráfego de máquinas agrícolas, por causa da tração aplicada à superfície e com o deslocamento do trator, o que produz deformações da estrutura do solo e, às vezes, promove o movimento das partículas que fazem a composição do solo (LEÃO; SOARES, 2000).

Por isso, as alterações físico-hídricas podem interferir negativamente na produtividade das culturas, especialmente em regiões nas quais são comuns a restrição e a má distribuição das chuvas. Os diferentes sistemas de manejo e plantas de cobertura dos solos têm a finalidade de reduzir essas restrições, propiciando condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas (PRANDO et al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado na estação experimental de Santa Tereza do Oeste no Instituto Agronômico do Iapar (IAPAR), em Cascavel-PR, com latitude 25°8' S, longitude de 53°58' W e altitude média de 607 metros, implantado no período de março a agosto de 2018.

O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é subtropical úmido, com precipitação média anual de 1840 mm (IAPAR, 1994). O relevo local é suavemente ondulado com declividade média de 3% no sentido sudoeste-nordeste, bem como 8% no sentido sudeste-noroeste em relação ao norte da geofigura.

As avaliações do estudo foram realizadas em áreas de ensaios experimentais do instituto, anteriormente utilizadas para cultivos agrícolas, no sistema de plantio direto há, pelo menos, 18 anos.

Antes da implantação do experimento, que tem por histórico 10 anos de acompanhamento, foram realizadas as análises químicas para caracterização inicial do solo, as quais estão na Tabela 1, no primeiro capítulo.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico (LVdf) (EMBRAPA, 2018) de textura argilosa (Tabela 2).

3.2. HISTÓRICO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

A área experimental foi constituída por 15 parcelas de 20 x 16 m. As informações referentes ao histórico da área experimental encontram-se na Tabela 3.

As plantas de cobertura, bem como as culturas comerciais implantadas ao longo do experimento, tiveram os espaçamentos previamente estabelecidos. Os sistemas de manejo e de semeadura das espécies estudadas pós-cultivos comerciais, assim como a densidade de sementes e espaçamento entre linhas são apresentados na Tabela 4.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, constituído a partir de quatro sistemas de manejo do solo: Sistema Plantio Direto Tradicional (SPDT), Sistema Plantio Direto Escarificado (SPDE), Sistema Plantio Direto Gessado (SPDG), e Sistema Plantio Direto com Qualidade (SPDQ). Os tratamentos

foram distribuídos aleatoriamente, em 15 parcelas de milho Híbrido 90XB06 Bt, dentre as quais doze tratamentos compõem o tratamento SPDQ.

Os doze tratamentos SPDQ são constituídos por culturas de cobertura de inverno e verão no período de entressafra das culturas comerciais. O sistema plantio direto tradicional (SPDT) foi utilizado como testemunha, visto que foram empregadas ações de uso e de manejo de cultivos normalmente utilizadas pelos produtores da região, que deixam a área em pousio pós-cultivo de verão. Para o sistema plantio direto escarificado (SPDE), foi realizada a escarificação da parcela a profundidade de até 0,30 m e, por fim, para o tratamento sistema plantio direto gessado (SPDG), foi realizado a aplicação de 3 t ha⁻¹ de gesso agrícola um mês após início do experimento.

Sendo assim, tem-se a distribuição dos tratamentos, sendo seis espécies de verão: milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), guandú anão (*Cajanus cajan*), crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*) feijão guandú (*Cajanus cajan*) e mucuna preta (*Mucuna Pruriens*), e outras seis parcelas com espécies de cobertura vegetal de inverno: aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*), ervilhaca forrageira + aveia preta (*Pisum sativum* var. *arvense* + *Avena strigosa*), tremoço branco + aveia preta (*Lupinus albus* + *Avena strigosa*), nabo forrageiro + aveia preta (*Brassica rapa* L.+ *Avena strigosa*) e os três sistemas de manejo.

Os tratamentos foram codificados para as análises das colunas como: T1: milheto, T2: guandu anão, T3: crotalaria juncea, T4: feijão guandu, T5: crotalaria spectabilis, T6: mucuna preta, T7: aveia branca, T8: aveia preta; T9: centeio, T10: aveia preta + nabo, T11: aveia preta + tremoço branco, T12: aveia preta + ervilha, T13: sistema de plantio direto escarificado, T14: sistema de plantio direto com gesso, T15: sistema de plantio direto tradicional (testemunha).

As declividades dos tratamentos foram medidas por meio do teodolito com a trena e régua, cuja medidas obtidas foram: T1: 2,63%, T2: 1,08%, T3:2,08%, T4: 4,33%, T5: 1,48%, T6: 1,02%, T7: 1,29%, T8: 3,58%, T9:0,89%, T10: 0,72%, T11: 2,02%, T12: 3,39%, T13: 5,09%, T14: 3,99%, T15: 5,41%.

3.3. AVALIAÇÃO CLIMATOLÓGICA

A precipitação pluvial acumulada no período de 24 horas foi obtida por meio de um pluviômetro instalado na área durante todo o ciclo da cultura do milho no período de 08/03/2018 28 e 29/08/2018, apresentado na Figura 4.

3.4. DETALHAMENTO DA CONDUÇÃO DAS CULTURAS ESTUDADAS

Em março de 2015 foi colhida a soja e realizada a semeadura das espécies de cobertura do ciclo de verão para os respectivos tratamentos. Já para os tratamentos de inverno, SPDE, SPDG e SPDT, foi semeada a cultura do Crambe. Para todos os tratamentos a quantidade de semente em kg ha⁻¹ foi corrigida segundo a taxa de germinação obtida previamente. A semeadura pós-cultivo da soja foi realizada sem nenhuma adubação para qualquer um dos tratamentos.

Os processos de manejo das culturas de cobertura, rolagem e dessecação ocorreram no estágio de pleno florescimento das culturas. Já para as culturas comerciais, foi aguardado o ciclo completo das culturas para realização das determinações analíticas. Em 17/08/2015 foi realizada a colheita do crambe. No final de 2015 e início de 2016, assim como no final de 2016 e início de 2017, foi novamente semeado e colhido a cultura da soja.

Posteriormente, no dia 09/02/2018, foi dessecada a área. No dia 08/03/2018, foi implantado milho em todas as 15 parcelas. Em seguida, no dia 14/03/2018, foi aplicado inseticida para vaquinha, bem como no dia 23/03/2018 ocorreu a aplicação de ureia no milho.

3.5. AVALIAÇÕES E DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

3.5.1. AVALIAÇÕES QUÍMICAS

Para caracterização inicial dos nutrientes contidos no solo, as amostragens ocorreram em triplicatas na camada de 0 a 0,05 m, 0,05 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 metros em cada estande experimental, ao final do ciclo das culturas comerciais. As determinações das características químicas do solo foram realizadas tendo por base a metodologia proposta por Pava et al. (1992), determinando-se: pH,

carbono (C), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e calculado os valores de: soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (Al). Todas foram realizadas no IAPAR.

As análises químicas foram obtidas no decorrer do experimento em 3 etapas. Em 2010, ocorreu a caracterização inicial, como pode ser observado na Tabela 1. Em 2015, após a utilização das plantas de cobertura, como pode ser observado na Tabela 5. Em 2019, após a colheita do milho, como pode ser observado na tabela 6.

3.5.2. AVALIAÇÕES DE PERDA DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES

Nas avaliações das perdas de água foram implantadas calhas coletoras de PVC confeccionadas no Laboratório de Máquinas Agrícolas (LAMA) e Laboratório de Física do solo (LAFIS), localizados na UNIOESTE, em parcelas de dimensões de 3X3 m, instaladas de forma permanente na área para monitoramento das perdas que ocorrem durante as chuvas naturais.



Figura 12 – Calhas confeccionadas, em que: a) marcação para o corte horizontal dos canos de 5 cm de diâmetro por 3 metros de comprimento para posterior corte; b) corte dos canos com a cerra fita, com os EPIs de segurança para a devida atividade; c) furo dos canos para posterior alojamento das mangueiras corrugadas 3/4" de diâmetro; d) colagem das tampas na calha com cola de silicone; e) inserção das mangueiras nas calhas com cola de silicone, permanecendo estagnadas até a secagem.

As calhas foram alocadas de acordo com a declividade da área, por meio do nível bolha, delimitadas a partir de separadores de grama que foram fixados com

estacas e pregos a uma profundidade em torno de 5 cm-10 cm, sendo que as calhas têm diâmetro de 10 cm deixando, então, uma altura de 5 cm para a recepção de chuva escoada por meio da precipitação. Para a instalação das calhas, foi cavada uma vala na profundidade adequada, de modo que a parte superior da calha ficasse retilínea ao nível do terreno. Para a fixação, foram utilizados ganchos de ferro, assim como a área em torno do ponto da calha foi adensada, de modo que não ocorreu escoamento lateral.

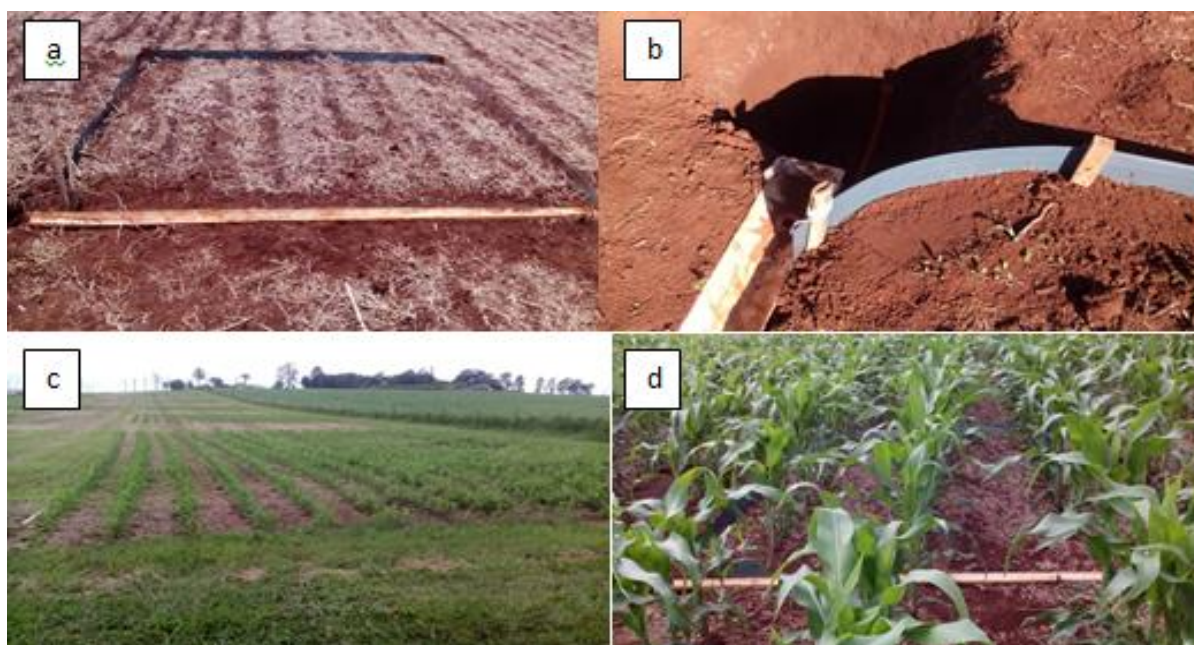


Figura 13 – a) Instalação das calhas coletoras com as demarcações estabelecidas pelo separador de grama em que a calha se encontra no mesmo nível do terreno, para posteriores coletas de solo e água; b) trincheira realizada para posterior colocação das bombonas, mostrando o detalhamento para que não ocorra escoamento lateral de forma a não ser contabilizado nas coletas; c) imagem da calha com o desenvolvimento do milho.

Com as calhas coletoras permanentes, foram instalados depósitos para a armazenagem da água que não infiltrou no solo, com capacidade de 25 L, sendo que na parte superior foram alocados em um nível inferior ao do terreno para que pudesse ocorrer o alojamento da água escoada. Do volume de enxurrada escoada, foram retiradas subamostras homogêneas para quantificar a perda de solo de cada precipitação. Com isso, o volume de água escoado após cada precipitação será determinado diretamente por meio de provetas graduadas com capacidade de 1 L e acondicionadas subamostras de 500 ml para fins analíticos.

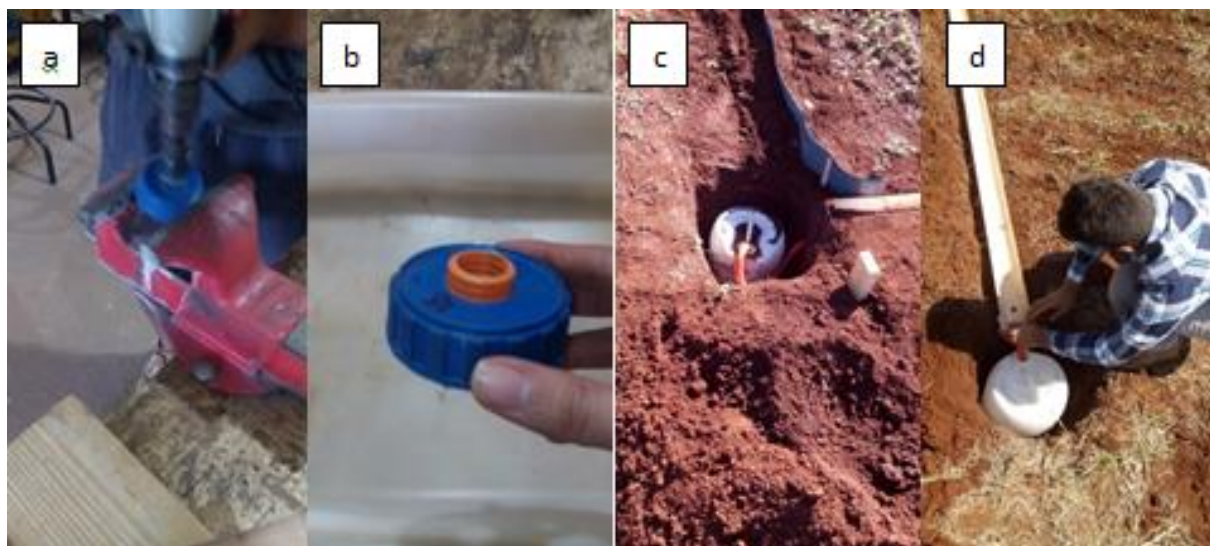


Figura 14 – a) furo das tampas das bombonas, feitos com cerra copo que mostra o fechamento das tampas na morsa de bancada; b) teste do diâmetro estabelecido com a instalação da mangueira 3/4” de diâmetro; c) recipiente para recolhimento das perdas de solo e água, estando inferior ao nível do terreno para que ocorra deposição da água e solo nos momentos de precipitação; d) teste realizado para se verificar o escoamento de água dentro da bombona, assim como se verifica se a mangueira, a tampa da bombona e a calha estão bem fixos e colados.

Para a quantificação da massa de solo que teve suas partículas arrastadas pela água, será retirada uma amostra representativa do volume da água com o solo escoado para o depósito. Por meio das amostras do volume de enxurrada coletadas no campo, serão extraídas subamostras de 50 ml e colocadas em latas previamente pesadas e enumeradas, de modo que fiquem na estufa por 24 horas para peso constante, sendo que, depois de acrescentado os 50 ml de amostra, sejam colocadas na estufa a 105°C por 48 horas para que, com isso, por meio da evaporação da água seja quantificada a quantidade de solo perdida por erosão, provocando a extrapolação da massa total de solo perdida a cada chuva.

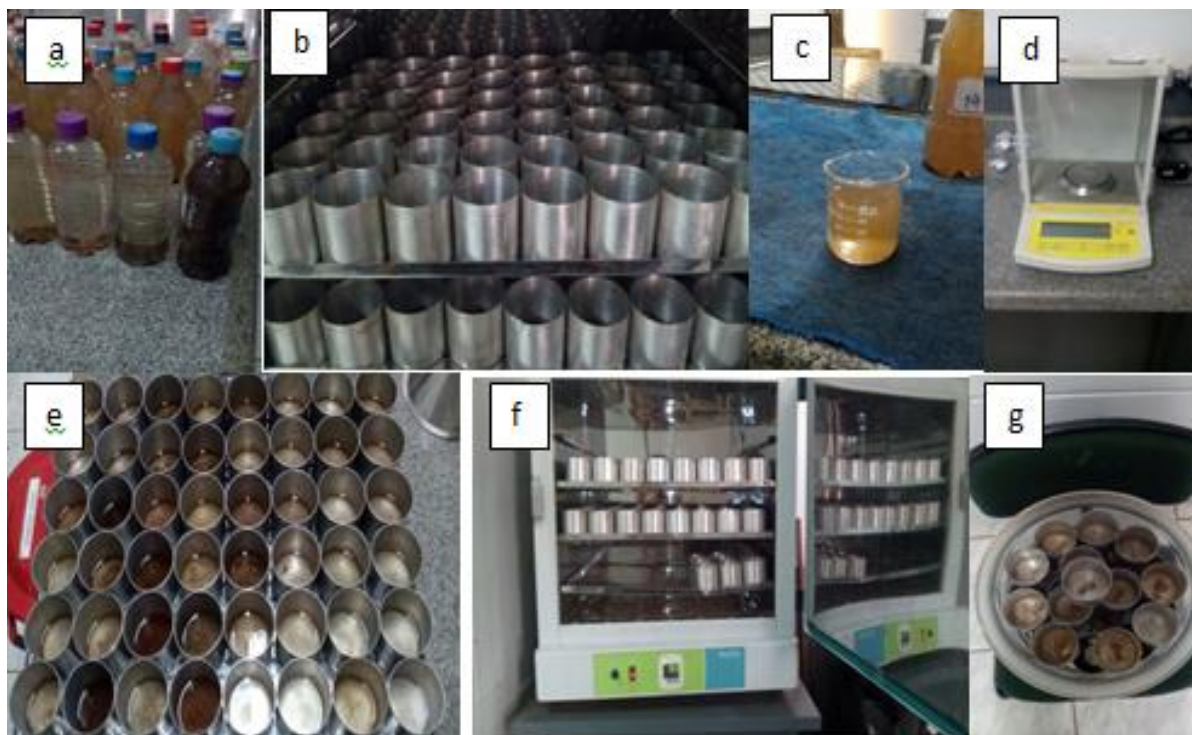


Figura 15 – a) acondicionamento da amostra coletada de perda de água e solo em garrafas de 500 ml; b) latas colocadas na estufa por 24 horas, para posterior deposição das amostras de 50 ml; c) marcação de 50 ml de cada amostra de 500 ml; d) pesagem da amostra; e) colocação das amostras de 50 ml nas latas pré-enumeradas e já pesadas; f) colocação na estufa por 48 horas das amostras; g) colocação das amostras após 48 horas no dessecador para posterior pesagem e quantificação da perda de solo.

Acerca da perda de nutrientes, as análises de cálcio e magnésio foram realizadas no laboratório de Saneamento Agroambiental, localizado na Unioeste-PR. Já as análises de fósforo e potássio foram desenvolvidas no IAPAR.



Figura 16 – a) amostras para a medição de fósforo e potássio; b) pipetagem de cada amostra para posterior leitura de cálcio e magnésio; c) deposição das amostras para a leitura de cálcio e magnésio.

3.5.3. COLETA DE PALHA

Para a coleta de palha, foram estabelecidos quadrados com a dimensão de 30 cm, com o intuito de coletar aleatoriamente na área a quantidade presente de

cobertura vegetal de 15 em 15 dias, em dois pontos por parcela colocados em recipientes pré-etiquetados para que, posteriormente, fossem levados para a estufa por 48 horas a 65° com circulação de ar forçada, com quantificação de massa seca, como apresentado na Tabela 7.

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste F para identificar as diferenças entre médias de tratamentos, pelo teste de Skott Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), por meio do SISVAR (FEREIRA, 2010). A análise utilizada no programa foi um DIC, visto que comparou os 15 tratamentos, perante cada faixa de precipitação acumulada, com a faixa de baixa: 0-20 mm dia⁻¹, média: 20-40mm dia⁻¹ e alta precipitação: 40-60mm dia⁻¹. As faixas de precipitação foram obtidas com a redução do maior e do menor valor, dividindo-os em três intervalos.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 17 a 22, são apresentados os valores médios de perda de água, solo e nutrientes para os três intervalos de precipitação.

Na Figura 17, quanto aos valores médios da perda de água, não existiu diferença significativa para as perdas, tanto para baixa quanto para a média precipitação.

O que pode ser justificado pelo fato de que, nessas faixas de precipitação, o solo foi capaz de reter a água de forma homogênea perante todos os tratamentos avaliados, o que indica as boas condições de manejo do solo. Pode ser identificado, no caso do tratamento T13, que não ocorreram diferenças quanto aos demais tratamentos.

A respeito das perdas de água, identificou-se que ocorreram de forma homogênea quando a área não apresenta diferença muito discrepante de declividade, com valores máximos em torno de 5%.

Com isso, foi possível constatar que, nos casos em voga, não ocorreu o entupimento das mangueiras coletoras, por perda de solo ou deposição de cobertura vegetal por arraste.

Os valores podem ser justificados também por meio da tabela de cobertura vegetal, sendo que, para a maioria dos períodos durante o acompanhamento da cultura do milho, não ocorreram diferenças acerca da palhada depositada na superfície do solo entre os tratamentos, o que também pode ser abordado pelos valores de carbono nas análises químicas, visto que os valores desse nutriente não diferiram entre os tratamentos avaliados.

Já para alta precipitação, observou-se que ocorreram diferenças entre os tratamentos de: T2 (12444,44 L ha⁻¹), T5 (11444,45 L ha⁻¹), T6 (20000,00 L ha⁻¹), T7 (12960,00 L ha⁻¹), T8 (16155,55 L ha⁻¹), T10 (11111,11 L ha⁻¹), T11 (11518,52 L ha⁻¹), T12 (15222,22 L ha⁻¹), T14 (20555,56 L ha⁻¹) e T15 (14111,11 L ha⁻¹). Todos apresentaram as maiores perdas se comparados aos tratamentos de T1 (5000,00 L ha⁻¹), T3 (5777,78 L ha⁻¹), T4 (8555,56 L ha⁻¹), T9 (3194,44 L ha⁻¹) e T13 (5138,89 L ha⁻¹). Os valores apresentaram diferenças quanto aos encontrados por Panachuki et al. (2011), pois as maiores perdas de água foram observadas nos tratamentos sob semeadura direta sem resíduo vegetal, que, no caso, seria o T13 (5138,89 L ha⁻¹). Assim, deve ter ocorrido dessa forma, possivelmente, por conta do ao baixo valor de

rugosidade da superfície e selamento do solo (PANACHUKI, 2008) promovidos pelo impacto das gotas de chuva que favoreceu o aumento do escoamento superficial.

Outro motivo que deve ter provocado as diferenças é o fato de que possa ter ocorrido o entupimento das mangueiras instaladas nas calhas coletoras, devido à perda de solo ser mais acentuada para períodos de maior intensidade de precipitação.

O que pode reforçar esse fato é a diferença entre as perdas de água perante as plantas de cobertura que, geralmente, acarreta a redução da erosão hídrica em sistemas conservacionistas, estando relacionadas à sua capacidade de amortecer o impacto da energia cinética das gotas de chuva e amenizar o escoamento superficial (MELLO et al., 2003).

Tais ocorrências podem se desencadeadas também em razão do possível entupimento das mangueiras e flutuação dos recipientes volumétricos de 25 L, por conta do enchimento da trincheira antes do momento de enchimento do recipiente volumétrico. Com isso, percebeu-se que a palhada depositada sobre o solo não apresentou diferença significativa, bem como não foi mantido um padrão entre as parcelas que apresentaram maiores perdas, isto é, não foram as que tiveram valores de declividade elevados, o que reforçam as evidências relatadas.

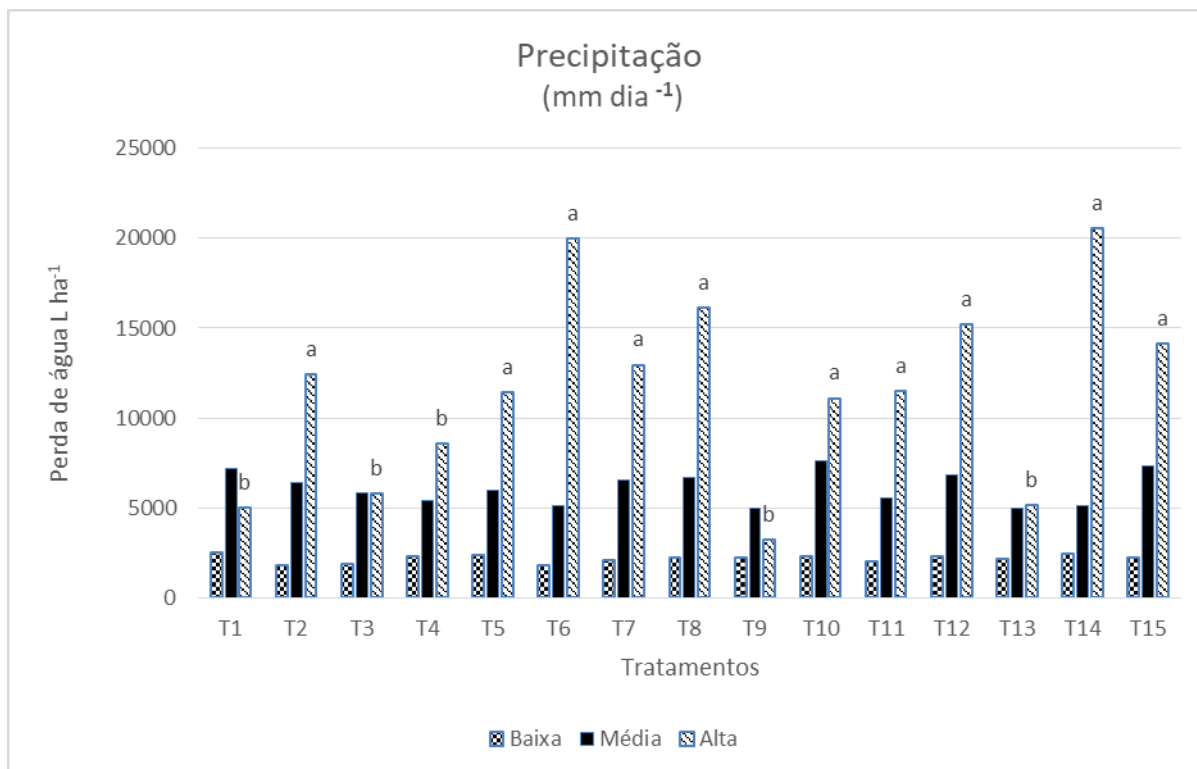


Figura 17. Valores médios da perda de água nos intervalos de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representados pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,9917, f média precipitação:0,6276, f alta precipitação: 0,0057.

Na Figura 18, observa-se que não houve diferença significativa para a perda de solo entre os tratamentos para baixa e média precipitação, o que se deve ao bom manejo do solo, assim como ao histórico da área, sendo evidenciado ainda por meio dos baixos valores de declividade do terreno.

Já para os valores de alta precipitação, foi possível notar que ocorreu uma diferença significativa entre os tratamentos, visto que T6 (16,67 kg ha⁻¹), T11 (13,19 kg ha⁻¹), T12 (13,19 kg ha⁻¹), T14 (13,70 kg ha⁻¹) e T15 (47,74 kg ha⁻¹) tiveram diferenças quanto aos tratamentos T1 (3,84 kg ha⁻¹), T12 (20,07 kg ha⁻¹), T3 (1,78 kg ha⁻¹), T4 (6,10 kg ha⁻¹), T5 (7,39 kg ha⁻¹), T7 (7,95 kg ha⁻¹), T8 (9,25 kg ha⁻¹), T9 (2,61 kg ha⁻¹), T10 (4,78 kg ha⁻¹). Isso pode ter acontecido ocorrido em razão das chuvas de alta precipitação terem acarretado, em alguns casos, os entupimentos das mangueiras instaladas nas calhas coletoras, bem como a flutuação dos recipientes volumétricos por meio da água contida na trincheira antes do momento de depósito da água pela recepção da calha coletora. Esse fato é reforçado por não ter acontecido uma perda de solo de acordo com a declividade do terreno.

Deve-se ter sido justificado também por conta do tratamento T13 (3,79 kg ha⁻¹

1) ter apresentado um dos menores valores de perda de solo que, no caso, é o SPDE por diferir dos valores encontrados por Panachuki et al., (2011). Os autores ressaltaram que as maiores perdas de solo foram observadas nos tratamentos sob semeadura direta sem resíduo vegetal, sendo que as perdas em solo descoberto e em tratamentos cobertos por diversas culturas foram verificadas também por Schaefer et al. (2001), Leite et al. (2004) e Bertol et al. (2006).

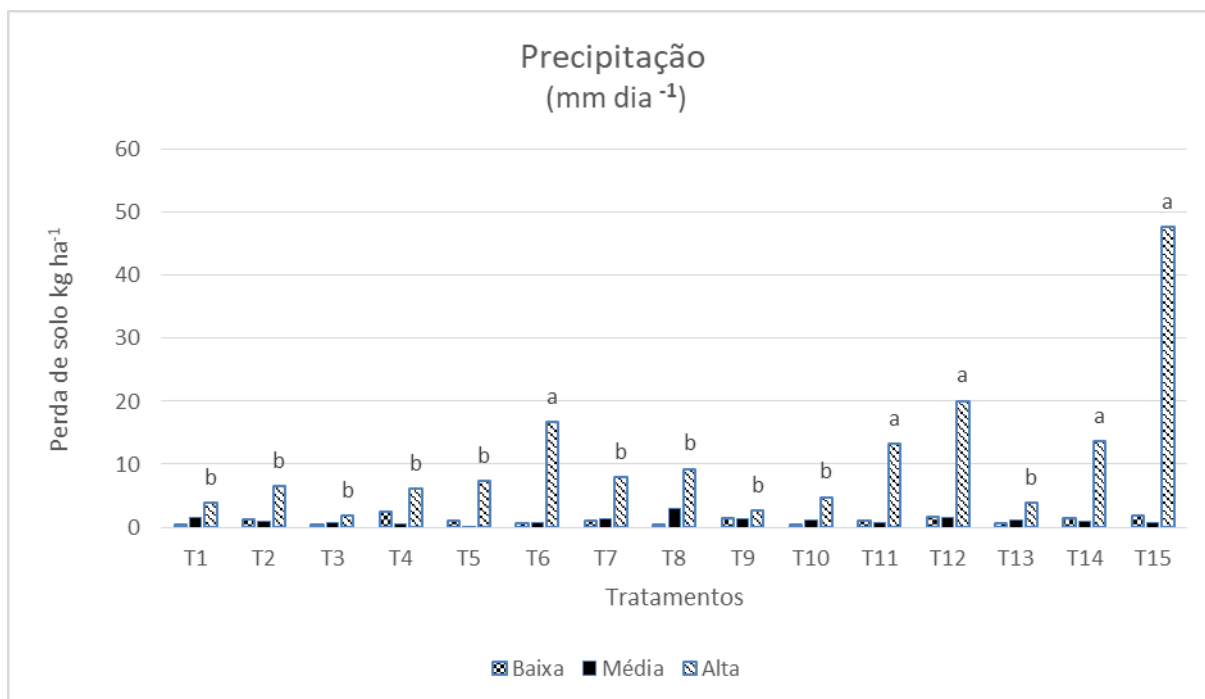


Figura 18. Valores médios da perda de solo no intervalo de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,5088, f média precipitação:0,4822, f alta precipitação:0,0334.

Pode-se observar na Figura 19, na faixa de baixa precipitação, que houve diferença significativa entre os tratamentos de T12 (0,020128 kg ha⁻¹) e T15 (0,015349 kg ha⁻¹) que foram diferentes dos tratamentos T1 (0,008348 kg ha⁻¹), T2 (0,006559 kg ha⁻¹), T3 (0,004678 kg ha⁻¹), T4 (0,006592 kg ha⁻¹), T5 (0,007486 kg ha⁻¹), T6 (0,007332 kg ha⁻¹), T7 (0,007838 kg ha⁻¹), T8 (0,007749 kg ha⁻¹), T9 (0,006952 kg ha⁻¹), T10 (0,007599 kg ha⁻¹), T11 (0,006895 kg ha⁻¹), T13 (0,005184 kg ha⁻¹) e T14 (0,007373 kg ha⁻¹). Com isso, observou-se que estão de acordo com os resultados obtidos por Carvalho et al. (2007), quando ressaltaram a concentração de nutrientes e carbono orgânico no sedimento de erosão. Comparando Ca (0,12-0,29 kg ha⁻¹) e Mg (0,01-0,06 kg ha⁻¹), a maior concentração foi observada para o Ca, em razão dos maiores teores deste nutriente no solo original. Destaca-se que as

parcelas apresentaram as maiores declividades com T12: 3,39%, T15: 5,41%. Assim, notou-se que, quanto à análise química, as parcelas que apresentaram a maior perda de cálcio foram as que tiveram menores valores de concentração desse nutriente na camada de 0-0,01 m do solo, como observado na Tabela 6, com valores de 5,16 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e 5,23 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente.

Na faixa de alta precipitação, constatou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos. Assim, T6 (0,145234 kg ha^{-1}), T12 (0,206984 kg ha^{-1}) e T15 (0,182922 kg ha^{-1}) tiveram diferenças quanto aos tratamentos de T1 (0,017054 kg ha^{-1}), T2 (0,064406 kg ha^{-1}), T3 (0,018332 kg ha^{-1}), T4 (0,032494 kg ha^{-1}), T5 (0,055488 kg ha^{-1}), T7 (0,050156 kg ha^{-1}), T8 (0,080334 kg ha^{-1}), T9 (0,012595 kg ha^{-1}), T10 (0,026684 kg ha^{-1}), T11 (0,103967 kg ha^{-1}), T13 (0,022258 kg ha^{-1}) e T14 (0,095336 kg ha^{-1}). Nesse sentido, os tratamentos T12 e T15 apresentaram as maiores perdas por conta de as parcelas terem destacado as mais elevadas declividades com: T12: 3,39%, T15: 5,41%. Assim, pode-se observar, quanto à análise química, que as parcelas que apresentaram a maior perda de magnésio foram as que tiveram menores valores de concentração desse nutriente na camada de 0-0,01 m do solo, como observado na Tabela 6, com valores de T12: 5,16 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e T15: $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente.

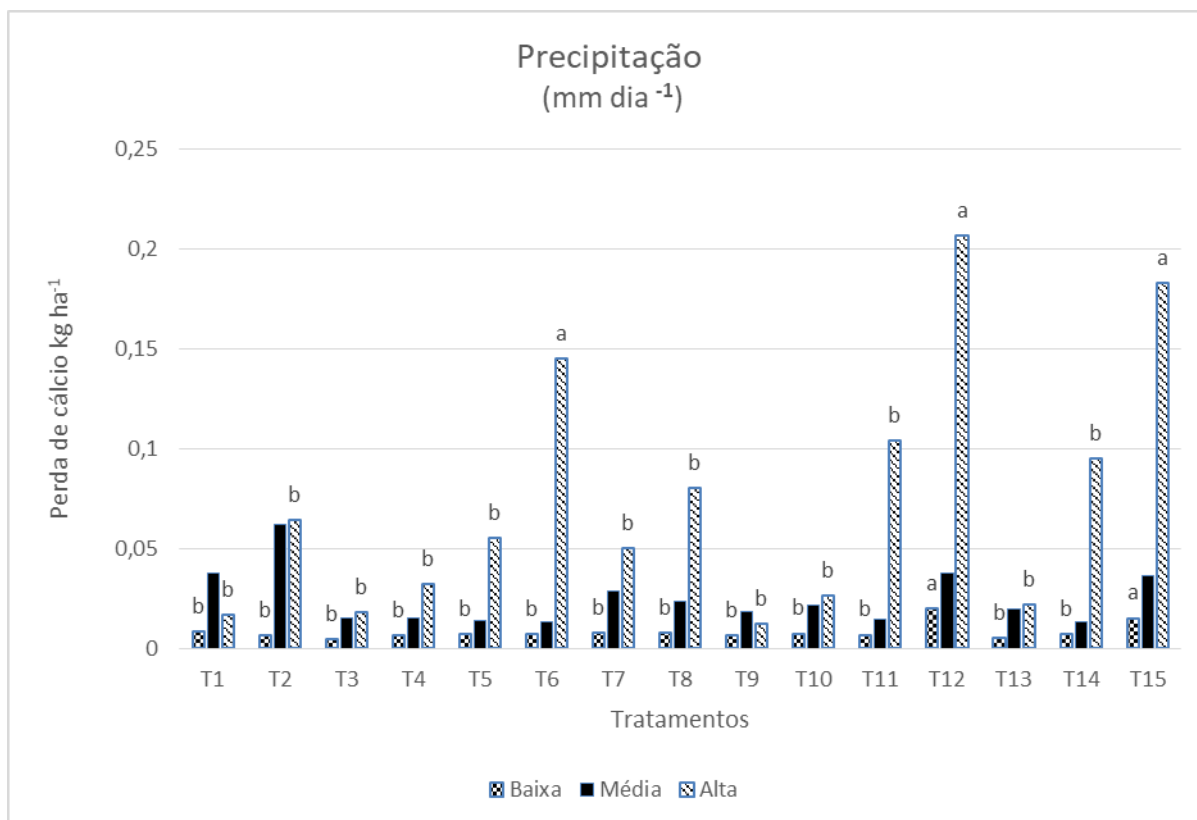


Figura 19. Valores médios da perda de cálcio no intervalo de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,0000, f média precipitação:0,4046, f alta precipitação:0,0171.

A respeito da Figura 20, constata-se que não existiram diferenças entre os tratamentos para a faixa de baixa precipitação. Já para a faixa de média precipitação, existiu uma diferença significativa entre os tratamentos. Os tratamentos de T8 (0,007093 kg ha⁻¹), T10 (0,006857 kg ha⁻¹), T12 (0,007408 kg ha⁻¹) e T15 (0,007170 kg ha⁻¹) tiveram diferenças quanto aos tratamentos de T1 (0,005330 kg ha⁻¹), T2 (0,005530 kg ha⁻¹), T3 (0,004653 kg ha⁻¹), T4 (0,004343 kg ha⁻¹), T5 (0,003935 kg ha⁻¹), T6 (0,004488 kg ha⁻¹), T7 (0,005810 kg ha⁻¹), T9 (0,004915 kg ha⁻¹), T11 (0,005315 kg ha⁻¹), T13 (0,005243 kg ha⁻¹) e T14 (0,003890 kg ha⁻¹). Desse modo, os tratamentos T8, T12 e T15 evidenciaram maiores perdas em razão das parcelas terem tido as maiores declividades com T8: 3,58%, T12: 3,39%, T15 5,41%. Assim, pode-se constatar, quanto à análise química, que as parcelas que apresentaram a maior perda de cálcio foram as que tiveram menores valores de concentração desse nutriente na camada de 0-0,1 m do solo, como observado na Tabela 7 com valores de T12 1,82 cmol_c dm⁻³ e T15: 1,76 cmol_c dm⁻³, respectivamente. O que pode ter ocorrido pelo comportamento da deposição de

diferentes dosagens de magnésio pela palhada depositada sobre o solo ou extraídas pelas diferentes culturas nos diferentes tratamentos e sistemas de manejo.

Já para a faixa de alta precipitação, na figura abaixo nota-se que houve diferença significativa entre os tratamentos. Com isso, os tratamentos T6 (0,024322 kg ha⁻¹), T8 (0,018978 kg ha⁻¹), T12 (0,022960 kg ha⁻¹), T14 (0,019908 kg ha⁻¹) e T15 (0,019882 kg ha⁻¹) tiveram diferenças quanto aos tratamentos de T1 (0,003262 kg ha⁻¹), T2 (0,013246 kg ha⁻¹), T3 (0,004722 kg ha⁻¹), T4 (0,007344 kg ha⁻¹), T5 (0,011306 kg ha⁻¹), T7 (0,011840 kg ha⁻¹), T9 (0,002595 kg ha⁻¹), T10 (0,007808 kg ha⁻¹), T11 (0,013053 kg ha⁻¹) e T13 (0,004698 kg ha⁻¹). Tais diferenças podem ter ocorrido por conta da alta precipitação que, em alguns casos, ocasiona os entupimentos das calhas, bem como a flutuação dos recipientes volumétricos por meio da água contida na trincheira antes do momento de depósito da água pela recepção da calha coletora.

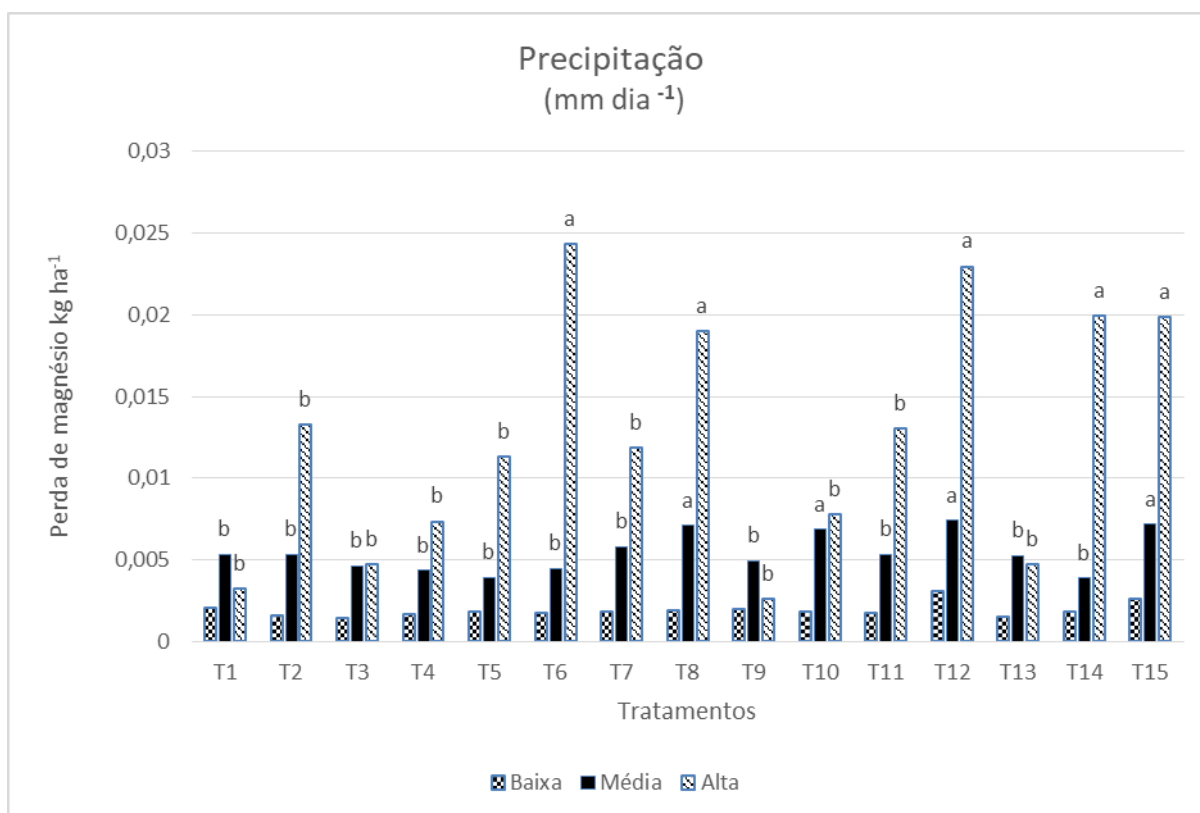


Figura 20. Valores médios da perda de magnésio no intervalo de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,1212, f média precipitação:0,0213, f alta precipitação:0,0139.

Quanto à Figura 21, destaca-se a não ocorrência de diferença significativa entre os tratamentos em decorrência dos bons indicativos de qualidade do manejo

do solo, seja pela palhada depositada sobre o solo, seja pela presença desse elemento nas análises químicas.

Os valores estão de acordo com os que foram encontrados por Schick et al. (2000b), ao relatar que as perdas de P por erosão hídrica foram baixas nos sistemas de manejo do solo ($0,037-3,362 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), sendo pouco influenciada pelo tipo de preparo. Baixas quantidades de P perdidas por erosão hídrica também foram constatadas por Soileau et al. (1994), Martínez-Casanovas e Ramos (2004), Ibáñez et al. (2004) e Bertol et al. (2004b).

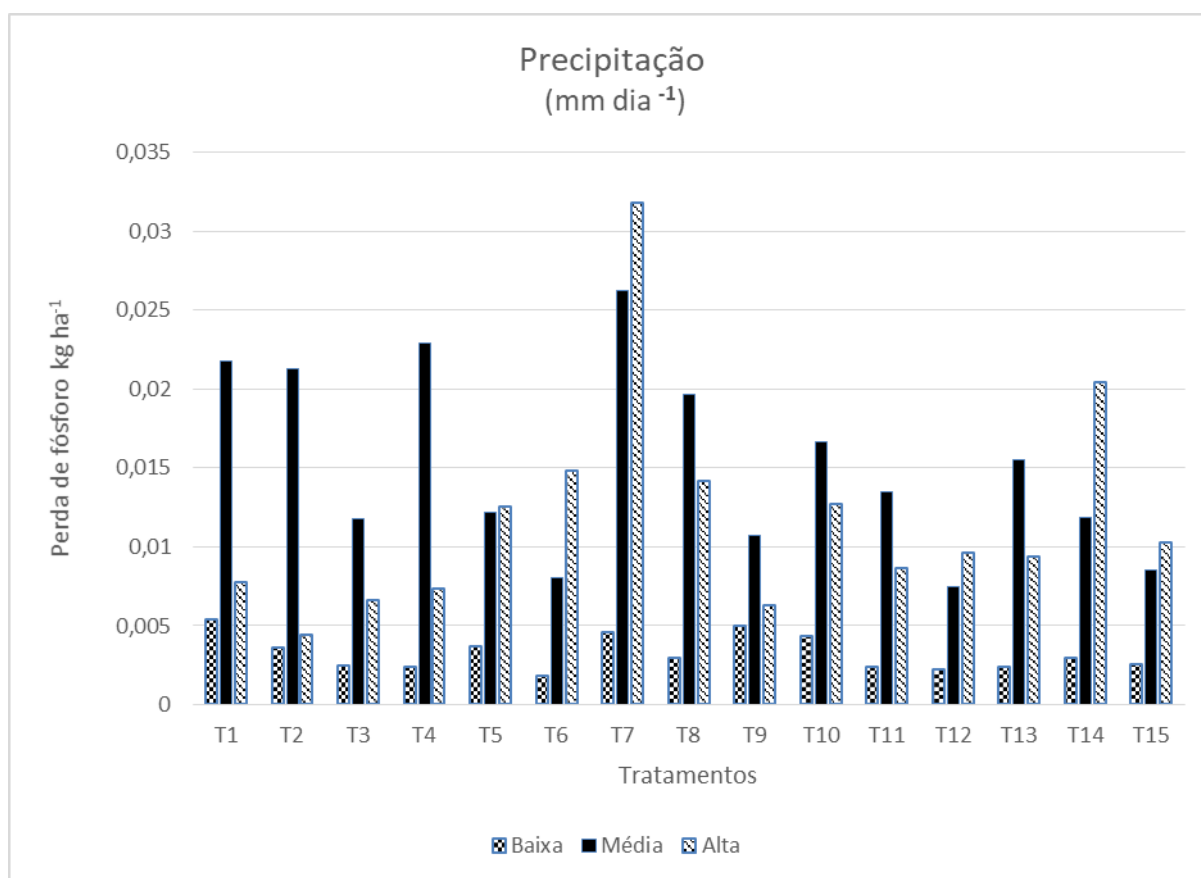


Figura 21. Valores médios da perda de fósforo no intervalo de baixa, média e alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,1209, f média precipitação:0,2245, f alta precipitação:0,6890.

No caso da Figura 22, é possível identificar que não houve diferença significativa entre os tratamentos, o que ressalta as boas condições de manejo do solo e o histórico de culturas anteriores que sucedem a área, constatando-se também que o terreno é suavemente ondulado, não existindo grandes diferenças de declividade.

Outros valores corroboram com o fato dos tratamentos não terem

apresentado diferenças entre si, ou seja, não existiram discordâncias quanto à palhada depositada sobre o solo. Além disso, quanto aos nutrientes na análise química, embora alguns tratamentos tenham tido diferenças entre si, têm os valores entre 0,36 a 0,63 cmol dm^{-3} , o que demonstra a menor quantidade desse nutriente presente no solo se comparado aos demais nutrientes avaliados, pois precisaria ter que um maior escoamento superficial para caracterizar perdas significativas.

Vale salientar os valores encontrados por Schick et al. (2000), Seganfredo et al. (1997) e Silva et al. (2005), visto que identificaram as maiores concentrações no sedimento para o K de 0,99-2,81 kg ha^{-1} em razão da menor retenção pelos constituintes do solo.

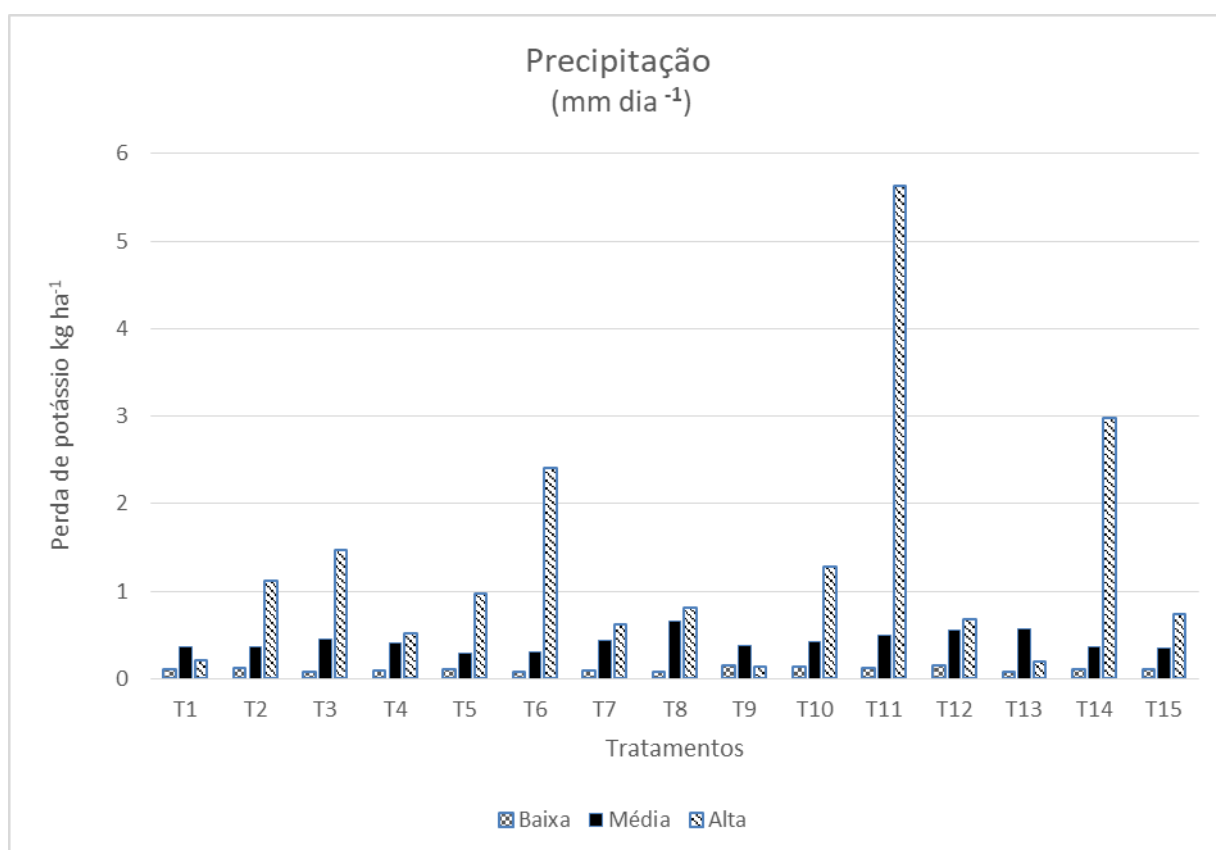


Figura 22. Valores médios da perda de potássio no intervalo de alta precipitações para cada um dos tratamentos durante o cultivo do milho, *ns: valores não significativos (representado pela ausência de letras, sobre as colunas), f baixa precipitação:0,8792, f média precipitação:0,4929, f alta precipitação:0,4317.

Os valores também são diversificados quanto aos encontrados por Gilles et al. (2009) quando verificaram diferenças significativas nas perdas de nutrientes pelos tratamentos estudados nos diferentes testes de erosão. Basicamente, isso ocorre por conta de os tratamentos influenciarem tanto as concentrações médias

dos referidos constituintes na enxurrada quanto o seu volume total (GILLES, 2008).

Foram constatadas também diferenças acerca dos resultados encontrados por Gilles (2008), pois, comparando os testes de erosão, verificaram que as maiores perdas dos nutrientes ocorreram logo após a implantação dos tratamentos e da semeadura do milho, provavelmente em decorrência das suas maiores concentrações em superfície nessa época, podendo ter diferido, no caso, por conta das maiores intensidades de precipitação não terem acontecido no início da implantação da cultura.

Para finalizar, merecem destaque as altas quantidades totais acumuladas perdidas pela erosão do K, tanto na adubação mineral ($8,74 \text{ kg ha}^{-1}$) quanto na adubação orgânica ($14,06 \text{ kg ha}^{-1}$) do P na adubação mineral ($8,70 \text{ kg ha}^{-1}$), todos eles na semeadura direta (GILLES et al., 2009).

Júnior et al. (2008) constataram também que não ocorreu a formação de sulcos de erosão em razão do comprimento da parcela e a baixa inclinação do local, não permitindo que o escoamento superficial atinja uma maior velocidade. Além disso, a cobertura vegetal tem o papel inicial de barrar as gotas da chuva, anulando o papel do *splash* que poderia desagregar as partículas e provocar a selagem superficial do solo. Em seguida, as raízes e o tronco da planta oferecem resistência aos materiais transportados superficialmente pela água.

Os mesmos autores também verificaram que as áreas de plantio garantiram proteção inicial, formando uma "barreira" contra o escoamento superficial e produção de sedimentos, porém o problema se agrava após a colheita quanto o solo sofre compactação por ação das máquinas. Por isso, é preciso cuidado no manejo de uso do solo com plantio, tentando equilibrar o uso às fragilidades do ambiente.

5. CONCLUSÕES

Os tratamentos que propiciaram menores perdas de água para a faixa de alta precipitação foram: milheto, crotalaria júncea, mucuna preta, aveia branca, aveia preta e plantio direto escarificado.

Quanto à perda de solo na faixa de alta precipitação, os tratamentos que propiciaram as menores perdas foram: milheto, crotalaria juncea, guandú anão, crotalaria spectabilis, feijão guandú, aveia branca, aveia preta, centeio, nabo forrageiro + aveia preta e sistema plantio direto escarificado.

Para a perda de cálcio na alta precipitação, os tratamentos que apresentaram as menores perdas foram: milheto, guandu anão, crotalaria juncea, feijão guandu, crotalaria spectabilis, aveia branca, aveia preta; centeio, aveia preta + nabo, aveia preta + tremoço branco, sistema de plantio direto escarificado, sistema de plantio direto com gesso.

Referente à perda de magnésio, para as altas precipitação os tratamentos que apresentaram as menores perdas foram: centeio, milheto, guandu anão, crotalaria juncea, feijão guandu, crotalaria spectabilis, aveia branca, centeio, aveia preta + nabo, aveia preta + tremoço branco e sistema de plantio direto escarificado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; PAZ GONZÁLEZ, A. Phosphorus losses in water and sediments in runoff of the water erosion in oat and vetch crops seed in contour and downhill. **Soil Tillage Res.**, v. 106, p. 22-28, 2009.

BERTOL, I.; GOBBI, E.; BARBOSA, F. T.; PAZ-FERREIRO, J.; GEBLER, L.; RAMOS, J. C.; WERNER, R. S. Water erosion in natural grassland under diferente managements: water and soil losses and phosphorus, potassium and ammonium in the runoff. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1421-1430, 2011.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; COGO, N. P.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; PAZ GONZÁLEZ, A. Parâmetros relacionados com a erosão hídrica sob taxa constante de enxurrada, em diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 715-722, 2006.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 485-494, 2004a.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J. C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1045-1054, 2004b.

CÂNDIDO, B. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BATISTA, P. V. G. 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.

CARVALHO, R.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; SOUZA, F. S. Erosão hídrica em latossolo vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**. v.31, n.6, p. 1679-1687, Lavras Nov./Dec. 2007.

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCI, M. P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.705-712, 2002.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; LEVIEN, R.; WESP, C. de L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1301-1309, 2011.

DA-SILVA, V. L.; DIRECKOW, J.; MALLEK, J. E.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; Improvement of na oxisol structure by no-till cropping systems in the region of Campos Gerais, Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p. 983-992, 2012.

DUAN, L.; HUANG, M.; ZHANG, L. Differences in hydrological responses for different

vegetation types on steep slope on Loess Plateau, China. **Journal of Hydrology**, v. 537, p. 356-366, 2016.

EGHBALL, B.; GILLEY, J. E. Phosphorus and nitrogen in runoff following beef cattle manure or compost application to no-till and tilled soil. **Journal of Environmental Quality**, v.28, p.1201-1210, 1999.

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

GALETI, P. A. **Conservação do Solo; Reflorestamento**; Clima. 2. ed. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.

GARCÍA-RUIZ, J. M.; BEGUERÍA, S.; NADAL-ROMERO, E.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; LANA-RENAULT, N.; SANJUÁN, Y. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. **Geomorphology**, v. 239, n. 15, p. 160-173, 2015.

GILLES, L; COGO, N. C.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Water, soil, organic matter, and nutrient losses by rainfall erosion from an area of native pasture cropped with corn, influenced by tillage methods and fertilization types. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2009.

GUADAGNIN, J. C.; BERTOL, I.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J. do. 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.

HESTER, J. W.; THUROW, T. L.; TAYLOR J. R, C. A. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by prescribed burning. **Journal of Range Management**. v. 50, p. 199-204, 1997.

IBÁÑEZ, A.; MARTÍNEZ. C.; RAMOS, M. C.; MARTÍNEZ-CASANOVAS, J. A. **Effects of composted cattle manure on erosion rates and nutrient losses**. EUROSOL, 2004. Freiburg, Germany. Abstracts. Freiburg, CD-ROOM.

ISMAIL, I.; FRYE, B. W. W. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.193-198, 1994.

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, p. 77-85, 2010.

JÚNIOR, J. F. P.; CRUZ, L. M.; RODRIGUES, S. C. The monitoring of the sheet flow erosion in different land uses, Uberlândia – MG. **Sociedade e Natureza**. (Online) vol.20 no.2 Uberlândia Dec. 2008.

LEÃO, P. C. S; SOARES, J. M. A viticultura no semiárido brasileiro. Petrolina, **Embrapa Semiárido**. p. 366, 2000.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S. R. Erosão

hídrica em um Nitossolo submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada: I - perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 1033-1044, 2004.

LIMA, C. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, E. M.; MONTEIRO, A. L. M. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 697-706, 2015.

MACHADO, D. O.; ALVES-SOBRINHO, T.; RIBEIRO, A. S.; IDE, C. N.; OLIVEIRA, P. T. S. Erosividade da chuva para o bioma Pantanal. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, 2014.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 395-403, 2003.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; RAMOS, M. C. **The cost of soil erosion in vineyard fields of the Penedès – Anoia Region (NE Spain)**. EUROSOIL, 2004, Freiburg. Abstracts. Freiburg, 2004.CD-ROOM.

MATHIAS, D. T.; LUPINACCI, C. M.; MORUZZI, R. B. Infiltration distribution rates on áreas affected by rapid erosive process and covered by anthropogenic materials. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 923-931, 2018.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:901-909, 2003.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109 p. 139-149, 2013.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; Rodrigues, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p. 1777-1786, Viçosa Sept./Oct. 2011.

PANACHUKI, E. **Rugosidade superficial do solo e índices relacionados, sob diferentes sistemas de manejo**. Dourados, Universidade Federal da Grande Dourados, 2008. 143p. (Tese de Doutorado).

PRANDO, M. B.; OLIBONE D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 693-700, 2010.

SCHÄEFER, M. J.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; CASSOL, E. A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:431-441, 2001.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico Alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 437-447, 2000.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT J. R. A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:427-436, 2000a.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:287-291, 1997.

SHARPLEY, A. N.; DOWELL M.; R. W.; KLEINMAN, P. J. A. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. **Plant and Soil**, v.237, p.287-307, 2001.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez. 2005.

SILVA, F. G. B.; MINOTTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim - SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, 2010.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997.

SOILEAU, J. M.; TOUCHTON, J. T.; HAJEK, B. F.; YOO, K. H. Sediment, nitrogen, and phosphorus runoff with conventional – and conservation- tillage cotton in small watershed. **Journal of Soil and Water Conservation.**, 49:82-89, 1994.

TORMENA, C. A.; DA SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil Tillage Res.**, v. 52, p. 223-232, 1999.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.891-900, 2004.

ZOLIN, C. A; PAULINO, J; MATOS, E. S; MAGALHÃES, C. A. S; ALMEIDA, F. T; SOUZA, A. P; MINGOTI, R. Perda de solo e água sob integração lavoura-floresta e em sucessão soja-milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1223-1230, 2016.

CONCLUSÕES GERAIS

Os tratamentos de crotalária *spectabilis*, mucuna preta, aveia branca e aveia preta+tremoço branco foram os que proporcionaram melhorias na estrutura do solo.

Quanto ao rendimento de grão da cultura do milho, os tratamentos de milheto, guandú anão, crotalária júncea, feijão guandú, crotalária *spectabilis*, aveia branca, centeio, aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + tremoço branco, sistema de plantio direto escarificado, sistema de plantio direto com gesso e sistema de plantio direto tradicional foram os que proporcionaram o rendimento de grãos em relação aos demais tratamentos.

Os tratamentos que propiciaram menos perda de água para a faixa de alta precipitação foram: milheto, crotalária júncea, mucuna preta, aveia branca, aveia preta e plantio direto escarificado.

Quanto à perda de solo na faixa de alta precipitação, os tratamentos que propiciaram as menores perdas foram: milheto, crotalária júncea, guandú anão, crotalária *spectabilis*, feijão guandú, aveia branca, aveia preta, centeio, nabo forrageiro + aveia preta e sistema plantio direto escarificado.

Para a perda de cálcio na alta precipitação, os tratamentos que apresentaram as menores perdas foram: milheto, guandú anão, crotalária júncea, feijão guandú, crotalária *spectabilis*, aveia branca, aveia preta; centeio, aveia preta + nabo, aveia preta + tremoço branco, sistema de plantio direto escarificado, sistema de plantio direto com gesso.

Referente à perda de magnésio, para as altas precipitação os tratamentos que apresentaram as menores perdas foram: centeio, milheto, guandú anão, crotalária júncea, feijão guandú, crotalária *spectabilis*, aveia branca, centeio, aveia preta + nabo, aveia preta + tremoço branco e sistema de plantio direto escarificado.