

UNIOESTE - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON

LUCAS DA SILVEIRA

MANEJOS DE PLANTAS DE COBERTURA E IMPLICAÇÕES NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO, CICLAGEM DE NUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE MILHO SILAGEM

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2021

LUCAS DA SILVEIRA

**MANEJOS DE PLANTAS DE COBERTURA E IMPLICAÇÕES NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO, CICLAGEM DE NUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE MILHO SILAGEM**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2021

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

da Silveira, Lucas
Manejos de plantas de cobertura e implicações nas propriedades físicas do solo, ciclagem de nutrientes e produtividade de milho silagem / Lucas da Silveira; orientadora Paulo Sérgio Rabello de Oliveira; coorientadora Reginaldo Ferreira Santos. -- Marechal Cândido Rondon, 2021.
97 p.

Tese (Doutorado Campus de Marechal Cândido Rondon) --
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.

1. Conservação do solo. 2. Sistema solo-planta. 3. Taxa de decomposição. 4. Sucessão. I. Rabello de Oliveira, Paulo Sérgio, orient. II. Ferreira Santos, Reginaldo, coorient. III. Título.

**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.

**LUCAS DA SILVEIRA**

Manejos de plantas de cobertura e implicações nas propriedades físicas do solo,
ciclagem de nutrientes e produtividade de milho silagem

Tese apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência,
conforme Resolução nº 052/2020 – CEPE, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia
em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia,
área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal
Sustentáveis, APROVADO pela seguinte banca examinadora:

Orientador - Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Deonir Secco

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

Vandeir Francisco Guimarães

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Luciene Kazue Tokura

Doutora em Agronomia (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho)

Martios Ecco

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - Toledo (PUC-Toledo)

Neumário Vilanova da Costa
Coordenador Especial do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 30 de novembro de 2021

A Katellyn Karoline Machado da Silveira, minha amada esposa
Companheira de todas as horas,
Parceira em todos os momentos,
Cumprida da mesma paixão pelo Senhor Jesus.
Minha maior incentivadora.
A minha princesa e filha Helena da Silveira,
A qual me transformou em um homem de verdade,
O meu coração é teu.
Hoje te seguro em meus braços para que um dia você possa voar.
Vooa minha filha, vooa, você nasceu para ser grande
Papai te ama.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Durante o período escolar e acadêmico algumas vezes ouvi palavras desanimadoras de pessoas próximas, palavras que me colocaram para baixo, que não me deixaram sonhar por tempo, porém, encontrei em Deus as minhas respostas, e nele descobri quem realmente sou.

O crescimento nos tira da zona de conforto, porém, existe uma herança reservada para aqueles que crescem, que suportam os processos e alcançam a maturidade.

Esta etapa foi vencida com muito esforço!

Agradeço a Deus pela sua graça imerecida, pelo seu amor pleno e inabalável e por me deixar fazer parte do seu propósito imutável.

Ao meu amigo Espírito Santo que sempre esteve ao meu lado dando-me força e discernimento, sem Ele nada seria possível.

A minha esposa Karol pelo incentivo, por ser uma verdadeira ajudadora e pelo amor durante toda minha jornada. Obrigada por me fazer feliz!

A minha filha Helena, por ser tão meiga e carinhosa, minha motivação para não desistir.

A minha mãe Eunice, uma verdadeira guerreira, que fez sempre o máximo em meu favor, sem ela certamente eu não seria nada.

Ao meu pai Cristovão Tadeu da Silveira.

Agradeço minha sogra Angelita, meu sogro Clodoaldo e meu cunhado Wesley pelos momentos de comunhão e pelo cuidado com minha família nos momentos que estive em Marechal Candido Rondon-PR em prol do doutorado.

Neste período de Doutorado conheci um grande homem, o qual se tornou meu amigo, tive o prazer de ter o Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira como meu orientador, um professor “humano” que em vários momentos sorrimos juntos e nos alegamos, sou grato pela confiança, paciência, ensinamentos, por todo tempo dedicado ao meu aprendizado e principalmente por acreditar em mim. MUITÍSSIMO OBRIGADO!

Ao Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos, exemplo de profissional e de homem de Deus a ser seguido. Obrigado por ter assumido a minha coorientação, por todos os ensinamentos, dedicação e confiança depositada em mim e em meu trabalho.

No livro de provérbios 27 diz: Assim como o ferro afia o ferro, o homem afia o seu companheiro. Este versículo certamente levarei comigo, e lembrarei de grande amigo o Prof. Dr. Deonir Secco. Obrigado por suas correções.

Na vida as vezes não temos tudo, porém, temos que saber quem tem ou sabe, o doutorado foi possível através de uma grande amiga, hoje Dra Marinez, a qual tenho tamanha admiração.

O meu agradecimento especial vai para minha colega Dra Eloisa Mattei. Certamente andei ao lado de pessoas extraordinárias, a Eloisa foi uma dessas, determinada, inteligente e humilde. Muito obrigado por ter dedicado inúmeros esforços e me ajudar sempre que necessário em todas as minhas dificuldades.

Ao meu amigo Carlos A. R. M. Rego e sua esposa Bruna, os quais cederam sua casa para ser minha moradia durante dois anos em Marechal Candido Rondon–PR.

Ao Jeferson T. Piano, muito obrigado pela sua ajuda em todos os momentos

Ao GEPSIA (Grupo de Estudo e Pesquisa em Sistemas de Integrados de Produção Agropecuária) pelo auxílio e suporte concedidos.

Aos meus Pastores; Cleberson Barroso, Danilo Oliveira e Marco Scharnovski, obrigado por acreditarem em mim. Vocês são exemplos para mim, grandes homens.

Aos funcionários do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE, pelo auxílio e disponibilidade durante o período de condução experimental.

E a todos aqueles que não foram citados, mas que direta ou indiretamente contribuíram na realização desse trabalho.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e ao Programa de PósGraduação Stricto Sensu em Agronomia pela oportunidade de realização do doutorado.

À secretária do PPGA, Leila pela paciência e dedicação ao realizar seu trabalho.

À secretária do PPGEA, Vanderléia, uma mãe que a pós-graduação me deu.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

SILVEIRA, Lucas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Novembro – 2021. **Manejos de plantas de cobertura e implicações nas propriedades físicas do solo, ciclagem de nutrientes e produtividade de milho silagem.** Orientador: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Coorientador: Reginaldo Ferreira Santos.

Um dos elementos que promovem o sucesso do sistema plantio direto (SPD) é o uso de espécies com elevada produção de fitomassa. A utilização destas resulta em benefícios ao sistema solo-planta, como, descompactação natural do solo, aumento da capacidade de infiltração de água, ciclagem de nutrientes, aumento da matéria orgânica. Quando esse sistema está sendo manejado, a cultura subsequente usufruirá de condições favoráveis para expressar o seu potencial produtivo. Objetivou-se estudar o efeito das espécies de cobertura e manejos sobre os atributos físicos do solo, os teores de nutrientes existentes nos resíduos culturas remanescentes, assim como, as características agrônômicas da cultura do milho silagem, cultivado em sucessão. O experimento foi realizado entre os meses de abril de 2018 e janeiro de 2020 (dois anos agrícolas), em Marechal Cândido Rondon – PR, em Latossolo Vermelho Eutroférico, empregando o delineamento experimental de faixas, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas foram dispostas as plantas de cobertura: aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca peluda, aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + ervilhaca peluda e o pousio. Nas subparcelas foram alocados os manejos das plantas de cobertura: manejo químico (glyphosate na dose de $1,08 \text{ kg ha}^{-1}$ de equivalente ácido (e.a.)) e mecânico (trituração dos materiais vegetais com triturador de arrasto. Foi semeado no primeiro ano no verão, a cultivar de milho Coodetec 384 Powercore, no segundo ano, a cultivar foi Morgan 30A91 Powercore, respectivamente em ambos os anos foi utilizado 05 sementes por metro linear, com espaçamento de entrelinhas de 0,75 m. A caracterização física do solo foi executada pelo método do anel volumétrico, foram abertas trincheiras em cada subparcela para coleta de amostras indeformadas em três camadas do solo 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3m. As variáveis analisadas foram; porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo. Foi avaliada a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais das plantas de cobertura durante o cultivo do milho em sucessão. As variáveis analisadas foram as quantidades residuais de matéria seca (MS), teores de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na MS residual. Na cultura do milho silagem, foram determinados: estande final de plantas, altura de plantas, altura da inserção de espiga, diâmetro do colmo e produtividade total de matéria seca. A utilização das plantas de cobertura e os manejos adotados não influenciaram os atributos físicos do solo durante os dois ciclos de cultivo. Em relação a produção, decomposição e a liberação dos nutrientes remanescentes, a utilização das plantas de

cobertura e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo mostrou-se como uma prática vantajosa. As maiores produtividades de matéria seca e acúmulo de nutrientes foram obtidos com o consórcio entre aveia preta + nabo forrageiro. O milho cultivado após o consórcio de aveia preta + nabo forrageiro apresentou um desempenho superior, sendo uma alternativa para se obter um alto rendimento de silagem de milho. Com o emprego das plantas de cobertura a adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho silagem pode ser reduzida de forma parcial.

Palavras-chave: Conservação do solo. Sistema solo-planta. Fitomassa, Taxa de decomposição. Sucessão.

SILVEIRA, Lucas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, November – 2021. **Cover crop management and implications on soil physical properties, nutrient cycling and corn silage yield.** Advisor: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Co-advisor: Reginaldo Ferreira Santos.

One of the elements that promote the success of the no-tillage system (NTS) is the use of species with high phytomass production. The use of these results in benefits to the soil-plant system, such as natural soil decompression, increased water infiltration capacity, nutrient cycling, increased organic matter. When this system is being managed, the subsequent crop will enjoy favorable conditions to express its productive potential. The objective was to study the effect of cover species and management on the physical attributes of the soil, the levels of nutrients existing in the remaining crop residues, as well as the agronomic characteristics of the corn silage crop, grown in succession. The experiment was carried out between April 2018 and January 2020 (two agricultural years), in Marechal Cândido Rondon - PR, in Red Eutroferic Latosol, using the experimental design of strips, in a split-plot scheme, with three replications. The cover plants were placed in the plots: black oats, fodder radish, hairy vetch, black oats + fodder radish, black oats + hairy vetch and fallow. In the subplots, the management of the cover crops was allocated: chemical management (glyphosate at a dose of 1.08 kg ha⁻¹ of acid equivalent (e.a.)) and mechanical management (grinding of plant materials with a drag crusher. It was sown in the first year in summer, the corn cultivar Coodetec 384 Powercore, in the second year, the cultivar was Morgan 30A91 Powercore, respectively in both years, 05 seeds were used per linear meter, with spacing between rows of 0.75 m. The physical characterization of the soil was performed by the volumetric ring method, trenches were opened in each subplot to collect undisturbed samples in three soil layers 0-0.1, 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m. total porosity, macroporosity, microporosity and bulk density. The speed of decomposition and release of nutrients from crop residues of cover crops during corn cultivation in succession was evaluated. The variables analyzed were the residual amounts dry matter (DM), carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) contents in residual DM. In corn silage culture, the following were determined: final plant stand, plant height, ear insertion height, stem diameter and total dry matter yield. The use of cover crops and the management adopted did not influence the physical attributes of the soil during the two crop cycles. Regarding the production, decomposition and release of remaining nutrients, the use of cover crops and the maintenance of plant residues on the soil surface proved to be an advantageous practice. The highest dry matter yields and nutrient accumulation were obtained with the intercropping of black oats +

fodder radish. The maize cultivated after the consortium of black oats + fodder radish showed a superior performance, being an alternative to obtain a high yield of maize silage. With the use of cover crops, nitrogen fertilization in cover crops of corn silage can be partially reduced.

Keywords: Soil conservation. Soil-plant system. Phytomass, Decomposition rate. Succession.

Al^{3+}	Alumínio trocável
H+Al	Acidez potencial
Ca^{2+}	Cálcio trocável
CaCl_2	Cloreto de Cálcio
Cfa	Clima subtropical úmido
Cm	Centímetro
cm^3	Centímetro cúbico
$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Centimol de carga por decímetro cúbico
C	Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CV	Coefficiente de Variação
DAS	Dias após a semeadura
Ds	Densidade do solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
et al.	Abreviatura da expressão latina “et alia”, significando “entre outros”
G	Grama
g dm^{-3}	Grama por decímetro cúbico
g kg^{-1}	Grama por quilo
Há	Hectare
K^+	Potássio trocável
kg ha^{-1}	Quilogramas por hectare
L ha^{-1}	Litros por hectare
LVd	Latossolo Vermelho Distroférrico
M	Metro
Ma	Macroporosidade
Mg^{2+}	Magnésio trocável
mg m^{-3}	Miligrama por metro cúbico
mg dm^{-3}	Miligrama por decímetro cúbico
Mg ha^{-1}	Megagrama por hectare
Mi	Microporosidade
Mm	Milímetros
Mpa	Megapascal
m^2	Metro quadrado
N	Nitrogênio

N ₂	Nitrogênio atmosférico (gás)
P	Fósforo
pH	Potencial de hidrogênio
PR	Unidade da Federação – Paraná
Pt	Porosidade total
R ²	Coeficiente de determinação
RP	Resistência do solo à penetração
S	Sul
SILP	Sistema Integração Lavoura-Pecuária
TFSE	Terra fina seca em estufa
T ^{1/2}	Tempo de meia vida
t ha ⁻¹	Toneladas por hectare
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Ug	Umidade gravimétrica
W	Oeste
1000 grãos	Massa de mil grãos
%	Porcentagem
°C	Unidade de temperatura: Graus Celsius
*	Significativo à 5% de erro
**	Significativo à 1% de erro
®	Marca registrada

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura (°C) máxima, média e mínima do ar e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio durante o período de condução do experimento, de março/2018 a fevereiro/2019.....	26
Figura 2 - Temperatura (°C) máxima, média e mínima do ar e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio durante o período de condução do experimento, de março/2019 a janeiro/2020.....	27
Figura 3 - Matéria seca remanescente (A) (C) e carbono remanescente (B) (D) dos resíduos vegetais das plantas de cobertura ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente.	50
Figura 4 – Nitrogênio dos resíduos vegetais das plantas de cobertura ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020 (A) e (B), respectivamente.....	54
Figura 5 – Fósforo dos resíduos vegetais das plantas de cobertura ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020 (A) e (B), respectivamente.....	55
Figura 6 - Potássio dos resíduos vegetais das plantas de cobertura ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020 (A) e (B), respectivamente.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características granulométricas e químicas do solo nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30m, antes da implantação das espécies de cobertura (2018).	27
Tabela 2 - Valores médios de porosidade total (Pt) ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) das camadas 0-0,1m, 0,1-0,2m e de 0,2-0,3m, sob plantas de cobertura e manejos, nos anos de 2018 e 2019 em um Latossolo Vermelho Distroférico.....	31
Tabela 3 - Valores médios de macroporosidade (Macro) ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) das camadas 0-0,1m, 0,1-0,2m e de 0,2-0,3m, sob plantas de cobertura e manejos, nos anos de 2018 e 2019 em um Latossolo Vermelho Distroférico.....	32
Tabela 4 - Valores médios de microporosidade (Micro) ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) das camadas 0-0,1m, 0,1-0,2m e de 0,2-0,3m, sob diferentes plantas de cobertura e manejos, nos anos de 2018 e 2019 em um Latossolo Vermelho Distroférico.....	34
Tabela 5 - Valores médios de densidade do solo (Ds) das camadas 0-0,1m, 0,1-0,2m e de 0,2-0,3m, sob diferentes plantas de cobertura e manejos, nos anos de 2018 e 2019 em um Latossolo Vermelho Distroférico.....	35
Tabela 6 - Quadrado médio da matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) remanescentes dos resíduos das espécies de adubos verdes ao longo do tempo na safra 2018/2019.	48
Tabela 7 - Quadrado médio da matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) remanescentes dos resíduos das espécies de adubos verdes ao longo do tempo na safra 2019/2020.	49
Tabela 8 - Parâmetros dos modelos ajustados ($X = X_0 \cdot e^{-kt}$) aos valores de matéria seca, carbono, nitrogênio, fósforo e potássio remanescentes e tempo de meia vida das plantas de cobertura utilizadas nas safras de 2018/2019 e 2019/2020	52
Tabela 9 - Economia (R\$ ha ⁻¹) com base nas quantidades de fertilizantes equivalentes às quantidades de N, P e K liberados pela palhada remanescente das forrageiras submetidas ao pastejo até 100 dias após a semeadura do milho silagem.....	58
Tabela 10 - Quadrado médio da população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção da espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem conduzido após o manejo de diferentes plantas de cobertura no ano de 2018 e 2029	69
Tabela 11 - Quadrado médio da população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção da espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem conduzido após o manejo de diferentes plantas de cobertura no ano de 2019 e 2020.....	70
Tabela 12 - Componentes de produção (população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção de espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (No ESP) e produtividade de matéria seca (MS)) de milho silagem, conduzido após o manejo de diferentes plantas de cobertura no ano de 2018/2019 e 2019/2020	72

Sumário

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
2	CAPÍTULO 1: MANEJO QUÍMICO E MECÂNICO DA PARTE AÉREA DE PLANTAS DE COBERTURA E SUAS IMPLICAÇÕES NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	22
2.1	INTRODUÇÃO	24
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	26
2.2.1	Localização, clima e solo da área experimental	26
2.2.2	Delineamento experimental	28
2.2.3	Implantação e manejo das espécies de cobertura	28
2.2.4	Manejo das plantas de cobertura	29
2.2.5	Avaliações realizadas	29
2.2.6	Análise estatística	30
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
2.4	CONCLUSÕES	35
2.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
3	CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO, DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DA MATÉRIA SECA REMANESCENTE DE PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO SOB SISTEMA DE SEMEDURA DIRETA	42
3.1	INTRODUÇÃO	44
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	45
3.2.1	Localização, clima e solo da área experimental	45
3.2.2	Delineamento experimental	45
3.2.3	Implantação das espécies de cobertura	46
3.2.4	Avaliações realizadas	46
3.2.5	Análise estatística	47
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
3.4	CONCLUSÕES	59
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
4	CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DE MILHO SILAGEM CULTIVADO APÓS MANEJOS DE PLANTAS DE COBERTURA	63
4.1	INTRODUÇÃO	65

4.2	MATERIAL E MÉTODOS	67
4.2.1	Localização, clima e solo da área experimental	67
4.2.2	Delineamento experimental	67
4.2.3	Implantação e manejo da cultura do milho.....	67
4.2.4	Avaliações realizadas	68
4.2.5	Análise estatística	68
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.4	CONCLUSÕES.....	76
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1 INTRODUÇÃO GERAL

Observando as últimas décadas, é possível averiguar com clareza que a agricultura brasileira obteve resultados elevados e satisfatórios em relação a produtividade das culturas (BRAGAGNOLO; BARROS, 2015). A atividade é vista como caso de sucesso no país, reconhecida como avançada, lucrativa, eficiente e satisfatória, aliás, colocando o Brasil na categoria de “potência” agrícola mundial, destacando-se como um dos grandes “*players*” desse setor (SCHERER; PORSSE, 2017).

O acréscimo da produtividade na agricultura brasileira ocorreu por meio do emprego de novas técnicas e não pelo aumento da área plantada no País (SCHERER; PORSSE, 2017). Segundo Felema et al. (2013) o emprego de práticas conservacionistas e de novas tecnologias, proporcionaram aumento de produtividade e rentabilidade do setor agrícola brasileiro.

As práticas conservacionistas estão sendo empregadas pela grande maioria dos agricultores e em várias regiões do país. Na atualidade a interação entre os componentes ambiental e econômico tem resultado em ganhos de produtividade das culturas. Esses ganhos são uma das consequências do manejo correto e da sustentabilidade agrícola (LIMA et al., 2016).

Esse modelo de ações benéficas, denominada agricultura conservacionistas, está sendo fomentada como uma forma de fortalecer a sustentabilidade da produção agrícola, especialmente por meio da conservação de recursos naturais (SAPKOTA et al., 2015). O manejo correto dos recursos naturais é obtido através de um conjunto de práticas conservacionistas que, resultam no aumento da produção agrícola, consequentemente em ganhos financeiros para os agricultores (DEBIASI et al., 2010). Em contrapartida o manejo inadequado ocasiona, como consequência, a degradação física, química e biológica do solo, diminuindo gradualmente sua capacidade de produção (SANTOS et al., 2019).

É possível observar os efeitos positivos da adoção dessas práticas nas mais diversas modalidades de produção, a exemplo da integração lavoura – pecuária sobre o sistema plantio direto, onde ocorre uma alta produção de palhada e consequentemente elevadas taxas de sequestro de carbono no solo (CARVALHO et al., 2009; PIANO et al., 2017). Esses sistemas de produção compostos, promovem sinergismo entre os distintos componentes do sistema, objetivando a conservação do solo e da água, diminuição das emissões de CO₂, sequestro de carbono. Isso constata a necessidade e a relevância da adoção desses sistemas (BALBINO et al., 2011; CORDEIRO et al., 2015; WOLSCHICK et al., 2018).

A utilização de práticas conservacionistas corrobora para a maior eficiência no controle da erosão hídrica, em decorrência das menores perdas de água por escoamento superficial (SILVA et al., 2011; LIMA et al., 2016). Sendo assim, segundo Paiva e Araújo (2012), o emprego das práticas conservacionistas se destacam por proporcionar maior aproveitamento das águas das chuvas, afastando perdas intensas por escoamento superficial, ademais, impede que o solo se encontre sujeito a contínuos períodos de umedecimento e secagem e a grandes oscilações de temperatura.

Para Ferreira et al. (2010) e Vanwalleghe et al. (2017), o motivo preeminente para a redução da fertilidade do solo e do declínio da produção agrícola é a erosão. Dessa maneira, a gestão de um planejamento de práticas conservacionistas, embasado em conhecimentos científicos é de grande importância para a diminuição da erosão do solo (KATEB et al., 2013), uma vez que, cultivos inadequados, uso impertinente do solo, inexistência de práticas conservacionistas ou o seu uso errôneo resultam em prejuízos no âmbito da fertilidade e da física solo (GARRIDO et al., 2014).

Durante anos a obtenção da produção agrícola decorreu de um modo extrativista, ou seja, ocorria apenas a retirada do bem comum, sem ocorrer em contrapartida algo benéfico ao sistema agrícola. Isso promoveu imensos prejuízos como, desmatamento, poluição do solo e da água, dentre outros, impulsionando drasticamente o processo de erosão do solo (KATEB et al., 2013; SANTOS et al., 2019). Para Dyonisio (2010) e Besen et al. (2018), só existe um método para modificar essa situação, a adesão de práticas conservacionistas, onde essas práticas atuam de forma positiva na conservação do solo e no incremento da produtividade das culturas.

Um dos principais objetivos da agricultura brasileira é elaborar sistemas lucrativos que associam a busca da alta produtividade das culturas e a sustentabilidade ambiental. Esses objetivos devem estar associados a preservação dos recursos naturais e a aptidão do solo (DEBIASI et al., 2010; LIMA et al., 2016).

A aptidão do solo é a capacidade do mesmo em exercer dentro dos limites de um ecossistema natural ou conduzido de modo a assegurar a produtividade, conservar ou elevar a qualidade do meio ambiente e proporcionar um desenvolvimento satisfatório as plantas, animais e ao homem (SILVA et al., 2013). Nesse entendimento a qualidade do solo é uma definição ampla que se atribui ao equilíbrio entre as condições físicas, químicas e biológicas (SILVA et al., 2016).

A operação de revolvimento do solo age pontualmente no âmbito físico do solo, alterando a taxa de decomposição dos resíduos vegetais e a mineralização do nitrogênio orgânico do solo. Essas alterações apresentam potencialidade prejudicial a ação microbiológica

do solo, alterando de forma significativa o processo de emissões de gases de efeito estufa (PIVA et al., 2012). O decréscimo da qualidade física e biológica do solo através da compactação, tem sido apontado como um dos motivos mais relevantes pela queda de produtividade das culturas (SANTOS et al., 2019).

O fenômeno da compactação está de modo direto associado à escolha do sistema de manejo do solo, conciliado com práticas agrícolas não conservacionistas, que influenciam em mudanças na estrutura do solo (DRESCHER et al., 2016). A resistência mecânica à penetração do solo, junto com o arranjo do espaço poroso, são atributos físicos que podem restringir o desenvolvimento do sistema radicular e a produção das culturas, visto que influenciam as condições de expansão e aeração radicular, infiltração e disponibilidade de água às plantas (VOGEL et al., 2017). Outro ponto observado em locais onde há compactação, é a redução da taxa de fotossíntese e o desenvolvimento da parte aérea da planta, resultando em decréscimos no rendimento das culturas. Isso ocorre de forma mais acentuada em áreas usadas para produção de silagem (DRESCHER et al., 2012).

A adoção das práticas conservacionistas tem por finalidade atenuar o desequilíbrio do solo, associada à sua proteção, assim como, ampliar a contribuição de resíduos no mesmo (BESEN et al., 2018). Em um trabalho desenvolvido em Cambissolo Húmico, por Wolschick et al. (2018), perante condições subtropicais, atestaram que os maiores índices de carbono orgânico particulado, ácido húmico e ácido fúlvico foram identificados em locais onde eram adotadas práticas conservacionistas, por exemplo, plantio direto e lavoura sobre rotação e cultivo mínimo. Por outro lado, a maior parcela das plantas recalcitrantes, como o carbono junto aos minerais foi detectado no sistema de cultivo convencional. Os pesquisadores evidenciam que o acréscimo no estoque de carbono necessita da consolidação de práticas conservacionistas com entrada constante de carbono por meio de resíduos vegetais.

Shen et al. (2012) quantificaram o efeito de duas taxas de cobertura morta de palha de trigo (6,0 e 12 t ha⁻¹) no solo, em agricultura de sequeiro, o período foi de 2009 a 2010, na região norte da China, cultivado com duas variedades de milho, constatando que a palhada favoreceu a redução da perda da umidade do solo, nas profundidades de 20 a 80 cm. Os pesquisadores ressaltam ainda que, a maior produtividade de grãos no milho foi atingida onde havia a maior taxa de cobertura (12 t ha⁻¹).

Outro trabalho desenvolvido por Santos et al. (2010) obteve resultados semelhantes, com aumento na produtividade de feijão com a adoção de práticas conservacionistas, observando que o feijão cultivado em nível e com palhada atingiu uma produtividade de 1782

kg ha⁻¹, o qual foi superior ao plantio morro abaixo sem palhada, com uma produção de 692 kg ha⁻¹, respectivamente.

O cultivo de plantas de cobertura é um dos métodos conservacionistas o qual proporciona proteção ao solo. O conceito sobre plantas destinadas à cobertura do solo está mudando por parte dos agricultores. Inicialmente o objetivo de introduzir essas culturas em uma determinada área, era com o intuito de produzir matéria verde e proteger o solo da erosão (ALBUQUERQUE et al., 2013; ARAUJO et al., 2015). É possível observar que a implantação dessas culturas reflete de forma positiva nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (ROSSETTI et al., 2012; SOUZA et al., 2017).

Nessa perspectiva, em um trabalho realizado por Bertol et al. (2007), foi constatado sob o sistema plantio direto (SPD) o qual possui uma maior taxa de cobertura do solo, redução de 88% nas perdas de solo, isso comparado ao sistema de preparo convencional. Resultados similares foram obtidos por Dechen et al. (2015), onde trabalhando com uma taxa de cobertura de 90%, as perdas de solo foram reduzidas em aproximadamente 54,44%, e as perdas de matéria orgânica (MOS) em 54,89%. Esses resultados demonstram o benefício obtido com o emprego das plantas de cobertura.

É apropriado evidenciar que a utilização das plantas de cobertura não somente reduz as perdas de solo e de MOS, como ao longo do tempo, eleva os teores de carbono (C) no solo, devido a quantidade de resíduos vegetais que é introduzido no solo, via matéria seca radicular, ou pelo acréscimo da matéria seca da parte aérea. Para Albuquerque et al. (2012) há indicativos de que haja uma relação próxima entre adição de resíduos vegetais através das raízes e sequestro de C, em função do maior equilíbrio proporcionado ao C incorporado através do sistema radicular no perfil do solo.

Um dos fatores que impulsionam o SPD é a utilização de plantas de cobertura do solo, com o uso das mesmas ocorre à diversidade e a estabilidade do sistema. Com isso, recursos como água e nutrientes são utilizadas de forma racionais, consequentemente proporcionando um ganho para o próprio sistema no âmbito da fertilidade e da física do solo (MORO et al., 2013; ARAUJO et al., 2015; FARIAS et al., 2015).

Com a utilização das plantas de coberturas do solo verifica-se a contribuição positiva ao desenvolvimento das culturas, redução na perda de água, incremento de umidade no perfil do solo, oscilação da temperatura do solo diminuída e diminuição da erosão superficial. Montenegro et al. (2013) observaram que resíduos vegetais (palhada) com taxa de aplicação de 2 e 4 t ha⁻¹, foram efetivas para a redução do escoamento superficial de água e prolongamento da umidade no perfil do solo.

Em regiões como no Cerrado, a utilização das plantas de cobertura do solo ocorre não somente no verão, mas, na entressafra. Nessa região as áreas destinadas a produção agrícola ficam sujeitas a uma intensa radiação solar, erosão eólica e a infestação de plantas daninhas se for adotado o pousio, como manejo do solo. Dessa forma, a utilização de plantas de cobertura na entressafra proporciona a diversificação das atividades na propriedade e se enquadra como uma prática certificada como conservacionista (ASCARI et al., 2019).

Para que uma planta destinada a cobertura do solo possa expressar todo seu potencial de produção de fitomassa, deve ocorrer uma sincronia entre os fatores externos, como, clima, precipitação pluviométrica, dentre outros, e fatores internos, ou fisiológicos da planta (CARVALHO et al., 2013). Quando se faz a escolha de determinada planta para tal finalidade, fatores como, rusticidade, agressividade, alto potencial de fitomassa, capacidade de absorver e acumular nutrientes, devem ser levados em conta, pois, estes fatores trarão resultados benéficos ao sistema solo-planta (BARBOSA et al., 2011, LOPES et al., 2012, ZIECH et al., 2014).

Em um trabalho desenvolvido por Redin et al. (2018), foi utilizado 26 espécies anuais, os pesquisadores observaram produção de matéria seca radicular de espécies leguminosas inferior, visto que, produções superiores de biomassa, carbono e nitrogênio foram concedidas no sistema radicular das gramíneas. Segundo os pesquisadores, presenciou-se distintas características funcionais entre as culturas observadas no trabalho, realçando a importância da rotação de culturas, tal como, o cultivo consorciado, para que não apenas uma produtividade satisfatória seja obtida e sim a manutenção da fertilidade do solo e armazenamento do carbono.

Os benefícios que mais se destacam das plantas de cobertura da família das Fabaceae são, grande potencial de rendimento de biomassa e a sua capacidade de conceder nitrogênio à cultura seguinte ou sucessora (TEODORO et al., 2011). Porém, as plantas dessa família possuem baixa relação C/N isso influencia diretamente a taxa de decomposição de seus resíduos (AITA et al., 2014; SCHOLLES et al., 2021). Já as plantas da família das poáceas, se sobressaem por possuir alto rendimento de biomassa e elevada relação C/N, o que consequentemente resultará em uma baixa taxa de decomposição e uma liberação de nutrientes ao solo (SILVA et al., 2012). Além de que, a utilização de poáceas como plantas de cobertura é interessante para absorção de alguns nutrientes, em particular o potássio, disponibilizando-o na superfície do solo (CARVALHO et al., 2013).

Inúmeros são os benefícios das plantas de cobertura, uma forma de se obter esses benefícios é através do cultivo consorciado entre as plantas da família das fabáceas e poáceas. Isso pelo motivo dessas plantas apresentarem características intrínsecas que sucedem o aproveitamento das camadas distintas do solo, no benefício de grupos da biota do solo, na

diversa ciclagem de nutrientes, na estruturação física do solo e no rendimento de resíduos de relação C/N intermediária, o qual concedera menor taxa de decomposição de resíduos culturais (MORO et al., 2013; SOUZA et al., 2017).

Dentre essas espécies, encontra-se a aveia, que é uma planta anual, pertencente à família Poaceae. Alguns pesquisadores relatam que a aveia é de origem do Oriente Médio, porém, a origem exata se perdeu na antiguidade (ARRUDA, 2011; PEREIRA et al., 2011).

A aveia é um dos cereais de inverno mais utilizados da agricultura. A aveia branca (*Avena sativa* L.) é mais empregada para a produção de grãos (NIRMALAKUMARI et al., 2013; CARGNELUTTI FILHO et al., 2015). Porém, quando o objetivo é a cobertura do solo, a aveia preta (*Avena strigosa* S.), se destaca (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015).

A cultura possui determinadas particularidades, as quais fazem com que se destaque como uma planta de cobertura do solo. Características como congruência de ciclo com as demais espécies utilizadas no sistema produtivo, eminente produção de fitomassa, sistema radicular abundante e vigoroso, rusticidade diante de impasses climáticos e fitossanitários, desenvolvimento de forma satisfatória em solos de baixa fertilidade natural, pode ser empregada com manejo mecânico e pastoreio, além de que, pode ser armazenada na forma de feno ou silagem devido seu elevado teor nutritivo (SILVA et al., 2011). Por possuir facilidade de produção de sementes, se enquadrou nos sistemas produtivos sul-brasileiros de forma intensa, sendo empregada como planta de cobertura do solo e como elemento relevante em pastagens anuais de inverno (CARVALHO et al., 2013).

Existem inúmeras plantas destinadas à cobertura do solo no período de inverno, porém, a aveia preta é a mais adotada na região Sul do Brasil, precedendo especialmente os cultivos de milho e soja no verão (CARVALHO et al., 2013). Outro ponto vantajoso quando se utiliza essa cultura é o melhoramento das condições físicas, químicas e sanitárias dos solos, a cultura se enquadra com uma planta benéfica ao sistema solo-planta. Ultimamente com o progresso de modelos de exploração abarcando a produção animal, como o manejo integração lavoura-pecuária, a aveia preta se tornou ainda mais importante (ZIECH et al., 2015).

A cultura é uma das poucas que pode ser cultivada sem grandes restrições, sua alta produção de palhada proporciona uma redução significativa na população de plantas daninhas em razão do seu poder supressivo/alelopático, diminuindo assim custos com herbicidas ou capinas. A cultura pode ser dessecada, rolada com rolo-faca ou incorporada ao solo na fase de emborrachamento ou de pré-floração. Por possuir alta capacidade de produção de matéria seca, é utilizada como planta de cobertura do solo no SPD. Sua capacidade de produção de palhada é elevada, conseqüentemente a relação carbono/nitrogênio é alta e com isso a velocidade de

decomposição é baixa, fazendo com que o solo fique coberto pela palhada por um período de tempo maior (BARROS, 2013).

O emprego de leguminosas como plantas de cobertura do solo e como forrageiras é um modo de potencializar os recursos naturais (BERGER et al., 2002; NUNES et al., 2011), porém, a utilização desses conceitos ainda é exíguo, isso devido a insuficiência de informações sobre, cultivares e formas de manejo das mesmas perante aos diferentes ambientes (ALBUQUERQUE et al., 2013).

Pesquisadores afirmam que uma alternativa para ampliar a disponibilidade de N no solo é através da utilização de espécies leguminosas, pois as mesmas possuem capacidade de fixar o N_2 atmosférico por meio da simbiose com bactérias nitrificadoras ou específicas.

Entre as espécies de leguminosas de inverno empregadas como plantas de cobertura ou adubação verde, a ervilhaca (*Vicia* sp.) é a mais utilizada por parte dos agricultores. Essa escolha é devido as suas propriedades nutricionais, fixação biológica de N e resistência a altas temperaturas (SANTOS et al., 2002; SANTOS et al., 2006; SILVA et al., 2006). A ervilhaca é cultivada em inúmeras regiões do mundo, seu uso pode ser de diversas formas como, pastejo (consorciada ou solteiras), silagem, feno, produção de grãos e como planta de cobertura. Como planta de cobertura a ervilhaca é uma das culturas mais utilizadas devido seu alto potencial de fixação de N e reciclagem de nutrientes. Outra particularidade da ervilhaca é a baixa relação C/N, isso é um fator positivo quando se objetiva a reciclagem de nutrientes contido nos resíduos vegetais.

Em um trabalho realizado por Giacomini et al. (2004), os pesquisadores constataram que a leguminosa fixa 88,8kg ha⁻¹ de nitrogênio e dispõem de uma relação C/N de 14,1, disponibilizando de forma acelerada o N para a cultura sucessora (Albuquerque et al., 2013)

Dentre as espécies mais cultivadas no Brasil se evidenciam duas, a ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) e a ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), sendo identificadas e diferenciadas de forma simples, a ervilhaca peluda apresenta folhas pilosas e levemente oblongas, já a ervilhaca comum exibe folhas sem pilosidade e com um formato mais arredondado (THEISEN; ANDRES, 2010). A espécie *Vicia villosa* Roth apresenta-se tolerante ao frio e a seca, além de uma ampla adaptação a diferentes condições climáticas. Em compensação, a produção de forragem é mais lenta e de um valor nutricional inferior, podendo até mesmo apresentar toxicidade para os animais em determinados estádios fenológicos (MIRANDA et al., 2005).

A produção de matéria seca baixa da ervilhaca peluda pode ser imputada ao seu crescimento inicial vagaroso e ao intervalo limitado de tempo entre a colheita da safra de verão e a semeadura do trigo, circunstâncias que afetam de forma negativa o pleno desenvolvimento

da planta de cobertura. Resultados obtidos por Martins e Rosa Júnior (2005) e Silva et al. (2006) avaliando o cultivo da ervilhaca peluda como planta de cobertura antecedendo o cultivo do milho, em Dourados (MS), apresentaram uma produção de matéria seca da ervilhaca peluda superior a 3.000 kg ha⁻¹, aos 113 e 153 dias após a semeadura, respectivamente.

Espécies leguminosas acumulam durante o seu ciclo uma grande quantidade de nitrogênio, o acúmulo na cultura da ervilhaca pode chegar a 220 kg ha⁻¹ (MONEGAT, 1991; ORTIZ et al., 2014). Aproximadamente 60% do N presente na matéria seca da parte aérea da ervilhaca é disponibilizado no decorrer dos primeiros 30 dias após o seu manejo (AMADO et al., 1999; AITA et al., 2001; AITA; GIACOMINI, 2003). Assim, o agricultor tendo essa informação, pode reduzir o emprego de fertilizantes nitrogenados industriais no cultivo de espécies, como o milho, de modo consequente ocorre uma redução no custo de produção e o risco de degradação ambiental correspondente à lixiviação do nitrato é reduzido.

Outra cultura que apresenta capacidade de elevar a disponibilidade de N no solo é o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*). Essa cultura pertence ao grupo das oleaginosas e faz parte da família das brassicáceas, por ser uma brassicácea o nabo não apresenta capacidade de fixar N₂ atmosférico, no entanto, possui uma alta capacidade de retirar N das camadas mais profundas e disponibilizá-lo nas camadas superficiais, sendo capaz de chegar a 200 kg ha⁻¹ de N reciclado (HEINZ et al., 2011).

O emprego dessa cultura como planta de cobertura do solo tem sido muito utilizado no Sul do Brasil. Os agricultores têm observado suas características e seus resultados e de forma sistemática incorporando a cultura em suas propriedades (CARGNELUTTI FILHO et al., 2014). O nabo forrageiro apresenta baixo custo de produção, crescimento e desenvolvimento inicial lépido e seu ciclo é relativamente curto (AMADO et al., 2002; CREMONEZ et al., 2013). Por ser uma Brassicaceae de inverno e possuir características de crescimento rápido, após 30 a 40 dias do seu plantio o solo está integralmente coberto pela cultura, isso faz que a quantia de plantas daninhas no local seja menor, outro benefício é que a cultura não é hospedeira comum dos fitopatógenos das outras espécies cultivadas (HEINZ et al., 2011; HEINZ et al., 2013).

O nabo apresenta um alto acúmulo de matéria seca superior à da ervilhaca comum (DERPSCH et al., 1991; CASTRO et al., 2017). A cultura constata uma alta capacidade de reciclagem de nutrientes, especificamente nitrogênio e fósforo, o que a torna o seu emprego vantajoso em sistemas de rotação e sucessão de culturas. Devido ao seu ciclo curto, a cultura promove uma semeadura precoce da cultura sucessora.

Está cultura é rustica, a qual se desenvolve de forma satisfatória em solos moderadamente pobres em fertilidade, vale ressaltar que a cultura é tolerante a geadas. Outra característica do nabo forrageiro é a sua ação descompactante no solo, suas raízes pivotantes são vigorosas, e isso influencia de forma positiva na descompactação do solo. O nabo pode ser utilizado em sistemas de cultivo diferenciados como, cultivo mínimo e plantio direto (SANCHES, 2012).

A capacidade de plantas de cobertura em produzir resíduo no solo em grande quantidade e de boa qualidade é influenciada basicamente por três fatores; manejo adotado, clima e espécies. A escolha de determinada espécie para tal finalidade depende de algumas características como, rusticidade e agressividade, alto potencial de fitomassa e capacidade de absorver e acumular nutrientes, que poderão trazer resultados benéficos ao sistema solo-planta (PIANO et al., 2017).

Quando o produtor opta em cultivar plantas de coberturas do solo, elas entram em áreas que seriam destinadas aos pousios ou antecedendo as culturas comerciais. Porém, para que haja o sucesso no emprego dessas plantas, é preciso ter conhecimento da espécie a ser utilizada, condições edafoclimáticas da região onde será cultivada e a finalidade do plantio (BARROS, 2013).

Ter o conhecimento da dinâmica da liberação dos nutrientes, oriundos das plantas de cobertura é fundamental, através desses nutrientes que voltam ao solo, ocorre à estabilidade ou o aumento da fertilidade do solo (CARVALHO et al., 2017; PACHECO et al., 2017). Com o manejo das plantas de cobertura, quantidades consideráveis de nutrientes voltam ao solo e posteriormente são absorvidas pelas culturas seguintes (CRUSCIOL et al., 2008; SORATTO et al., 2012).

Uma grande quantidade de nutrientes está presente nos resíduos culturais. A disponibilidade dos mesmos para as culturas instaladas pode ser rápida e intensa ou lenta e gradativa, fatores como, temperatura, precipitação pluviométrica, macro e microbiologia do solo, influenciam de forma contundente a ciclagem dos nutrientes (TEIXEIRA et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2012; PIANO et al., 2017).

A matéria orgânica (MO) é formada por matérias em decomposição e organismos, em sua composição, encontra-se, carbono, minerais, resíduos vegetais e animais. Com a adição de MO ao solo, ocorre a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (NASCIMENTO et al., 2010; SILVA et al., 2013).

Possui ainda papel fundamental ao solo e as culturas, pois fornece nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A MO apresenta cargas de superfície que

contribuem para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), proporcionando assim uma maior retenção de cátions, como cálcio, magnésio e potássio, impedindo que sejam lixiviados. Devido sua alta reatividade a MO disponibiliza através da solução do solo, vários nutrientes (SILVA et al., 2013).

Os atributos físicos do solo, assim como os químicos e biológicos, podem ser modificados através do sistema e do manejo do solo que é adotado. Dentre os atributos físicos do solo, a densidade do solo, porosidade do total, macro e microporosidade, condutividade hidráulica saturada e taxa de infiltração de água, são os mais frequentemente utilizados como indicadores de qualidade do solo, por ser de fácil determinação e baixo custo de obtenção dos dados (SECCO et al., 2005; EFFGEN et al., 2012; ARAUJO et al., 2015).

A utilização de plantas destinadas a cobertura vegetal no SPD apresenta resultados benéficos aos atributos físicos do solo, devido à deposição da palhada sobre a superfície do solo, ocorre o aumento da taxa de infiltração de água, assim, o desenvolvimento do sistema radicular da planta é facilitado, a possibilidade de erosão é diminuída, garantindo a manutenção da estabilidade do sistema (MORO et al., 2013; FARIAS et al., 2015).

As particularidades das espécies utilizadas como plantas de cobertura, influenciam a dinâmica da água no solo, podendo assim reduzir a evaporação, aumentar a capacidade de infiltração e proteção do solo contra os efeitos danosos provocados pelo impacto das gotas de chuva (KLEN; KLEN, 2014).

Tais resultados são relevantes e positivos, porém, ainda existe uma porcentagem de agricultores na região sul do Brasil que, no período da estação fria deixa o solo em pousio, sem nenhum tipo de vegetação. Infelizmente quando o solo se encontra sem nenhum cultivo ocorre a proliferação de plantas daninhas, erosão hídrica e perda da qualidade físico-químico do mesmo (DEBIASI et al., 2010; SANTOS et al., 2019).

A degradação dos solos é um problema que ocorre em todo o planeta e compõe um fenômeno de grande importância, em razão da velocidade que ocorre e pelo fato de promover imensos malefícios para as diferentes atividades econômicas e para o meio ambiente. Para os pesquisadores Bertoni e Lombardi Neto (2010) a forma mais ativa do processo de degradação dos solos é a erosão hídrica. A troca do pousio por plantas de cobertura apresenta-se como uma interessante ação que retarda o processo erosivo e a degradação dos solos.

As atividades agrícolas, agricultura e pecuária, realizadas de forma extrativista sem o uso de práticas conservacionistas colaborou de forma danosa para a qualidade química, física e biológica, reduzindo o potencial agrícola dos solos (SANTOS et al., 2019). O dano nas

propriedades físicas do solo através da compactação tem sido visto como um dos principais fatores causadores de queda de produção das culturas.

O aumento no processo de compactação está de modo direto ligado a escolha do sistema de manejo do solo (DRESCHER et al., 2016), combinado com práticas agrícolas não conservacionistas que induzem mudanças na sua estrutura. Os espaços porosos do solo junto com a resistência mecânica à penetração, são propriedades físicas capazes de limitar o crescimento do sistema radicular e consequentemente a produtividade das culturas (OLIVEIRA et al., 2015), visto que influenciam as condições de disponibilidade de água, aeração e crescimento radicular (REICHERT et al., 2007; DEBIASI et al., 2010).

De modo similar às propriedades físicas do solo, as propriedades biológicas se caracterizam como um constituinte vulnerável às modificações do manejo do solo, como calagem, fertilização e aplicações de defensivos agrícolas (DRESCHER et al., 2011) tornando-se relevantes bioindicadores de estado de equilíbrio ou conturbação do meio ambiente (LUDWIG et al., 2012).

Sistemas conservacionistas propiciam a adição de compostos orgânicos ao solo, consequentemente inúmeros benefícios são obtidos (OLIVEIRA et al., 2015), isso porque a matéria orgânica exerce um papel fundamental na formação e estabilização de agregados do solo (PEREIRA et al., 2012) além de acomodar uma população múltipla de fauna epiedáfica, o que da mesma forma coopera para a estruturação do solo através do movimento de partículas orgânicas e ciclagem de nutrientes (COSTA; DRESCHER, 2018).

Entre os anos de 1980 e 2000 ocorreu a ascensão do sistema plantio direto (SPD), esse progresso ocorreu devido a vários fatores, tais como, compreensão da importância dos microorganismos na ciclagem de nutrientes, importância dos resíduos culturais no restabelecimento da matéria orgânica, dinâmica da matéria orgânica no solo e a sua influência nos agregados do solo (SÁ; FERREIRA, 2018). Fatores como estes consolidaram o SPD como uma prática conservacionista.

Atualmente o SPD tem sido caracterizado como um agente relevante no manejo sustentável dos solos nos agroecossistemas brasileiros (FRANCHINI et al., 2012). A utilização de plantas destinadas a cobertura vegetal no SPD apresenta resultados benéficos aos atributos físicos do solo, devido à deposição da palhada sobre a superfície do solo, ocorre o aumento da taxa de infiltração de água, assim o desenvolvimento do sistema radicular da planta é facilitado, a possibilidade de erosão é diminuída, garantindo a manutenção da estabilidade do sistema (ARAUJO et al., 2015; FARIAS et al., 2015).

Segundo Franchini et al. (2011), a sucessão de culturas pode ser definida, como a alternância de duas espécies ao longo do tempo em uma mesma área de produção agrícola, uma em cada estação do ano. É uma prática popularmente utilizada pelos produtores, os quais, no verão, optam por culturais anuais, como a soja e o milho, e durante o inverno, cultivam espécies destinadas a cobertura do solo e/ou pastejo, como a aveia, nabo forrageiro, ervilha forrageira, dentre outras.

Esta prática apresenta vantagens, como a ciclagem de nutrientes, capacidade de promover melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e incremento na produtividade das culturas em sucessão (CARVALHO et al., 2007; FERREIRA et al., 2015).

As plantas de cobertura do solo de inverno, quando cultivadas, apontam vantagens e desvantagem para o milho em sucessão no SPD, assim é difícil designar uma determinada cultura ou espécie que obtenha somente de características positivas. Uma das formas de se obter maiores ganhos derivados das plantas de cobertura é através de cultivos consorciados, o qual se compõe através de diferentes espécies, proporcionando uma formação alta e de qualidade de resíduos vegetais, consequentemente aumentando o rendimento de grãos de milho quando cultivado em sucessão. Os consórcios entre gramíneas e leguminosas ou brassicas, oportunizam eficiente cobertura vegetal do solo e uma ótima reciclagem de nutrientes (SILVA et al., 2007; PACHECO et al., 2017).

O milho (*Zea mays* L.) é nativo da América Central, a cultura pertence à família das Gramíneas (PATERNIANI et al., 2000; CRUZ et al., 2015). No transcorrer dos últimos anos a cultura do milho atingiu o patamar de maior cultura agrícola do mundo, excepcionalmente a cultura excedeu a margem de 1 bilhão de toneladas (CONTINI et al., 2019).

Simultaneamente à sua importância relacionado a produção, o milho se destaca pelos seus inúmeros destinos. Estimativas indicam mais de 3.500 destinos para este cereal. Além da pertinência no ponto de vista de segurança alimentar, alimentação humana e animal, através do milho é capaz de se produzir inúmeros produtos, por exemplo medicamentos, bebidas, combustíveis, etc (MIRANDA, 2018; CONTINI et al., 2019).

No início da década de 2000 a produção mundial do milho era de aproximadamente 591 milhões de toneladas. Na safra de 2017/18 a produção foi de 1,076 bilhão de toneladas, esse progresso extraordinário se deu principalmente devido sua utilização como ração animal para suínos e frangos (FERRO et al., 2017; CONTINI et al., 2019).

A produção é levemente restrita a poucos países, os Estados Unidos se destacam com uma produção de aproximadamente 371 milhões de toneladas, cerca de 34,5% da produção mundial, seguido da China com uma produção de aproximadamente 263 milhões de toneladas,

por volta de 24,5% da produção mundial, logo em seguida vem o Brasil com uma produção de aproximadamente 82 milhões de toneladas, correspondente a 7,7% da produção mundial de milho. Segundo os dados da USDA os três países correspondem a 44,5% da produção mundial de milho (FERRO et al., 2017; ASCARI et al., 2019).

Relevante na agricultura brasileira, o milho é cultivado em todo o território nacional e nos últimos 20 anos a cultura transpôs inúmeras mudanças, salientando a sua mudança de uma cultura de subsistência de limitados produtores e a sua expansão em uma agricultura comercial efetiva (COUTO et al., 2017; CONTINI et al., 2019).

A cultura apresenta uma satisfatória distribuição regional. Os principais estados produtores são Mato Grosso, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, este conjunto de estados produtores representou cerca de 74,2% da safra nacional de milho em 2017/18. Na safra 2016/17 sucedeu o recorde da produção brasileira, 97,8 milhões de toneladas, porém esse valor pode ser superado nos próximos anos, a produção pode chegar a 180 milhões de toneladas na próxima década (GASQUES et al., 2018; CONAB, 2019).

A cultura do milho hoje é considerada um alicerce para agricultura brasileira. A cultura constitui inúmeros sistemas de cultivo, seja posterior a colheita da soja, ora em um programa de rotação de culturas sob o plantio direto ou mesmo em cultivos consorciados com gramíneas forrageiras para estruturar sistemas integrados de produção lavoura-pecuária (CRUZ et al., 2011 ; FERRO et al., 2017). A pluralidade de tecnologias aplicadas nos locais onde se produz este cereal modifica não só a oferta de grãos no mercado interno, como do mesmo modo afetam nos preços das commodities agrícolas ou pecuárias que integram os sistemas produtivos no qual o milho está incluído (FERREIRA et al., 2018).

São inúmeras as cadeias relacionadas à agricultura e pecuária que dependem do milho nas suas múltiplas formas de utilização. Pode ser na forma de silagem (utilizando de forma integral a planta para a alimentação animal), produção de grãos (alimentação humana ou para compor dietas de animais), além disso, o milho pode ser utilizado para a produção de etanol e grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS), um subproduto oriundo da produção de etanol. Vale ressaltar que todas as regiões agrícolas e pecuárias do País necessitam da cultura para novas possibilidades de receita, atenuação nos custos de produção e, sobretudo, oportunidade de novos negócios (CRUZ et al., 2013; COUTO et al., 2017; CONTINI et al., 2019).

Aproximadamente 70% da produção mundial da cultura é direcionada à alimentação animal, este percentual pode chegar a 85% em países progressistas. De uma forma geral, apenas 15% da produção mundial é remetida à consumo humana, sendo de modo direto ou indireto (PAES, 2006; COUTO et al., 2017).

Quando o assunto é alimentação animal, a silagem de milho é a mais empregada devido sua composição bromatológica atestar os requisitos para à fabricação de uma adequada silagem como, fermentação microbiana satisfatória, poder tampão baixo, teor de matéria seca adequado e carboidratos solúveis (COUTO et al., 2017). Para Cruz et al. (2014), ocorre por parte dos produtores uma apreensão na hora de se produzir alimentos volumoso para os animais, em especial na estação seca do ano, quando as pastagens se tornam ainda mais instáveis, por isso, o emprego da silagem na alimentação animal tem aumentado cada vez mais (FERRO et al., 2017; MELO et al., 2019).

Diante do exposto, o presente estudo tem como hipótese: as plantas de cobertura manejadas sob sistema de semeadura direta, contribuem na melhoria das propriedades físicas do solo, ciclagem de nutrientes e produtividade do milho, quando comparado a área pousio. Para a exposição dos resultados, esta tese, foi dividida em três capítulos, do qual, cada capítulo apresenta os objetivos.

O capítulo I intitulado “Manejo químico e mecânico da parte aérea de plantas de cobertura e suas implicações nas propriedades físicas do solo” teve como objetivos: avaliar variações na macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico da região Oeste do Paraná, manejadas sob sistema de semeadura direta.

O capítulo II intitulado “Produção, decomposição e liberação de nutrientes da matéria seca remanescente de plantas de cobertura de solo sob sistema de sucessão de culturas ” teve como objetivos: determinadas as quantidades residuais de matéria seca (MS), além das quantidades remanescentes de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na cobertura morta do solo.

O capítulo III intitulado “Características agronômicas e produtividade de milho silagem cultivado após manejos de plantas de cobertura” teve como objetivos: avaliar a altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro basal de caule, matéria seca de folhas, caule e espigas, além da produtividade do milho, cultivado em sucessão as plantas de cobertura do solo manejado de formas diferentes em sistema de semeadura direta.

1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; CERETTA, C. A. (2014) Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In: Filho OFL, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Eds.) Adubação verde e plantas cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília: Embrapa, v. 1, p. 225-264.
- ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; FILHO, G. M.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 721-726, 2013.
- ALBUQUERQUE, M. A. Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em Latossolo Vermelho sob sistemas de culturas em plantio direto. 2012. 90pp. (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- ASCARI, J. P.; ARAÚJO, D. V.; MENDES, I. R. N.; DALLACORT, R.; MATSUMOTO, L. S. Adubo biológico e plantas de cobertura em atributos do solo e rendimento de milho. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 709-718, 2019.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. Marco Referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Embrapa, 2011.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.133-142, 2007.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 7.ed. São Paulo, Ícone, 2010. 355p
- BESSEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; MONTEIRO, A. N. T. R.; IWASAKI, G. S.; PIVA, J. T. Soil conservation practices and greenhouse gases emissions in Brazil. **Scientia Agropecuaria**, v. 9, n. 3, p. 429-439, 2018.
- BHARDWAJ, A. K.; JASROTIA, P.; HAMILTON, S.; ROBERTSON, P. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, n. 3-4, p. 419-429, 2011.
- BRAGAGNOLO, C.; BARROS, G. S. C. Impactos Dinâmicos dos Fatores de Produção e da Produtividade sobre a Função de Produção Agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 01, p. 31-50, 2015.
- BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M. ; LAL, R.; TIVET, F.; FRANCHINI, J. C.; FERREIRA, A. O.; HARTMAN, D. C.; SCHIMIGUEL, R.; BRESSAN, P. T.; INAGAKI, T. M. ; ROMANIW, J.; GONÇALVES, D. R. P. How does no-till deliver carbon stabilization and saturation in highly weathered soils. **Catena**, v. 163, p. 13-23, 2018.
- CAPUANI, S.; RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. M.; BRITO NETO, J. F. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1269-1274, 2012.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MARCOS, T.; ALVES, B. M.; BURIN, C.; SANTOS, G. O.; FACCO, G.; E NEU, I. M. M. Relações lineares entre caracteres de aveia preta. *Revista Ciência Rural*, v. 45, n. 6, p. 985-992, 2015.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. SPD aumenta o sequestro de carbono pelo solo. *Visão agrícola*, v. 9, p. 132-135, 2009.

CARVALHO, W. P.; CARVALHO, G. J.; ABBADE NETO, D. O.; TEIXEIRA, L. G. V. Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, p.157-166, 2013.

CARVALHO, W. P.; CARVALHO, G. J.; ABBADE NETO, D. O.; TEIXEIRA, L. G. V. Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 2, p. 157-166, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Brasília - DF: **CONAB**, 2019.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. B.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, v. 32, p. 15- 53, 2015.

COSTA, L. M.; DRESCHER, M. S. Implicações do manejo agrícola na fauna epigênica e nas propriedades físicas do solo de um Latossolo argiloso. *Revista Ceres*, v. 65, n. 5, p. 443-449 2018.

COUTO, C. A.; SILVA, É. M.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, M. T. P.; VASCONCELOS, J. C.; SILVA, A. R.; SOBREIRA, E. A.; MOURA, J. B. Desempenho de Cultivares de Milho destinados para produção de Milho Verde e Silagem. *Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 6, n.1, p. 232-251, 2017.

CRUZ, J. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; QUEIROZ, L. R. Milho – Cultivares para 2013/2014. Embrapa Milho e Sorgo, 2013.

CRUZ, J. C.; MAGALHÃES, P.C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SIMÃO, E. P. Cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para safra 2014/15. Documentos 167 - Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2014.

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, n. 6, p. 603-612, 2010.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DE MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Revista Bragantia*, v. 74, p 224-233, 2015.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo

argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 159-168, 2016.

DRESCHER, M. S.; ROVEDDER, A. P. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; ELTZ, F. L. F.; DRESCHER, G. L. Fauna epigeica em sistemas de produção de *Nicotiana tabacum* L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1499-1507, 2011.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER G. L. Resistência à penetração e rendimento da soja após a intervenção mecânica no latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6 p. 1836-1844, 2012.

DYONISIO, A. H. F. Erosão Hídrica: Susceptibilidade do Solo. **Revista Eletrônica Thesis**, v. 7, n. 13, p. 15-25, 2010.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Milho: Caracterização e desafios tecnológicos. Embrapa, Maio de 2019. 45 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho_caracterizacao.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Cultivo do milho – Sistema de Produção 1. Embrapa Milho e Sorgo. Novembro de 2015. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo>. Acesso em: 20 set. 2020.

FELEMA, J.; RAIHER, A. P.; FERREIRA, C. R. Agropecuária Brasileira: desempenho regional e determinantes de produtividade. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 3, p. 555-573, 2013.

FERREIRA, A. O.; GONZATTO, R.; SOARES, F. C.; MIOLA, A.; PINTO, J. S.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. Influência da declividade e de níveis de cobertura do solo no processo de erosão com chuva controlada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 182-190, 2010.

FERREIRA, A. O.; AMADO, T. J. C.; RICE, C. W.; DIAZ, D. A. R.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T. M.; GONÇALVES, D. R. P. Driving factors of soil carbon accumulation in Oxisols in long-term no-till systems of South Brazil. **Science of the Total Environment**, 2018.

FERREIRA, T. A.; FERREIRA, S. C.; BARBOSA, J. A.; VOLPATO, C. E. S.; FERREIRA, R. C.; SILVA, M. J. S.; BARBOSA, L. M.; Balanço energético da silagem de milho irrigado. **Revista Ciência Rural**, v. 48, n. 5, 2018.

FERRO, N. D.; ZANIN, G.; BORIN, M. Rendimento da safra e uso de energia na agricultura orgânica e convencional: um estudo de caso no nordeste da Itália. **European Journal of Agronomy**, v. 86, p. 37-47, 2017.

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; ALVES, B. M.^{II}; GIOVANI FACCO, G.; CASAROTTO, G. Relações lineares entre caracteres de nabo forrageiro e tremoço branco. **Revista Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 18-24, 2014.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A. A. B.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; DE OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F.S.; PICCOLO, M.C.; ZANATTA, J.A.; VIEIRA, F.C.B.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops based rotations under subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 36-44, 2009.

HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; VIEGAS NETO, A. L.; MOTA, L. H. S.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crame e nabo forrageiro. **Revista Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, 2011.

HEINZ, R.; VIEGAS NETO, A. L.; GARBIATE, M. V.; MOTA, L. H. S. Desenvolvimento inicial do milho após diferentes manejos de nabo forrageiro. **Revista Agrarian**, v. 6, n. 21, p. 363-367, 2013

KATEB, H. E.; ZHANG, H.; ZHANG, P.; MOSANDL, R. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province. **Catena**, v. 105, p. 1-10, 2013.

LIMA, L. C. M.; SANTOS, T. E. M.; SOUZA, E. R.; OLIVEIRA, E. L. Práticas de manejo e conservação do solo: Percepção de agricultores da Região Semiárida pernambucana. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n. 4, p. 148-153, 2016.

LIU, Z.; ZHOU, W.; SHEN, J.; LI, S. Soil quality assessment of yellow clayey paddy soils with different productivity. **Biology and Fertility of Soils**, v. 50, n. 3, p. 537-48, 2014.

LÓPEZ-GARRIDO, R.; MADEJÓN, E.; LEÓN-CAMACHO, M.; GIRÓN, I.; MORENO, F.; MURILLO, J.M. Reduced tillage as an alternative to no-tillage under Mediterranean conditions: a case study. **Soil and Tillage Research**, v.140, p.40-47, 2014.

LUDWIG, R. L.; PIZZANI, R.; SCHAEFER, P. E.; GOULART, R. Z.; LOVATO, T. Efeito de diferentes sistemas de uso do solo na diversidade da fauna edáfica na região central do Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, 8:485-495, 2012.

MELO, D.; NÓBREGA, L. H. P.; MAGGI, M. F.; GNOATTO, E.; MARCHETTI, I. Compactação do solo em áreas de milho utilizadas para silagem com a aplicação de efluentes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 2, p. 205-215, 2019.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 1, n. 3, p. 37-48, 2013.

MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. dos S.; CARBONERA, L. Estudo de penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.5, p.584- 590. 2012.

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.

RIQUETTI, N. B.; SOUSA, S. F. G.; TAVARES, L. A. F.; CORREIA, T. P. S.; SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Diferentes manejos da palha de aveia preta na produtividade de milho em plantio direto. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 22, n. 2, 2012

NUNES, A. S.; SOUZA, L. C. F.; MERCANTE, F. M. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. **Revista Bragantia**, v.70, n. 2, p. 432-438, 2011.

OLIVEIRA, D. M. S.; LIMA, R. P.; VERBURG, E. E. J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 280-285, 2015.

ORTIZ, S.; MARTIN, T. N.; BRUM, M. S.; NUNES, N. V.; STECCA, J. D. L.; LUDWIG, R. L. Densidade de semeadura de duas espécies de ervilhaca sobre caracteres agrônômicos e composição bromatológica. **Revista Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 245-251, 2015.

OSUNA, V. R.; BONNER, J.; NEHREN, U.; PRADO, R. B.; GAESE, H.; HEINRICH, J. Priority areas for watershed service conservation in the Guapi-Macacu region of Rio de Janeiro, Atlantic Forest, Brazil. **Ecological Processes**, v. 3, n. 16, p. 06-16, 2014.

PAIVA, A. Q.; ARAÚJO, Q. R. Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia. *Ciência, tecnologia e manejo do cacau*, 2012.

PARAJULI, P. B.; JAYAKODY, P.; SASSENATH, G. F.; OUYANG, Y. Assessing the impacts of climate change and tillage practices on stream flow, crop and sediment yields from the Mississippi River Basin. **Agricultural Water Management**, v. 168, p. 112-124, 2016.

PEREIRA, R. C.; ALBANEZ, J. M.; MAMÉDIO, I. M. P. Diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas. **Magistra**, v. 24, p. 63-76, 2012.

PIANO, J. T.; EGEWARTH, J. F.; EGEWARTH, V. A.; MATTEI, E.; BARTZEN, B. T.; OLIVEIRA, P. S. R. Deposição e composição de palhada residual em área com integração lavoura pecuária. **Revista Agrarian**, v.10, n.37, p. 234-243, 2017.

REDIN, M.; RECOUS, S.; AITA, C.; CHAVES, B.; PFEIFER, I.C.; BASTOS, L.M.; PILECCO, G.E.; GIACOMINI, S.J. Root and Shoot Contribution to Carbon and Nitrogen Inputs in the Topsoil Layer in No-Tillage Crop Systems under Subtropical Conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-16, 2018.

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

ROBOREDO, D. ; MAIA, J. C. S.; OLIVEIRA, O. J. DE; ROQUE, C. G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um Latossolo vermelho distrófico. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 308-314, 2010.

SÁ, J. C. M.; FERREIRA, A. D. The soil science in the evolution of no-till system in Brazil. *Boletim informativo-sociedade brasileira de ciência do solo*. V.44, p. 54-57, 2018.

SALGADO, P.; THANG, V. Q.; QUI, T. V.; TRACH, N. X.; VU, C. C.; LECOMTE, P.; RICHARD, D. Oats (*Avena strigosa*) as winter forage for dairy cows in Vietnam: an on-farm study. **Tropical Animal Health and Production**, v. 45, p. 561-568, 2013.

SANTOS, E. L.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; VIEIRA, M. J.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Aplicação de cinzel e gesso afetando atributos físicos do solo, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 4, p. 536-542, 2019.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; SPERA, S. T.; ÁVILA, A. Efeito de práticas culturais sobre o rendimento e outras características agronômicas de trigo. **Revista Bragantia**, v. 65, p. 669-677, 2006.

SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D.; MONTENEGRO, A. A. A. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco State. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 34, p. 1733-1741, 2010.

SCHERER, C. E. M.; PORSE, A. A. Eficiência Produtiva Regional da Agricultura Brasileira: uma análise de fronteira estocástica. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 02, p. 389-410, 2017.

SCHOLLES, D.; LISBOA, B. B.; SÃO JOSÉ, J. F. B.; VARGAS, L. K. Atividade microbiana e permanência dos resíduos vegetais em função de sua composição e disposição no solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, n. 1, p.3-13, 2021.

SHEN, J. Y.; ZHAO, D. D.; HAN, H. F.; ZHOU, X. B.; LI, Q. Q. Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. **Plant Soil Environ**, v. 4, p. 161-166, 2012.

SILVA, A. A.; SILVA, P. R. F.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. Soil covering systems in the winter and its effects on maize grain yield grown in succession. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.928-935, 2007.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Revista Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 147-156, 2011.

SILVA, D. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, p. 75-88, 2006.

SILVA, D. C. C.; FILHO, J. L. A.; VENDAS, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p.627-642, 2016.

SILVA, F.; SANTOS, L. P.; FOLETO, E. M. Incompatibilidade legal de uso e ocupação do solo a partir da aptidão agrícola: o caso da microbacia hidrográfica do arroio Manoel Alves, Itaara/RS. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, 2013.

SILVA, J. A. N.; SOUZA, C. M. A.; SILVA, C. J.; BOTTEGA, S. P. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 769-775, 2012.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L.; SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agrônômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do alto vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.2, p.635-643, 2011.

VANWALLEGHEM, T.; GÓMEZ, J. A.; AMATE, J.I; MOLINA, M. G.; VANDERLINDEN, K.; GUZMÁN, G.; LAGUNA, A.; GIRÁLDEZ, J. V. Impacto das mudanças históricas no uso e na gestão do solo na erosão do solo e na sustentabilidade agrícola durante o Antropoceno. *Anthropocene*, v.17, p.13-29, 2017.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 743-755, 2009.

VOGEL, G. F.; MARTINKOSKI, L.; GRILLO, J. F.; MICHALOVICZ, L.; FEY, R. Avaliação dos penetômetros de impacto e eletrônico na determinação da resistência mecânica a penetração do solo. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 3, p. 30-36, 2017.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; BAGIO, B.; KAUFMANN, D. S. Long-Term Effect of Soil Use and Management on Organic Carbon and Aggregate Stability. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-13, 2018.

XU, Y.; TANG, H.; XIAO, X.; LI, W.; CHAO, L.; SUN, G.; CHENG, K. Effects of long-term fertilization management practices on soil microbial carbon and microbial biomass in paddy soil at various stages of rice growth. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, n. 01, p. 70-111, 2018.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hiberna na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

2 CAPÍTULO 1: MANEJO QUÍMICO E MECÂNICO DA PARTE AÉREA DE PLANTAS DE COBERTURA E SUAS IMPLICAÇÕES NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

RESUMO

A produção agrícola impulsionou a utilização do solo através de diferentes manejos. Desta maneira há uma procura de manejos que visam um custo reduzido de produção e uma maior produtividade das culturas agrícolas. O intuito deste trabalho foi avaliar o efeito de plantas de cobertura e dois manejos nas propriedades físicas do solo cultivadas em semeadura direta. O trabalho foi conduzido na Estação Experimental “Professor Antônio Carlos dos Santos Pessoa” da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em delineamento de faixas, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas possuíam o tamanho de 120m², nas mesmas foram dispostas as plantas de cobertura: aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca peluda, aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + ervilhaca peluda e o pousio. As subparcelas possuíam 60m² e nelas foram alocados os manejos das plantas de cobertura: químico e mecânico. A caracterização física do solo foi realizada pelo método do anel volumétrico, em ambos os anos antecedendo o manejo das plantas de cobertura, foram abertas trincheiras em cada subparcela experimental para coleta de amostras indeformadas de solo utilizando anéis volumétricos de aço inox com volume de 98 cm³, em três camadas do solo 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e de 0,2-0,3 m. As variáveis analisadas foram: porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo. As plantas de cobertura e os manejos não promoveram alterações nas propriedades físicas do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema conservacionista, manejo do solo, atributos físicos.

CHEMICAL AND MECHANICAL MANAGEMENT OF THE AERIAL PART OF COVER CROPS AND ITS IMPLICATIONS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES

ABSTRACT

Agricultural production boosted soil use through different management practices. In this way there is a demand for managements that aim at a reduced cost of production and a greater productivity of agricultural crops. The aim of this work was to evaluate the effect of cover crops and two managements on the physical properties of the soil grown under no-tillage. The work was carried out at the Experimental Station “Professor Antônio Carlos dos Santos Pessoa” at the State University of Western Paraná, in a strip design, in a split-plot scheme, with three replications. The plots had a size of 120m², in which the cover crops were arranged: black oats, fodder radish, hairy vetch, black oats + fodder radish, black oats + hairy vetch and fallow. The subplots had 60m² and the management of cover crops was allocated: chemical and mechanical. The physical characterization of the soil was carried out by the volumetric ring method, in both years preceding the management of cover crops, trenches were opened in each experimental subplot to collect undisturbed soil samples using stainless steel volumetric rings with a volume of 98 cm³, in three soil layers 0-0.1 m, 0.1-0.2 m and 0.2-0.3 m. The analyzed variables were: total porosity, macroporosity, microporosity and soil density. The cover crops and the managements did not change the physical properties of the soil.

KEY WORDS: Conservation system, soil management, physical attributes.

2.1 INTRODUÇÃO

Para atender a grande demanda por matérias primas, o sistema de produção agrícola intensificou a utilização do solo através de manejos. Dessa maneira, há a procura de manejos que tencionam o menor custo de produção e maior produtividade das culturas (MORAES et al., 2014; TAVARES et al., 2017).

A conservação do solo e o seu uso de forma sustentável abrange fatores ambientais, econômicos e sociais, quando esses fatores são respeitados a demanda por alimentos, fibras e energia é atendida (WATANABE et al., 2018). Infelizmente por parte de alguns produtores ainda ocorre a exploração do solo de forma extrativista para obter maiores proveitos, isso ocasiona inúmeras perdas, acarretando assim na degradação do solo a curto, médio e longo prazo. Os eminentes são, erosão, compactação, lixiviação, dentre outros infortúnios (CAVALIERI et al., 2011; BAIIO et al., 2017).

No Brasil, o sistema plantio direto (SPD) é adotado por parte dos agricultores. O SPD perante os demais manejos do solo é relatado como um sistema conservacionistas, dispondo de inúmeros benefícios (AULER et al., 2017).

O SPD não está fundamentado apenas na ausência do revolvimento do solo, é necessário atender algumas exigências, como cultivo em nível, rotação de culturas e aporte de resíduos vegetais no solo (MORAES et al., 2014). Uma possibilidade para obter esses requisitos é através da introdução de plantas de cobertura do solo no sistema de cultivo (WEILER et al., 2019). É fundamental que pesquisas continuem sendo realizadas, a fim de ratificar a adoção dessa prática, devido aos inúmeros ganhos ocasionados pela mesma (ZIECH et al., 2014; SARMENTO et al., 2019).

É necessário que essas plantas de cobertura disponham de algumas características como rusticidade, tolerância a interferes climáticos e uma produção de material vegetal abundante (TEIXEIRA et al., 2012). Essas plantas concedem inúmeros benefícios, especialmente quando são manejadas sob o SPD. Os teores de carbono (C) no solo são ampliados, ocorre uma ciclagem de nutrientes (TIECHER et al., 2017), acréscimo de nitrogênio (N) no solo através da fixação biológica, amplitude térmica no solo é reduzida, umidade é mantida por um período maior e a erosão é mitigada (WEILER et al., 2018; WEILER et al., 2019).

A utilização de plantas de cobertura com o objetivo de produzir grandes quantidades de material vegetal ao solo, associado com o mínimo revolvimento do mesmo são medidas que podem minimizar os impactos ambientais divergentes e promover uma maior economia e eficiência na adubação, pois uma parcela dos nutrientes exigidos pode ser provida pela ciclagem

de nutrientes, oriundo da decomposição da palhada das plantas de cobertura (SANTOS et al., 2014; TIECHER et al., 2017).

Outro ponto observado e benéfico ocasionado com o emprego das plantas de cobertura do solo é o aumento dos teores de matéria orgânica (MO) no perfil do solo, geralmente nas camadas superficiais esses valores são maiores (TEIXEIRA et al., 2012; SARMENTO et al., 2019). Para García-Orenes et al. (2010), o acréscimo de MO no solo modifica as características físicas, químicas e biológicas do mesmo, assim a MO é uma das indicadoras de um solo de qualidade, pois a mesma é vulnerável a modificações derivadas pelo manejo adotado (LIMA et al., 2013; PACHECO et al., 2017).

Quando um solo é compactado a sua estrutura é alterada, aeração e a porosidade são reduzidas e a penetração radicular tende a diminuir (RAMOS et al., 2013; TAVARES et al., 2017; SILVA et al., 2018). Pesquisas apontam níveis mais altos de estabilidade de agregados em solos manejados sob SPD em comparação aos solos manejados sob sistema plantio convencional (SPC) (HICKMANN et al., 2011; TAVARES et al., 2017). Para Cardoso et al. (2013), devido ao tráfego intenso e inadequado ocorre o aumento da densidade do solo, promovendo a perda de estabilidade de agregados, afetando assim o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Existe uma estreita relação entre o manejo do solo e a erosão hídrica, pesquisas comprovam que o aumento da erosão ao longo do tempo é decorrente da intensificação e do inadequado manejo do solo (VANWALLEGHEM et al., 2017; RAMOS et al., 2019). O reestabelecimento físico, químico e biológico dos solos degradados é alcançado através de práticas integradas do sistema agrícola. Quando ocorre essa recuperação, o solo desempenha suas funções da melhor forma (SEQUINATTO et al., 2014; LOSS et al., 2015). As práticas integradas de manejo do solo, como semeadura direta, utilização de plantas de cobertura e o fluxo controlado de máquinas são eficientes na reabilitação estrutural de um solo degradado (SEQUINATTO et al., 2014; BAIIO et al., 2017).

Devido a eventuais alterações no solo, influenciadas pelas plantas de cobertura, objetivou-se avaliar variações na macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo em um Latossolo Vermelho Distroférico da região oeste do Paraná, conduzido sob sistema de semeadura direta ou mantido sob pousio.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização, clima e solo da área experimental

O presente estudo foi desenvolvido no período de 19 de abril de 2018 a 11 de janeiro de 2020, em condições de campo, na Fazenda Experimental “Professor Antônio Carlos dos Santos Pessoa” (latitude 24°31'58"S e longitude 54°01'10"W; altitude aproximada de 400 m), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *Campus* Marechal Cândido Rondon, situado na região Oeste do Paraná. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2018) na região o clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, as temperaturas médias variam de 22°C a 23°C e a precipitação média anual de 1.500 mm (ALVARES et al., 2014). Os dados climáticos relacionados ao período experimental (Figura 1 e 2) foram adquiridos através da Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE, localizada próximo à área experimental.

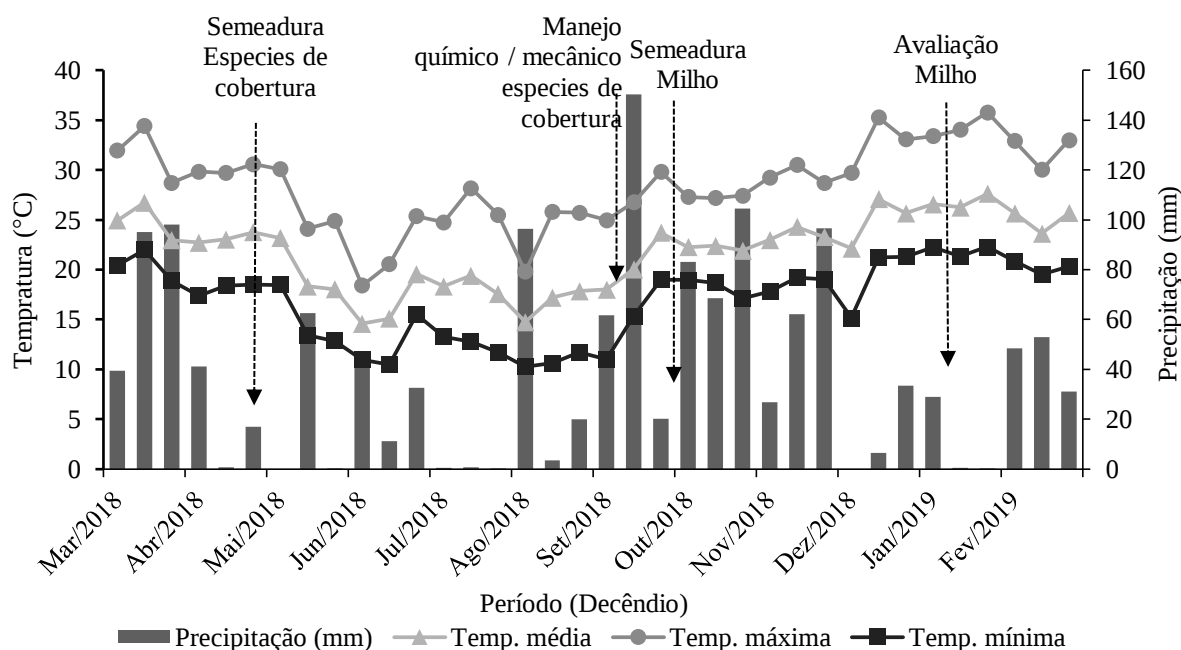


Figura 1 - Temperatura (°C) máxima, média e mínima do ar e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio durante o período de condução do experimento, de março/2018 a fevereiro/2019.

Fonte: UNIOESTE, Marechal Candido Rondon-PR.

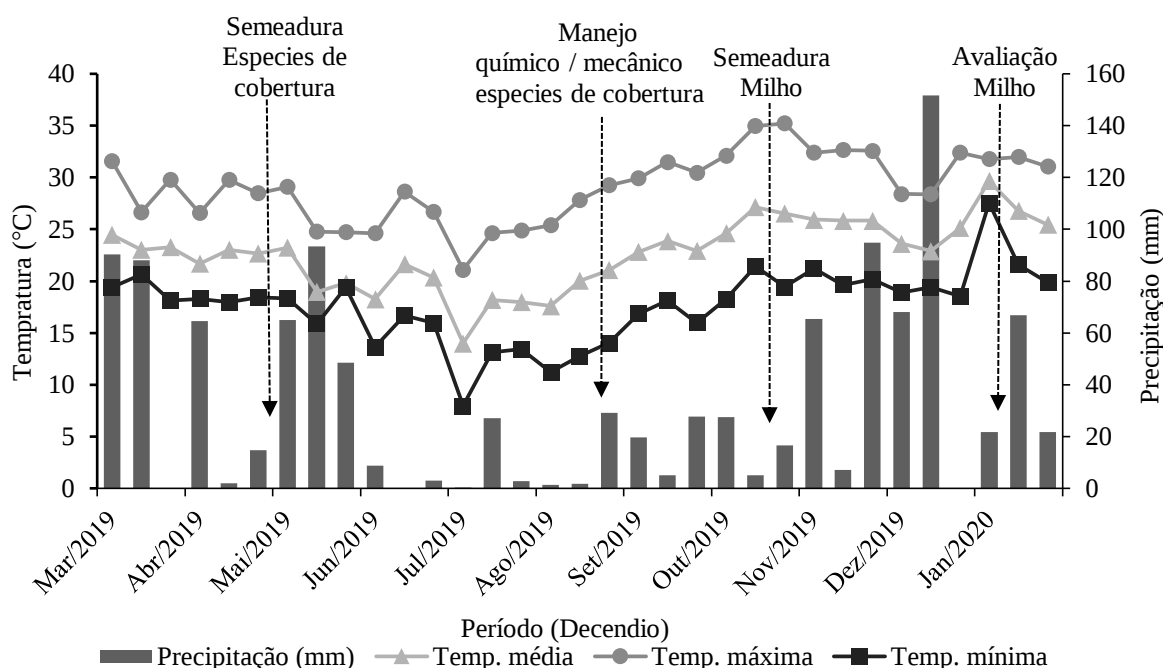


Figura 2 - Temperatura (°C) máxima, média e mínima do ar e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio durante o período de condução do experimento, de março/2019 a janeiro/2020.

Fonte: UNIOESTE, Marechal Candido Rondon-PR.

O local do experimento estava sendo manejado sob sistema de integração lavoura-pecuária. Antes da implantação do experimento, realizou-se o preparo solo, com aração e gradagem com o objetivo de descompactá-lo e de nivelar o mesmo. Em abril de 2018 foi realizada a amostragem de solo para a caracterização química (Tabela 1), no entanto, era necessário a realização da calagem, porém, não foi realizada.

Tabela 1 - Características granulométricas e químicas do solo nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, antes da implantação das espécies de cobertura (2018).

Camada	P	MO	pH	H+Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC
m	mg/dm ³	g dm ⁻³	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³						
0 – 0,1	42,6	31,57	4,42	6,70	0,45	0,41	3,57	1,72	5,70	12,40
0,1 – 0,2	36,28	27,54	4,34	7,00	0,58	0,36	3,23	1,56	5,15	12,16
0,2 – 0,3	28,85	28,21	4,29	7,06	0,68	0,28	3,19	1,44	4,91	11,97
Camada	V	Argila		Silte		Areia				
m	% dm ⁻³	g kg ⁻¹		g kg ⁻¹		g kg ⁻¹				
0 – 0,1	45,97									
0,1 – 0,2	42,39	666,5		302,1		31,4				
0,2 – 0,3	41,04									

P e K – Extrator Mehlich⁻¹; Al, Ca e Mg – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al – pH SMP (7,5).

2.2.2 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento experimental de faixas, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas foram representadas pelas plantas de cobertura (20x6 m) e as subparcelas (10x6 m), pelos manejos das plantas de cobertura (químico e mecânico) ambos realizados quando as plantas estavam no estágio de pleno florescimento. A área total do experimento alcançou 1.920 m².

2.2.3 Implantação e manejo das espécies de cobertura

O presente estudo foi realizado em abril de 2018, sendo que na área, nos dois anos, foi realizado capina manual e dessecação antes da semeadura das espécies de cobertura, devido à alta incidência de plantas daninhas na área. Foi utilizado na dessecação Glifosato-sal de Isopropilamina + Clethodim, nas doses de 2,5 kg ha⁻¹ e 0,5 L ha⁻¹ de produto comercial contendo 792 g L⁻¹ e 240 g L⁻¹ de ingrediente ativo, respectivamente, com volume de calda de 100 L ha⁻¹.

As espécies de cobertura utilizadas foram, aveia preta (*Avena strigosa* S.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), houve consórcio entre as mesmas e além disso, pousio. O plantio das espécies foi realizado nos dias 23/04/2018 e 06/05/2019 com semeadora adubadora, acoplada ao trator, no sistema de semeadura direta sobre palhada de soja, com espaçamento de entre linhas de 0,17 m. As taxas de semeadura foram baseadas no manual técnico de plantas de cobertura (CALEGARI, 2016). Para a cultura da aveia preta foi de 40 kg ha⁻¹ de sementes comerciais, cultivar IPR 61. Já para a cultura do nabo forrageiro foram utilizados 15 kg ha⁻¹ de sementes comerciais, cultivar IPR 116. E na cultura da ervilhaca peluda foram utilizados 40 kg ha⁻¹. No consórcio entre aveia preta e ervilhaca peluda a taxa de semeadura foi de 25 + 25 kg ha⁻¹, entre aveia preta e nabo forrageiro a taxa foi de 25 + 15 kg ha⁻¹. Nas parcelas dispostas ao tratamento pousio, desenvolveu-se a vegetação espontânea (ressemeadura natural de espécies predominantes, azevém (*Lolium multiflorum*) e a trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.).

A adubação foi realizada perante à análise química do solo, utilizando-se 250 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 (N, P₂O₅ e K₂O), para adubação de base. Não foram realizadas adubações de cobertura e nem aplicações de agroquímicos durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de cobertura.

2.2.4 Manejo das plantas de cobertura

As parcelas que foram empregadas o manejo químico, a dessecação da cobertura vegetal foi realizada com o herbicida glyphosate na dose de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de equivalente ácido (e.a.). As parcelas que foram destinadas ao manejo mecânico, foram realizadas trituração dos materiais vegetais com triturador de arrasto, acionado pela tomada de potência do trator com rotação nominal do eixo de 1700 rpm. A velocidade foi de $5,0 \text{ km h}^{-1}$.

2.2.5 Avaliações realizadas

A caracterização física do solo foi executada pelo método do anel volumétrico de acordo com Teixeira et al. (2017). Nos dias 07/08/2018 e 02/09/2019, foram abertas trincheiras em cada parcela experimental e coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos de aço inox com volume de 98 cm^3 (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura), em três camadas do solo 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e de 0,2-0,3 m, com auxílio de martelo pedológico e extrator de solo. Após isso, as amostras foram colocadas em latas de alumínio e transportadas para o Laboratório de Física do Solo da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel.

As amostras foram colocadas em bandejas e saturadas com lâmina de água a 2/3 de sua altura por 24 horas. As amostras saturadas foram pesadas e alocadas em coluna de areia a 0,6 m.c.a na qual permaneceram por 4 dias drenando assim a água contida nos macroporos (REINERT; REICHERT, 2006).

O cálculo da porosidade total do solo foi obtido através da relação existente entre a densidade do solo e a densidade de partículas, conforme equação: $Pt = (1 - Ds)/Dp * 100$ onde o Pt é a porosidade total que é medido em (%) e o Ds é a densidade do solo medido em (Mg m^{-3}) e a Dp é a densidade de partículas medido em (Mg m^{-3}). A microporosidade foi determinada pela equação: $\text{Micro} = (Msu - Mss)/Mss * 100$, Micro = Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Msu ou Pa 0,6 m.c.a = massa de solo após a tensão de 0,6 m.c.a (Mg); mss = massa de solo seco (Mg). Assim, conhecendo a porosidade total e a microporosidade foi possível calcular a macroporosidade (CAMARGO et al., 2009), de acordo com a equação: $\text{Macro} = Pt - \text{Micro}$; Macro = macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Pt = porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Micro = microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$). Para calcular a densidade do solo, dividiu-se a massa das amostras secas a 105°C pelo volume do anel volumétrico, conforme equação: $Ds = Mss/Vt$, onde o Ds é a densidade do solo e o Mss é a massa da amostra de solo seco a 105°C e Vt é o volume total do anel.

2.2.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram averiguados quanto a sua homocedasticidade, normalidade, para testar se evidenciavam homogeneidade de variância e distribuição normal, respectivamente. Sucessivamente, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e sendo significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a $p \leq 0,05$.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porosidade total (Pt) segundo Reinert e Reichert (2006) é responsável por inúmeros processos de grande relevância na física do solo. Eventos como estabilidade de agregados, retenção e fluxo de água e ar, estão correlacionados a porosidade total (Pt) (REICHERT et al., 2007).

Conforme os resultados da Tabela 2 para Pt do solo nas camadas avaliadas, 0,0 - 0,1; 0,1 - 0,2; 0,2 - 0,3 m não foram identificadas diferenças significativas. Pode-se observar que, quanto mais profunda a camada do solo, menor foi a sua Pt. Levando em consideração as culturas e os manejos, a camada 0,0 - 0,1 m no ano de 2018 obteve uma média de 54,37 %, no ano seguinte a média foi de 51,39. Já na camada intermediária avaliada, 0,1 - 0,2 m, no ano de 2018 a média foi de 49,6 % e no ano de 2019 o valor médio foi de 48,03%. Na camada mais profunda observada, 0,2 - 0,3 m, o valor no ano de 2018 foi de 46,62 % e no ano de 2019, 50,23 %, uma pequena variação, porém, percebe-se que todas as camadas avaliadas obtiveram resultados próximos a média geral de cada cultura.

Observou-se que a Pt apresentou valores médios entre 46,38% sob o manejo químico na profundidade de 0,2 - 0,3 m e 54,64% sob o manejo mecânico na camada superficial de 0,0 - 0,1 m. Perante as três camadas avaliadas, apenas a camada superficial estava acima de 50% de Pt, quantia esta considerada adequada para Latossolos segundo Lima, Pilon e Lima (2007). Isso corrobora com os resultados obtidos por Andrade e Stone (2009), onde os pesquisadores descrevem que um solo necessita apresentar no mínimo 50 % de Pt, para executar da melhor forma suas finalidades na física do solo.

Tabela 2 - Valores médios de porosidade total (Pt) ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) das camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e de 0,2-0,3 m, sob plantas de cobertura e manejos, nos anos de 2018 e 2019 em um Latossolo Vermelho Eutroférico.

	Camadas					
	0 – 0,10 m		0,10 – 0,20 m		0,20 – 0,30 m	
Plantas de Cobertura	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Aveia	52,87	50,05	48,84	46,99	47,60	49,56
Nabo	55,05	50,44	48,91	47,33	47,72	50,90
Ervilhaca	55,37	51,28	51,11	47,75	46,31	49,48
Aveia+Nabo	53,17	52,87	51,26	48,24	47,38	50,38
Aveia+Ervilhaca	54,62	51,45	47,88	48,41	43,84	51,07
Pousio	55,10	52,24	49,60	49,47	45,97	50,01
Manejos						
Químico	54,10	51,65	49,26	48,27	46,38	50,33
Mecânico	54,64	51,13	49,94	47,80	46,56	50,14
CV 1(%)	6,61	6,13	9,49	4,88	6,16	4,87
CV 2 (%)	1,26	2,31	7,57	2,18	5,03	1,79
DMS 1	7,203	6,319	9,444	4,70	5,740	4,902
DMS 2	0,979	1,702	5,385	1,500	3,350	1,289

A ausência de letras nas colunas indica a não significância pelo teste F a 5% de probabilidade. CV1: Coeficiente de variação para espécies; CV2: Coeficiente de variação para manejos. DMS1: Diferença mínima significativa para espécies; DMS2: Diferença mínima significativa para manejos.

Os macroporos, conhecidos como poros não capilares, de tamanho igual ou maior que 0,05 mm, são os poros encarregados pelos fluxos de água e gases no solo (TEIXEIRA et al., 2017). Para os pesquisadores Prevedello, 1996 e Hillel, 1998 para que a planta apresente um desenvolvimento adequado a macroporosidade do solo não deve ser menor que $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$. Os valores médios de macroporosidade são apresentados na (Tabela 3). Jong Van Lier 2010; Mangieri e Tavares Filho, 2019 reiteram que o valor preocupante de macroporosidade do solo para o desenvolvimento das culturas agrícolas está em torno de $10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$. Valores iguais ou menores que este podem propiciar redução na produtividade das culturas implantadas no local (MANGIERI; TAVARES FILHO, 2019).

No presente estudo os valores médios encontrados na camada de 0 – 0,1 m no ano de 2018 sob o manejo químico foi de 18,87 e sob o manejo mecânico foi de 18,67, na camada de 0,1 – 0,2 m, os valores médios foram 16,64 e 17,18 subsequentemente. Na camada mais profunda avaliada os valores foram menores, porém, não preocupantes, sob o manejo químico o valor médio foi de 13,68 e sob o manejo mecânico o valor foi de 13,81. Esse decréscimo está diretamente ligado a densidade do solo, quanto mais profunda for a camada do solo, menor é a sua macroporosidade (TEIXEIRA et al., 2017). No ano de 2019 os valores médios foram todos superiores, na camada de 0 – 0,1 sob o manejo químico o valor foi de 25,81 e sob o manejo mecânico foi de 24,61, na camada subsequente de 0,1 – 0,2 m, os valores médios foram 23,76

e 23,35. Na camada de 0,2 – 0,3 m sob o manejo químico o valor médio foi de 23,94 e sob o manejo mecânico o valor foi de 24,13. Observa-se que para ambos os anos, camadas, manejos e culturas nenhum valor médio de macroporosidade ficou próximo do valor classificado como crítico.

Reichert et al. (2007) reiteram que os valores críticos de macroporosidade para o crescimento das plantas estão definidos, mantendo-se próximo a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, porém, já para Gubiani (2012) esses valores ainda não estão fixados, pois em áreas que possuem uma drenagem eficiente e manejados sob SPD os valores de macroporosidade possivelmente podem ser menores que estes pré-estabelecidos.

Tabela 3 - Valores médios de macroporosidade (Macro) ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) das camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e de 0,2-0,3 m, sob plantas de cobertura e manejos, nos anos de 2018 e 2019 em um Latossolo Vermelho Eutroférico.

	Camadas					
	0 – 0,10 m		0,10 – 0,20 m		0,20 – 0,30 m	
Plantas de Cobertura	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Aveia	16,13	24,23	15,28	23,09	14,99	23,45
Nabo	20,77	24,46	17,83	23,35	14,34	24,10
Ervilhaca	19,28	25,21	17,77	23,11	13,46	23,40
Aveia+Nabo	16,64	24,57	15,21	24,43	12,54	24,25
Aveia+Ervilhaca	19,45	26,91	18,67	22,35	14,43	24,38
Pousio	20,35	25,90	16,69	25,01	12,76	24,63
Manejos						
Químico	18,87	25,81	16,64	23,76	13,68	23,94
Mecânico	18,67	24,61	17,18	23,35	13,81	24,13
CV 1(%)	18,47	11,12	21,81	8,93	22,58	11,64
CV 2 (%)	12,44	8,01	21,86	6,08	17,39	4,69
DMS 1	6,953	5,624	7,396	4,21	6,228	5,609
DMS 2	3,347	2,894	5,301	2,052	3,429	1,616

A ausência de letras nas colunas indica a não significância pelo teste F a 5% de probabilidade. CV1: Coeficiente de variação para espécies; CV2: Coeficiente de variação para manejos. DMS1: Diferença mínima significativa para espécies; DMS2: Diferença mínima significativa para manejos.

Os poros que possuem a função de retenção e armazenamento de água são identificados como microporos, a microporosidade ou porosidade capilar tem grande importância na relação solo-água-planta (SOUZA et al., 2010).

Perante os resultados encontrados (Tabela 4) a microporosidade do solo, as culturas, manejos, anos e camadas de 0,0 - 0,1, 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,3 m não apresentaram diferença significativa. Para alguns pesquisadores como Pena (2020) o valor ideal da porosidade capilar para as camadas avaliadas é entre 30% a 35%, no presente estudo obteve-se valores abaixo destes considerados como padrões.

No segundo ano de avaliação os valores encontrados referentes a microporosidade, estavam abaixo do valor mínimo, considerado ideal pelos autores, isso demonstra que o solo estava sendo manejado anteriormente de forma incorreta, o que consequentemente pode ter resultado em limitações físicas ao desenvolvimento das culturas (GOMES et al., 2019; MANGIERI; TAVARES FILHO, 2019).

Os valores médios de microporosidade encontrados na camada de 0 – 0,1 m, para o ano de 2018 sob o manejo químico foi de 35,22 e sob o manejo mecânico foi de 35,97, na camada seguinte de 0,1 – 0,2 m, os valores foram 32,62 e 32,76. Na camada de 0,2 – 0,3 m os valores foram de 32,70 e sob o manejo mecânico o valor foi de 32,74.

No ano de 2019 os valores médios foram ainda menores, na camada de 0 – 0,1 sob o manejo químico o valor foi de 25,84 e sob o manejo mecânico foi de 26,51, na camada seguinte de 0,1 – 0,2 m, os valores médios foram 24,51 e 24,45. Na camada de 0,2 – 0,3 m última camada avaliada, sob o manejo químico o valor médio foi de 26,39 e sob o manejo mecânico o valor foi de 26,00. Constatou-se nos dois anos, camadas, manejos e culturas que nenhum valor médio de microporosidade ficou próximo do valor classificado como ideal para o perfeito desenvolvimento das culturas. Pesquisas realizadas com o objetivo de avaliar o efeito dos manejos do solo e das plantas de cobertura sobre a reorganização dos espaços porosos do solo e alguns pesquisadores reiteram que a microporosidade se altera minimamente em profundidade e seu aumento retrata as alterações ocorridas na macroporosidade durante os manejos (VASCONCELOS et al., 2014; PANTOJA et al., 2019).

A densidade do solo (D_s) é largamente utilizada como um indicador de qualidade do solo, a mesma converge para o fato de que, com a sua elevação, decorre redução da porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada (LIMA et al., 2007). A D_s é a propriedade física que permite inferir os níveis de compactação do solo e consequentemente entender sobre resistência mecânica à penetração de raízes (GUARIZ et al., 2009).

Essa propriedade física oscila mediante à natureza, dimensão, forma e disposição das partículas no solo, com a elevação da D_s advém no solo um novo arranjo e acomodamento das partículas do solo, isso afeta o desenvolvimento das culturas agrícolas, pois as mesmas necessitarão de mais esforço para o desenvolvimento de suas raízes. Outros fatores que são alterados com o aumento da D_s é o fluxo de oxigênio e água no solo (SILVA et al., 2011).

Tabela 4 - Valores médios de microporosidade (Micro) ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) das camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e de 0,2-0,3 m, sob diferentes plantas de cobertura e manejos, nos anos de 2018 e 2019 em um Latossolo Vermelho Eutroférico.

	Camadas					
	0 – 0,10 m		0,10 – 0,20 m		0,20 – 0,30 m	
Plantas de Cobertura	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Aveia	36,71	25,82	33,56	23,90	32,61	26,11
Nabo	34,29	25,98	31,08	23,99	33,38	26,79
Ervilhaca	36,09	25,38	33,34	24,65	32,85	26,08
Aveia+Nabo	37,98	26,88	32,62	23,98	31,31	26,82
Aveia+Ervilhaca	33,72	25,96	32,59	25,89	32,95	26,00
Pousio	34,74	27,04	32,91	24,46	33,21	25,38
Manejos						
Químico	35,22	25,84	32,62	24,51	32,70	26,39
Mecânico	35,97	26,51	32,76	24,45	32,74	26,00
CV 1(%)	10,29	4,58	6,32	5,20	3,91	7,24
CV 2 (%)	4,84	7,87	3,16	3,46	0,69	1,76
DMS 1	7,344	2,405	4,143	2,551	2,563	3,803
DMS 2	2,469	2,955	1,483	1,215	0,325	0,660

A ausência de letras nas colunas indica a não significância pelo teste F a 5% de probabilidade. CV1: Coeficiente de variação para espécies; CV2: Coeficiente de variação para manejos. DMS1: Diferença mínima significativa para espécies; DMS2: Diferença mínima significativa para manejos.

De acordo com os resultados encontrados na Tabela 5, a densidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,1; 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,3 m não apresentaram diferença significativa. Observou-se que a Ds apresentou valores médios próximos referentes ao manejo das culturas, químico e mecânico, ou seja, os manejos não influenciaram esta variável. Esta variável se comportou de forma similar a Pt, isto significa que, com o aumento da profundidade do solo ocorreu uma elevação na Ds, independente da cultura instalada, manejo da mesma e ano. A primeira camada avaliada 0,0 - 0,1 m apresentou os valores médios de 1,14 e 1,13 g cm^{-3} no ano de 2018 e 1,20 e 1,21 g cm^{-3} no ano seguinte, esta camada devido ao teor de matéria orgânica, bioporos, e por sofrer um frequente revolvimento por sulcadores das semeadoras não apresentou compactação.

Na camada seguinte de 0,1 – 0,2 m observa-se na uma elevação na Ds, no ano de 2018 os valores médios foram de 1,26 e 1,24 g cm^{-3} , já no ano de 2019 os valores foram 1,28 e 1,29 g cm^{-3} . Isso pode ser esclarecido, visto que, as altas pressões exercidas pelas máquinas e implementos agrícolas proporcionam a elevação da densidade do solo nesta profundidade.

Na camada mais profunda (0,2 - 0,3 m) observou-se valores distintos em relação ao ano de avaliação, no primeiro ano os valores médios foram de 1,33 g cm^{-3} sob o manejo químico e 1,33 g cm^{-3} sob o manejo mecânico, já no ano seguinte houve um decréscimo na Ds, 1,23 g cm^{-3} sob o manejo químico e 1,24 g cm^{-3} sob o manejo mecânico.

Para Reichert et al. (2009) em solos argilosos o nível crítico de Ds é entre 1,25 a 1,35 g cm⁻³. Nesta circunstância os mesmos autores reiteram que o solo pode manifestar restrições ao crescimento radicular para culturas agrícolas, porém, para Souza et al. (2005) o valor de 1,40 g cm⁻³, é o limite para solos argilosos. Neste trabalho, os valores obtidos para a variável Ds se mostraram abaixo do nível crítico por Souza et al. (2005) Reichert et al. (2009) e Roque et al. (2010).

Tabela 5 - Valores médios de densidade do solo (Ds) das camadas 0-0,1m, 0,1-0,2m e de 0,2-0,3m, sob diferentes plantas de cobertura e manejos, nos anos de 2018 e 2019 em um Latossolo Vermelho Eutroférico.

Plantas de Cobertura	Camadas					
	0 – 0,10 m		0,10 – 0,20 m		0,20 – 0,30 m	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Aveia	1,17	1,24	1,28	1,32	1,30	1,25
Nabo	1,12	1,23	1,27	1,30	1,30	1,22
Ervilhaca	1,11	1,21	1,21	1,30	1,33	1,25
Aveia+Nabo	1,16	1,20	1,25	1,28	1,40	1,21
Aveia+Ervilhaca	1,13	1,17	1,21	1,29	1,30	1,23
Pousio	1,12	1,18	1,29	1,25	1,34	1,24
Manejos						
Químico	1,14	1,20	1,26	1,28	1,33	1,23
Mecânico	1,13	1,21	1,24	1,29	1,33	1,24
CV 1(%)	7,87	6,68	9,34	4,65	5,38	4,52
CV 2 (%)	1,64	2,57	7,80	2,15	4,13	1,40
DMS 1	0,178	0,161	0,234	0,120	0,143	0,111
DMS 2	0,026	0,044	0,140	0,039	0,078	0,024

A ausência de letras nas colunas indica a não significância pelo teste F a 5% de probabilidade. CV1: Coeficiente de variação para espécies; CV2: Coeficiente de variação para manejos. DMS1: Diferença mínima significativa para espécies; DMS2: Diferença mínima significativa para manejos.

Observou-se que a Ds apresentou valores médios próximos referentes aos manejos das plantas de cobertura, químico e mecânico, ou seja, os manejos e as diferentes plantas de cobertura não influenciaram a relação massa e volume do solo.

2.4 CONCLUSÕES

A utilização das plantas de cobertura não foi capaz de melhorar as condições físicas do solo em curto prazo.

Não foi identificado nenhuma diferença significativa nas variáveis analisadas perante os dois manejos empregados, químico e mecânico, o que demonstra o efeito residual do manejo que era adotado antes da implantação do experimento. Necessita-se, contudo, de estudos com

maior duração para avaliar o efeito das plantas de cobertura e dos manejos, químico e mecânico sobre atributos físicos do solo.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n. 4, pag 382-388, 2009.
- AULER, A. C.; PIRES, L. F.; PINEDA, M. C. Influence of physical **attributes and pedotransfer function for predicting water retention in management systems**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.21, n.11, p.746-751, 2017.
- BAIO, F. H. R.; SCARPIN, I. M.; ROQUE, C. G.; NEVES, D. C. Soil resistance to penetration in cotton rows and interrows. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.21, n.6, p.433-439, 2017.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, IAC. Boletim técnico, 106, pag 77, 2009.
- CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M. DE; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health. **Scientia Agrícola**, v.70, p.274-289, 2013.
- CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. A. DE; SILVA, A. P. DA; LIBARDI, P. L.; TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1541-1549, 2011.
- COSTA, E. L.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. de A. Matéria orgânica de solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, pag. 1842-1860, 2013.
- GARCÍA-ORENES, F.; GUERREIRO, C.; ROLDÁN, A.; MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀ, A.; CAMPOY, M.; ZORNOZA, R.; BÁRCENAS, G.; CARAVACA, F. Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. **Soil e Tillage Research**, v.109, p.110-115, 2010.
- GOMES, R. P.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, L. S; CAMPOS, M. C. C.; CAZETTA, J. O.; COELHO, A. P.; SOUZA, E. D. Alterações nas propriedades físicas de um Cambissolo amazônico induzidas pelo tráfego de trator. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 79, n. 1, pag. 103 - 113, 2019.

GUARIZ, H. R.; CAMPANHARO, W. A.; PICOLI, M. H. S.; CECÍLIO, R. A.; HOLLANDA, M. P. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, p. 7709-7716, 2009.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídricomecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, pag 1-10, 2012.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. DA; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A. Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um Argissolo Vermelho-amarelo sob diferentes manejos de longa duração e Mata Atlântica secundária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, v.35, p.2191-2198, 2011.

HILLEL, D. Flow of water in unsaturated soil. In: HILLEL, D. Environmental soil physics. New York: Academic Press, p.203-241, 1998.

JONG VAN LIER, Qualidade Física do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, pag 298, 2010.

LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGMOED, W. B.; GOEDE, R. G. M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.64, p.194-200, 2013.

LIMA, C. L. R; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R. Qualidade física do solo: indicadores quantitativos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, pag 25, 2007.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. DE P.; OLIVEIRA, R. A. DE; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Santa Maria, v.39, pag. 1212-1224, 2015.

MANGIERI, V. L.; TAVARES FILHO, J. Avaliação de matéria orgânica, densidade e porosidade do latossolo vermelho em contato com lixiviado de resíduos sólidos urbanos. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1251-1258, 2019.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Limites limite de resistência à penetração em um Latossolo vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 38, n. 1, p. 288-298, 2014.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Santa Maria. v.37, p.1103-1112, 2013.

PACHECO, L. P.; MONTEIRO, M. M. DE S.; PETTER, F. A.; NÓBREGA, J. C. A.; SANTOS, A. S. DOS. Biomass and nutrient cycling by cover crops in Brazilian Cerrado in the state of Piauí. **Revista Caatinga**, v.30, p.13- 23, 2017.

PANTOJA, J. C. M. Análise multivariada na avaliação de atributos do solo em áreas de diferentes usos na região de Humaitá. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 14, n. 5, 2019.

PENA, L. K. Fitossociologia de plantas daninhas, plantas de cobertura e sistemas de preparo em Latossolo Vermelho cultivado com soja. 2020. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2020.

PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. Sociedade Autônoma de Estudos Avançados em Física do Solo. Curitiba, pag 446, 1996.

RAMOS, F. T.; RAMOS, D. T.; MAIA, J. C. S.; SERAFIM, M. E.; AZEVEDO, E. C. DE; ROQUE, M. W. Curvas de compactação de um Latossolo Vermelho-amarelo: Com e sem reuso de amostras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.17, p.129-136, 2013.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; KANSSON, I. Reference bulk density and critical degree of compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil e Tillage Research**, v. 102, n. 2, pag. 242-254, 2009.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERRETA, C.A.; SILVA, L.S. da; REICHERT, J.M. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa. **Revista Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v.5. p.49-134, 2007.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria, p. 18, 2006.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana de açúcar. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 45, n. 7, p. 744-750, 2010.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos – 5º edição. Embrapa. Brasília, DF, 2018.

SANTOS, R. A.; CARNEIRO, P. T.; SANTOS, V. R.; COSTA, L. C.; SANTOS, C. G.; SANTOS NETO, A. L. Crescimento de leguminosas utilizadas na adubação verde em diferentes níveis de sais na água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.18, p.1255-1261, 2014.

SARMENTO, J. A.; SANTOS, J. F.; COSTA, C. C.; BOMFIM, M. P. Agronomic performance of lettuce subjected to green manure with different leguminous species. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.23, n.2, p.114-118, 2019.

SEQUINATTO, L.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; MAZURANA, M.; MÜLLER, J. Qualidade de um Argissolo submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 18, pag. 344-350, 2014.

SILVA, B. E. C.; MEDINA, E. F.; JOLOMBA, M. R. Propriedades físicas do solo em função de diferentes manejos de pastagem. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. Viçosa, v.7, n.3, p.66-75, 2017.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Revista Bragantia**, v. 70, n. 1, pag. 147-156, 2011.

SOUZA, F. R.; ROSA JUNIOR, E. J.; FIETZ, C. R. BERGAMIN, A. C.; VENTUROSOS, L. R.; ROSA, Y. B. C. J. Atributos físicos e desempenho agrônômico da cultura da soja em um latossolo vermelho distroférrico submetido a dois sistemas de manejos. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1357-1364, 2010.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 271-278, 2005.

TAVARES, U. E.; ROLIM, M. M.; SIMÕES NETO, D. E.; PEDROSA, E. M. R.; ADRIANA G. MAGALHÃES, A. G.; SILVA, E. F.; Estabilidade de agregados e resistência à penetração após a mobilização de um Argissolo distrocesivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 21, n. 11, pág. 752-757, 2017.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Ciclagem de nutrientes e decomposição de resíduos de quatro culturas de cobertura para o solo. **Revista Idesia (Arica)**. CHILE, v. 30, n. 1, pag 55-64, 2012.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo - 3ª edição revista e ampliada. Embrapa. Brasília, DF, pag 574, 2017.

TIECHER, T.; CALEGARI, A.; CANER, L.; RHEINHEIMER, D. S. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. *Geoderma*. v. 308, pag 78-85, 2017.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 18, p. 381-386, 2014.

WATANABE, R.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, M. F.; TAVARES FILHO, J. T.; RICARDO RALISCH, R.; JULIO FRANCHINI, J.; HENRIQUE DEBIASI, H. A qualidade estrutural avaliada pelo método "Perfil cultural" está relacionada a indicadores quantitativos da qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 42, 2018.

WEILER, D. A.; GIACOMINI, S. J.; RECOUS, S.; BASTOS, L. M.; PILECCO, G. E.; DIETRICH, G.; AITA, C. Trade-off between C and N recycling and N₂O emissions of soils with summer cover crops in subtropical agrosystems. **Plant Soil**. v. 433, pag. 213-25, 2018.

WEILER, D. A.; GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; SCHMATZ, R.; PILECCO, G. E.; CHAVES, B.; BASTOS, L. M. Culturas de cobertura de verão disparam decomposição e liberação de nitrogênio em um solo arenoso não cultivado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 43, 2019.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; GILVANEI CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 50, n. 5, 2015.

3 CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO, DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DA MATÉRIA SECA REMANESCENTE DE PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO SOB SISTEMA DE SEMEDURA DIRETA

RESUMO

Uma das características do sistema conservacionista, plantio direto é a retenção na superfície do solo de resíduos vegetais. Entender a taxa de decomposição dos resíduos vegetais oriundos das plantas de cobertura é de extrema importância no planejamento agrícola. Obter o conhecimento dessa dinâmica de liberação de nutrientes de resíduos vegetais que antecedem o cultivo comercial, é essencial para que se consiga conciliar o aspecto da ciclagem de nutrientes com o período que resíduos vegetais estarão na superfície do solo. O objetivo do presente estudo foi avaliar a decomposição e liberação de macronutrientes de plantas de cobertura invernais, submetidas ao manejo químico, antecedendo o plantio do milho silagem, sob semeadura direta. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com duas repetições. Nas parcelas, foram alocadas as espécies de cobertura; Aveia preta (*Avena strigosa* S.), Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), Ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), consorcio entre Aveia preta + Nabo forrageiro e Aveia preta + Ervilhaca peluda e pousio; as subparcelas, foram estabelecidas pelas épocas de coleta dos *litter bags* ao longo do cultivo do milho silagem em sucessão (0, 30, 50, 70, 90 e 100 dias após a semeadura). Foram determinadas as quantidades residuais de matéria seca (MS), além dos teores de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Com a utilização das plantas de cobertura no inverno obteve-se o aumento da quantidade de palhada sobre o solo, ciclagem de nutrientes. A utilização das plantas de cobertura e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo mostrou-se como uma prática vantajosa. As maiores produtividades de matéria seca e acúmulo de nutrientes foram obtidos com o consorcio entre aveia preta + nabo forrageiro. O tratamento pousio em ambos os anos, concedeu as menores quantidades de matéria seca e disponibilizou as menores quantidades de nutrientes para o milho silagem em sucessão.

Palavras-chave: *Avena strigosa* S. *Raphanus sativus*. *Vicia villosa* Roth. Resíduos vegetais. Ciclagem de nutrientes.

PRODUCTION, DECOMPOSITION AND RELEASE OF NUTRIENTS FROM THE REMAINING DRY MATTER OF SOIL COVER PLANTS UNDER DIRECT SEEDING SYSTEM

ABSTRACT

One of the characteristics of the no-till conservation system is the retention of plant residues on the soil surface. Understanding the rate of decomposition of plant residues from cover crops is extremely important in agricultural planning. Obtaining knowledge of this dynamics of nutrient release from plant residues that precede commercial cultivation is essential to be able to reconcile the aspect of nutrient cycling with the period that plant residues will be on the soil surface. The aim of the present study was to evaluate the decomposition and release of macronutrients of winter cover crops, submitted to chemical management, prior to planting corn silage, under no-tillage. The experimental design adopted was randomized blocks, in a split-plot scheme, with two replications. In the plots, cover species were allocated; Black oat (*Avena Strigosa* S.), Forage radish (*Raphanus sativus*), Hairy Vetch (*Vicia villosa* Roth), intercropping between Black Oat + Forage radish and Black oat + Hairy and fallow vetch; the subplots were established by the times of collection of litter bags throughout the cultivation of corn silage in succession (0, 30, 50, 70, 90 and 100 days after sowing). The residual amounts of dry matter (DM) were determined, in addition to the carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) contents. The use of cover crops in winter resulted in an increase in the amount of straw on the soil, nutrient cycling and an increase. The use of cover crops and the maintenance of plant residues on the soil surface proved to be an advantageous practice. The highest yields of dry matter and nutrient accumulation were obtained with the intercropping between black oat + forage radish. The fallow treatment in both years provided the smallest amounts of dry matter and provided the smallest amounts of nutrients for the corn silage in succession.

Key words: *Avena strigosa* S. *Raphanus sativus*. *Vicia villosa* Roth. Vegetable waste. Nutrient cycling.

3.1 INTRODUÇÃO

O sistema conservacionista plantio direto, que é fundamentado na mobilização mínima do solo, rotação de culturas e cobertura do solo, condiciona os resíduos culturais na superfície do solo, tornando assim uma relevante técnica para a preservação e recuperação da capacidade produtiva dos solos (BORGES et al., 2015).

Várias plantas podem ser destinadas a cobertura do solo, exemplo, as leguminosas possuem a alta capacidade de produção de biomassa e fixação de nitrogênio, refletindo em melhoria na relação carbono nitrogênio (C/N). Em determinados casos a necessidade de adubação nitrogenada da cultura seguinte pode ser reduzido em partes, só pelo fato do emprego de uma leguminosa no sistema (consorcio, rotação ou sucessão). Por sua vez as gramíneas têm capacidade de produção de biomassa elevada, e geralmente um sistema radicular vigoroso, resultando em uma melhora nas frações química, física e biológica do solo (REIS et al., 2014).

Quando há interação entre uma gramínea e leguminosa, ocorre no solo uma melhora na relação carbono nitrogênio (C/N), decomposição da palhada de forma lenta e elevação da matéria orgânica do solo. Consequentemente a planta em sucessão usufruía desses benefícios, podendo apresentar um desempenho superior as demais (AMOSSÉ et al., 2013; HERRADA et al., 2017).

A retenção na superfície do solo, de resíduos vegetais procedentes da planta de cobertura, é um modo de preservação do solo, visto que o resguarda da radiação solar, auxilia no controle de plantas daninhas, minimiza o impacto da chuva e mantém a umidade do solo por um período maior (LEITE et al., 2010). A utilização e a manutenção de resíduos vegetais das plantas de culturas na superfície do solo é uma prática essencial para o estabelecimento do sistema plantio direto. Esses resíduos trazem benefícios ao solo como aumento do teor de matéria orgânica, queda na amplitude térmica do solo, umidade do solo é mantida por um período maior e oportunizando desempenho superior das culturas (OLIVEIRA et al., 2014; MARTINS et al., 2016).

As implicações positivas dos resíduos vegetais tendem a ser maiores conforme o período em que os mesmos se mantem em contato com o solo, esse tempo decorre de vários fatores, como espessura do resíduo vegetal, grau de contato do resíduo com o solo, dentre outros (ROSOLEM et al., 2004; TROGELLO et al., 2013, HENTZ et al., 2014).

Entender a taxa de decomposição dos resíduos vegetais oriundos das plantas de cobertura é de extrema importância no planejamento de práticas conservacionistas (BERTOL et al., 1998, HERRADA et al., 2017). A decomposição dos resíduos é um fator significativo na ciclagem de

nutrientes, especialmente sobre o sistema de plantio direto. A dinâmica dessa decomposição procede da composição do material vegetal de origem, relação C/N, produção de matéria seca, manejo da cultura como planta de cobertura, fertilidade do solo e das condições climáticas do local (ALVARENGA et al., 2001; KLIEMANN et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2010, REDIN et al., 2014).

O entendimento dessa dinâmica de liberação de nutrientes de resíduos vegetais que antecedem o cultivo comercial, é essencial para que se consiga conciliar o aspecto da ciclagem de nutrientes com o período dos resíduos vegetais na superfície do solo (KLIEMANN et al., 2006; BOER et al., 2007; LEITE et al., 2010, MARCELO et al., 2012).

Portanto o presente trabalho teve por objetivo estudar o acúmulo, decomposição e liberação de nutrientes da matéria seca remanescente de plantas de cobertura sob sistema de semeadura direta.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização, clima e solo da área experimental

As informações sobre localização, o clima e as características do solo da área experimental, estão apresentadas no item 2.2.1 do Capítulo 1.

3.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com duas repetições. Nas parcelas, foram alocadas as espécies de cobertura; Aveia preta (*Avena Strigosa* S.), Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), Ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), consorcio entre Aveia preta + Nabo forrageiro e Aveia preta + Ervilhaca peluda e pousio (ressemeadura natural de espécies predominantes, azevém (*Lolium multiflorum*) e a trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.), as subparcelas, foram estabelecidas pelas épocas de coleta dos *litter bags* ao longo do cultivo do milho silagem em sucessão (0, 30, 50, 70, 90 e 100 DAS).

3.2.3 Implantação das espécies de cobertura

As informações sobre implantação das espécies de cobertura, estão apresentadas no item 1.3.2 do Capítulo 1.

3.2.4 Avaliações realizadas

Previamente à semeadura do milho, foram avaliadas a produtividade de matéria seca das plantas de cobertura submetidas ao manejo químico, estimada por meio de amostragem com um quadrado metálico de área conhecida (0,25 m²). A análise de decomposição e liberação de nutrientes da palhada remanescente foi realizada pelo método do *litter bag* (KLIEMANN et al., 2006) com dimensão de 0,20 x 0,30 m, sendo posicionados na superfície do solo, sobre a palhada remanescente. Para preenchimento dos *litter bags*, o material foi seco em estufa de circulação forçada a 65°C, seguidamente, acondicionou-se 40 g desse material em cada bolsa.

Para cada tratamento, foram distribuídos 12 *litter bags* e efetuadas seis coletas, duas bolsas por coleta, aos 0, 30, 50, 70, 90 e 100 DAS do milho. Após recolhidas as bolsas, o material vegetal foi limpo em uma peneira, para a retirada do solo aderido e acondicionado à estufa (65°C por 48 h), para em sequência pesagem e trituração em moinho tipo Willey.

Foram determinados os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), carbono (C) e matéria seca (MS), com essas determinações foi possível estimar a quantidade de cada nutriente acumulado em kg/ha. O C foi aferido a partir da determinação da matéria orgânica em mufla, como descrito por Silva e Queiroz (2006). Para determinação do N, P e K, o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica. Nos extratos, a quantidade de N foi determinada pela destilação em sistema semi-micro Kjeldahl, como descrito por Tedesco et al. (1995), o P foi determinado por espectrofotometria UV-VIS de acordo com Braga e Defelipo (1974), enquanto que, o K foi determinado por fotometria de chama (MALAVOLTA et al., 1997).

A partir dos resultados obtidos, foram determinadas as taxas de decomposição da palhada e de liberação de nutrientes da matéria seca remanescente, empregando o modelo matemático exponencial negativo simples, $X = X_0 \cdot e^{-kt}$ (THOMAS; ASAKAWA, 1993). Em que X é a quantidade de matéria seca ou nutrientes remanescentes; t é um período de tempo em dias; X₀ refere-se à quantidade de matéria seca no início da decomposição e; k é a constante de decomposição. Com base no valor de k, foi calculado o tempo de meia-vida ($T^{1/2} = 0,693/k$) (PAUL; CLARK, 1989) que caracteriza o período de tempo necessário para que 50% dos

resíduos se decomponham ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberada.

3.2.5 Análise estatística

Com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o Teste F ($p < 0,05$). Havendo significância para as plantas de cobertura e tempo ou a interação desses fatores, realizou-se a escolha de um modelo matemático, que neste caso foi o exponencial negativo simples.

A escolha do tipo de modelo que melhor se ajustou a cada conjunto de dados foi efetuada com base na significância dos parâmetros da equação e no coeficiente de determinação (R^2), o qual indica o grau de associação entre os valores observados e o modelo ajustado. As equações foram obtidas por meio do Software SigmaPlot® 13.0.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre os fatores espécies, aveia preta (*Avena Strigosa* S.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + ervilhaca peluda, pousio e tempo de decomposição (0, 30, 50, 70, 90 e 100 DAS) foi significativa nos dois anos de avaliação para todas as análises realizadas, matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fosforo (P) e potássio (K) para o ano de 2018/2019 (Tabela 6).

Tabela 6 - Quadrado médio da matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) remanescentes dos resíduos das espécies de adubos verdes ao longo do tempo na safra 2018/2019.

FV	GL	MS	C	N
Bloco	1	11853,3291	10245,8420	4,1963
Espécies	5	34457530,0197*	11503819,7219*	6477,9271*
Erro 1	5	322898,6949	83291,4489	132,1493
Tempo	5	60789290,4357*	18691253,3831*	16938,8791*
Tempo x Espécies	25	1901856,0426*	532678,5962*	599,6463*
Erro 2	30	320354,7556	107006,8420	75,8298
CV 1 (%)		11,03	10,65	13,22
CV 2 (%)		10,98	12,07	10,01
FV	GL	P	K	
Bloco	1	8,8410	670,2010	
Espécies	5	147,0149*	6929,4054*	
Erro 1	5	11,5790	201,1994	
Tempo	5	481,3751*	101224,8808*	
Tempo x Espécies	25	34,9261*	3132,8532*	
Erro 2	30	10,1506	692,4526	
CV 1 (%)		33,87	17,55	
CV 2 (%)		31,71	32,56	

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para tempo.

Em relação à safra 2019/2020, as espécies promoveram alterações na decomposição e nas quantidades de MS, C, N, P e K ao longo do tempo e similar ao ano de 2018 a interação entre espécies e tempo de decomposição foi significativa para todas as análises realizadas, MS, C, N, P e K (Tabela 7).

Tabela 7 - Quadrado médio da matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) remanescentes dos resíduos das espécies de adubos verdes ao longo do tempo na safra 2019/2020.

FV	GL	MS	C	N
Bloco	1	33515,4680	120210,6921	32,4925
Espécies	5	86928569,1990*	26778323,8554*	4044,5838*
Erro 1	5	7287,8041	45147,6757	17,1725
Tempo	5	12092265,9482*	5369451,7573*	1318,7216*
Tempo x Espécies	25	1491169,0030*	778844,6516*	225,8707*
Erro 2	30	48871,6807	387591,4321	27,6892
CV 1 (%)		2,24	10,40	16,26
CV 2 (%)		5,80	30,48	20,64
FV	GL	P	K	
Bloco	1	0,1978	273,6825	
Espécies	5	202,3428*	29368,1292*	
Erro 1	5	1,4053	380,8783	
Tempo	5	74,4866*	11408,9836*	
Tempo x Espécies	25	14,3492*	2139,2277*	
Erro 2	30	2,2743	174,5591	
CV 1 (%)		23,47	26,24	
CV 2 (%)		29,86	17,76	

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para tempo.

A decomposição dos resíduos culturais, assim como, a quantidade de nutrientes disponibilizados pela palhada das plantas de cobertura à cultura subsequente, tem extrema importância, pois através dessas informações é possível determinar se essa palhada remanescente será suficiente para atender a demanda de nutrientes, total ou parcial, ou se há sincronismo entre a época de maior liberação de nutrientes e de maior exigência pela cultura sucessora (CALONEGO et al., 2012). Outro ponto que vale destacar é que a presença dos resíduos culturais na superfície do solo preserva o mesmo do impacto da gota da chuva, diminuindo o risco de erosões, retendo a umidade, elevando o teor de matéria orgânica e, como resultado, favorecendo a qualidade física e química do solo (MATTEI et al., 2018).

A produtividade de MS na safra 2018/2019 foi de aproximadamente 14.800 kg ha⁻¹ para aveia preta + nabo forrageiro, 11.200 kg ha⁻¹ para o nabo forrageiro, 9.600 kg ha⁻¹ para aveia preta + ervilhaca peluda, 9.300 kg ha⁻¹ para aveia preta, 6.400 kg ha⁻¹ para ervilhaca peluda e 5.800 kg ha⁻¹ para o pousio (Figura 3A). Os valores iniciais de produtividade de MS remanescente para todas as espécies utilizadas, podem ser consideradas suficientes para se obter elevada quantidade de biomassa e eficiente cobertura do solo, visto que os valores encontram-se próximos ou superiores a 6.000 kg ha⁻¹ (NUNES et al., 2006).

No ano de 2019/2020 a ordem de produtividade de MS foi semelhante (Figura 3C), porém, a quantidade foi inferior, 11.500 kg ha⁻¹ para aveia preta + nabo forrageiro, 8.900 kg ha⁻¹ para o nabo forrageiro, 4.200 kg ha⁻¹ para aveia preta + ervilhaca peluda, 4.200 kg ha⁻¹ para aveia preta, 1.900 kg ha⁻¹ para ervilhaca peluda e 1.800 kg ha⁻¹ para o pousio. Observou-se uma redução da MS inicial média de aproximadamente 43% do ano 2019/2020 em relação ao ano 2018/2019, isso pode ser atrelado ao déficit hídrico que ocorreu no período de desenvolvimento das plantas de cobertura (Figura 2), resultando assim nesse decréscimo.

Para ambas as safras, o acúmulo de nutrientes apresentou comportamento semelhante à produtividade de MS, ou seja, quanto maior a produtividade de MS maior o acúmulo de nutrientes, dando destaque ao consórcio de aveia + nabo (Figura 3A e 3D).

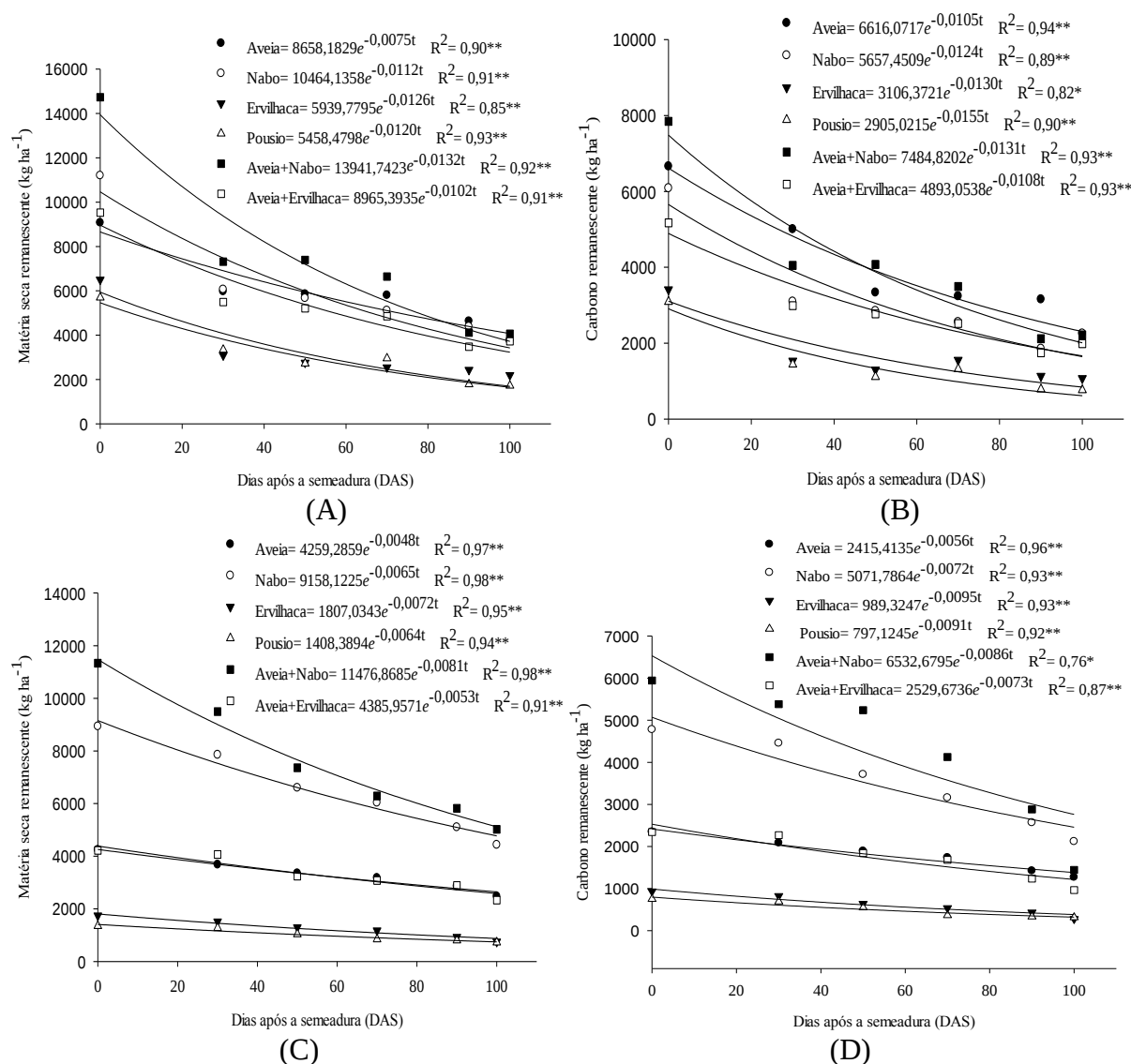


Figura 3 - Matéria seca remanescente (A) (C) e carbono remanescente (B) (D) dos resíduos vegetais das plantas de cobertura ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente.

Em relação ao tempo de meia vida ($T_{1/2}$) do resíduo remanescente, foi constatado nos dois anos o maior valor com o tratamento aveia preta, 92 dias no ano de 2018/2019 e 144 dias no ano de 2019/2020 (Tabela 8).

Após 100 dias da semeadura do milho, no ano de 2018/2019 registrou-se permanência de 29%, 37%, 43%, 45%, 35% e 36% da quantidade inicial de matéria seca sobre o solo do tratamento aveia preta + nabo forrageiro, nabo forrageiro, aveia preta + ervilhaca peluda, aveia preta, ervilhaca peluda e pousio, respectivamente. Para o ano de 2019/2020 os resultados foram diferentes, registrou-se permanência de 43%, 52%, 64%, 65%, 53% e 54% da quantidade inicial de matéria seca sobre o solo dos respectivos tratamentos. Na safra de 2019/2020 foi constatado um período de menor precipitação pluviométrica, esse fator influenciou diretamente na produção de MS e nos processos biológicos que estão ligados a decomposição do material vegetal. Araújo Neto et al. (2014), em um trabalho sobre atividade biológica do solo, concluíram que, o período de déficit hídrico influencia diretamente os processos microbiológicos e a emissão de CO_2 do solo. Por sua vez, Oliveira et al. (2010) constataram o inverso, com um período de alta precipitação, ocorreu a aumento da produção de MS e a decomposição do material vegetal foi mais rápida.

O período de permanência da MS sobre a superfície do solo é determinado pela velocidade de decomposição do resíduo vegetal. No período inicial de deposição da MS ocorre uma ligeira decomposição, isso está correlacionado a grande quantidade de açúcares, aminoácidos, proteínas e componentes de peso molecular baixo, com o passar dos dias, ocorre a elevação de componentes recalcitrantes, como celulose, lignina, taninos e a relação C:N, imediatamente a velocidade de decomposição é diminuída (BARBOSA et al., 2016; LUPWAYI et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2019).

Segundo Perin et al. (2010), considerando a dinâmica do N e a manutenção da palhada sobre a superfície do solo em sistema de plantio direto, o ideal seria um material com C:N intermediária, de forma que haja equilíbrio entre a manutenção dos resíduos culturais e a disponibilização de N para as culturas subsequentes. Para Truong e Marschner (2018), os valores adequados da relação C:N, aqueles que colaboram com mineralização dos nutrientes, estão entre 12 e 30, estes valores favorecem o equilíbrio entre os processos, já valores acima de 50 favorecem a imobilização dos nutrientes no solo.

Tabela 8 - Parâmetros dos modelos ajustados ($X = X_0 \cdot e^{-kt}$) aos valores de matéria seca, carbono, nitrogênio, fósforo e potássio remanescentes e tempo de meia vida das plantas de cobertura utilizadas nas safras de 2018/2019 e 2019/2020

Matéria seca remanescente		
Plantas	$T^{1/2(2)}$ Dias (2018/2019)	$T^{1/2(2)}$ Dias (2019/2020)
Aveia	92	144
Nabo	62	107
Ervilhaca	55	96
Pousio	58	108
Aveia+Nabo	53	86
Aveia+Ervilhaca	68	131
Carbono remanescente		
Plantas	$T^{1/2(2)}$ Dias (2018/2019)	$T^{1/2(2)}$ Dias (2019/2020)
Aveia	66	124
Nabo	56	96
Ervilhaca	53	73
Pousio	45	76
Aveia+Nabo	53	81
Aveia+Ervilhaca	64	95
Nitrogênio remanescente		
Plantas	$T^{1/2(2)}$ Dias (2018/2019)	$T^{1/2(2)}$ Dias (2019/2020)
Aveia	60	92
Nabo	57	61
Ervilhaca	47	47
Pousio	79	85
Aveia+Nabo	58	55
Aveia+Ervilhaca	79	154
Fósforo remanescente		
Plantas	$T^{1/2(2)}$ Dias (2018/2019)	$T^{1/2(2)}$ Dias (2019/2020)
Aveia	57	86
Nabo	33	53
Ervilhaca	23	45
Pousio	59	54
Aveia+Nabo	62	44
Aveia+Ervilhaca	67	94
Potássio remanescente		
Plantas	$T^{1/2(2)}$ Dias (2018/2019)	$T^{1/2(2)}$ Dias (2019/2020)
Aveia	34	63
Nabo	18	54
Ervilhaca	13	37
Pousio	29	48
Aveia+Nabo	17	55
Aveia+Ervilhaca	26	139

(1) Constante de decomposição; (2) Tempo de meia vida.

O carbono remanescente (C), (Figura 3B e 3D) teve um comportamento similar a matéria seca remanescente, (Figura 3A e 3C) isto é, o decréscimo do C dos resíduos vegetais foi proporcional a redução da matéria seca remanescente dos resíduos (Figura 3B e 3D).

No ano de 2018/2019 a maior quantidade de C acumulado na matéria seca remanescente foi observada no consorcio entre aveia preta + nabo forrageiro, cerca de 7.900 kg ha⁻¹ (Figura 3B). Em 2019/2020 o mesmo consorcio obteve a maior quantidade de C acumulado, porém, houve um decréscimo na quantidade em relação ao ano anterior, obtendo assim cerca de 6.000 kg ha⁻¹ (Figura 3D). Em relação ao parâmetro tempo de meia vida ($T_{1/2}$) do C, a aveia em ambos os anos 2018/2019 e 2019/2020 obteve os maiores valores respectivamente, 66 e 124 dias (Tabela 8).

Ao final dos 100 DAS no ano de 2018/2019 (Figura 3B), aproximadamente 75% do C remanescente havia sido disponibilizado dos resíduos vegetais da aveia preta, nabo forrageiro, aveia + ervilhaca peluda e aveia preta + nabo forrageiro. Já ano de 2019/2020 (Figura 3D), o valor foi inferior, cerca de 65%. As maiores perdas foram observadas com os resíduos culturais do consorcio entre aveia preta + ervilhaca peluda, aveia preta + nabo, aveia preta e o pousio. O nabo forrageiro e a ervilhaca peluda obtiveram perdas de C inferiores ao final dos 100 DAS.

Os microrganismos que colonizam os resíduos vegetais, utilizam o C como fonte de energia, disponibilizando-o como dióxido de carbono (CO²) para a atmosfera (MANZONI et al., 2008). Em razão das precipitações pluviométricas e das temperaturas ocorridas durante o período experimental (Figura 1 e 2), acredita-se que as mesmas podem ter contribuído para a colonização dos resíduos vegetais por esses microrganismos.

É de extrema importância entender a dinâmica dos nutrientes no solo, para Giacomini et al. (2007), cada nutriente age de uma forma, saber ao certo o período em que o N dos resíduos culturais será liberado é de fundamental importância, pois a cultura em sucessão usufruirá desse elemento para o seu desenvolvimento. Entender essa dinâmica apresenta outros benefícios para o meio ambiente como, redução volatilização da amônia, lixiviação e emissão de óxido nitroso (N₂O).

A decomposição dos resíduos vegetais e a disponibilização do N desses resíduos acontece em duas etapas, previamente é caracterizada pela deterioração acelerada dos componentes estruturais da planta, estes que facilmente se decompõe, com baixa relação C:N. Após esta etapa, ocorre a decomposição lenta dos materiais de maior resistência, o qual possuem a relação C:N maior (CALONEGO et al., 2012).

Em ambas as safras, o nitrogênio (N) foi o nutriente mais extraído pelas plantas de cobertura, deste modo, com maior acúmulo na MS remanescente (Figura 4A e 4B). No ano de

2018/2019 (Figura 4A) os tratamentos que obtiveram os maiores valores de tempo de meia vida foram com a aveia preta + ervilhaca peluda e o pousio, ambos os tratamentos, foi necessário em torno de 79 dias (Tabela 8). Já o tratamento que obteve o menor valor foi com a ervilhaca peluda, cerca de 47 dias (Tabela 8), isso para que metade da quantidade do nutriente contido nos resíduos das culturas fosse liberada e retornasse ao solo. No ano de 2019/2020, o tratamento que obteve a maior média foi com a aveia preta + ervilhaca peluda foi necessário em torno de 154 dias (Tabela 8). Já o tratamento que obteve o menor valor foi com a ervilhaca peluda, cerca de 47 dias, valor este idêntico ao ano anterior.

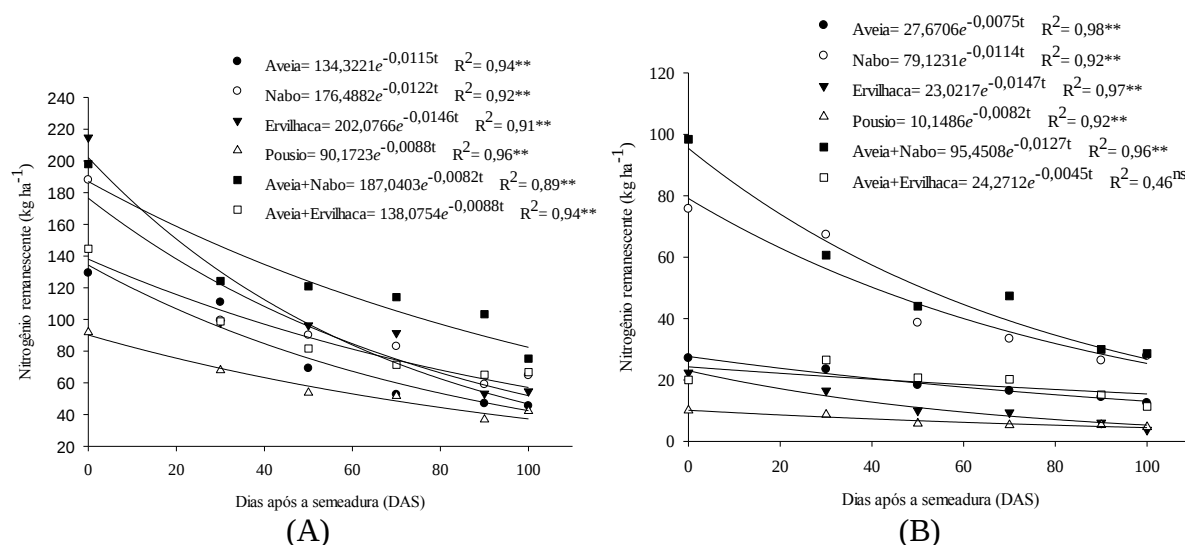


Figura 4 – Nitrogênio dos resíduos vegetais das plantas de cobertura ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020 (A) e (B), respectivamente.

Estes resultados podem estar associados com a utilização do consórcio entre uma gramínea e uma leguminosa, reduzindo a competição pelo N presente no solo, visto que a leguminosa utiliza o N proveniente da atmosfera. Além disso, a aveia apresenta grande capacidade de extração de N mineral do solo, oriundo da mineralização da matéria orgânica ou adubação química, sendo esse um dos motivos pelo elevado acúmulo na MS remanescente (CHERUBIN et al., 2014).

Aos 40 DAS do milho silagem, a quantidade de N liberada da MS remanescente do tratamento aveia preta + nabo forrageiro no ano de 2018/2019 foi de aproximadamente 125 kg ha⁻¹, (Figura 4A). No ano de 2019/2020 o valor foi inferior, cerca de 55 kg ha⁻¹ (Figura B), essa redução está relacionada a quantidade de matéria seca, já que em 2018/2019 a produção foi superior que o ano seguinte. Em relação ao N remanescente, a recomendação da adubação nitrogenada em cobertura para o milho silagem é de 120 kg ha⁻¹ entre os estádios V₂ e V₆ (NEPAR-SBCS, 2017), em torno de 40 dias após a semeadura, portanto, estes resultados

obtidos com o tratamento aveia preta + nabo forrageiro supriu a necessidade de adubação em 100% no ano de 2018/2019 e 45% em 2019/2020.

O tratamento que obteve em ambos os anos de experimento o menor valor de N remanescente aos 40 DAS do milho silagem, foi o pousio, no ano de 2018/2019 foi de aproximadamente 65 kg ha⁻¹, (Figura 4A), já no ano de 2019/2020 o valor foi inferior, cerca de 10 kg ha⁻¹ (Figura 4B). Com esses valores certamente é necessária uma complementação de adubação nitrogenada para suprir a demanda desse elemento pela cultura do milho silagem.

Aita e Giacomini (2003), analisando a liberação de nutrientes de plantas de cobertura, observaram que a ervilhaca detinha 60% do N inicial dos resíduos nos primeiros 15 dias de avaliação, ao mesmo tempo que, na mesma data de avaliação, a aveia e o nabo, obtiveram valor superior a 90%. Já Amado et al. (2003) analisando a decomposição da aveia e da ervilhaca, constataram que a ervilhaca disponibilizou a maior quantidade de N aos 90 dias após o manejo, cerca de 55 kg ha⁻¹, já entre o consórcio aveia + ervilhaca houve lentidão na liberação de N, isso se deve a relação maior C:N.

Em relação ao P remanescente, observou-se que a quantidade inicial nos resíduos vegetais diferiu entre os tratamentos para os dois anos de experimento (Figura 5A e B). De acordo com os valores expressos nas figuras, é possível observar que no ano de 2018/2019 (Figura 5A) a maior quantidade de P remanescente inicial (0 DAS) foi obtida pelo nabo forrageiro, por sua vez no ano de 2019/2020 (Figura 5B) quem obteve a maior média foi o tratamento aveia preta + nabo forrageiro.

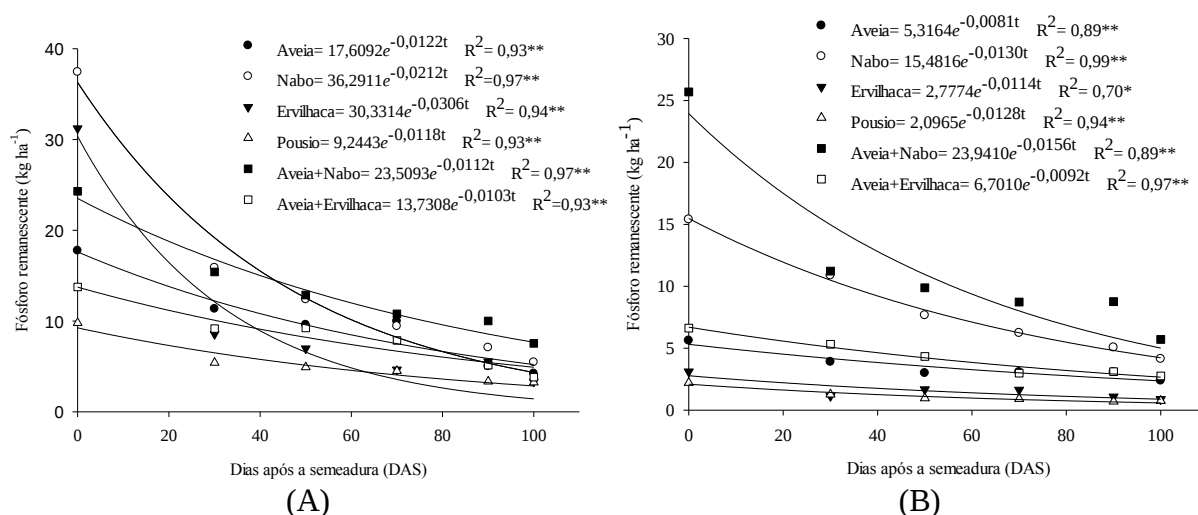


Figura 5 – Fósforo dos resíduos vegetais das plantas de cobertura ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020 (A) e (B), respectivamente.

O nabo forrageiro no ano de 2018/2019 aos 30 DAS, já havia liberado cerca de 57% do seu P remanescente, porém, a ervilhaca peluda superou esse valor, aos 30 DAS, cerca de

70% do seu P remanescente já tinha sido liberado, valores estes semelhantes aos encontrados por Giacomini et al. (2003). Resultados que podem ser explicados através do maior acúmulo de P solúvel em água da ervilhaca peluda, pois segundo Buchanan e King (1993), a liberação acelerada de P no período inicial da decomposição dos resíduos culturais está relacionada à perda do P solúvel em água. No ano seguinte 2019/2020, o tratamento que obteve a maior quantidade P remanescente inicial foi aveia preta + nabo forrageiro, na avaliação inicial possuiu cerca de 26 kg ha^{-1} , aos 30 DAS havia disponibilizado cerca de 50% do seu P remanescente. Neste ano foi possível observar que a liberação do P após os 30 DAS foi acentuada.

Em um trabalho realizado por Da Ros (1993) avaliando a liberação de P remanescente de diversas plantas de cobertura, o mesmo afirmou que 64% do P remanescente da ervilhaca e 33% do P remanescente da aveia foram liberados nos primeiros 30 dias após o manejo químico das mesmas. No tecido vegetal, a maior fração de P é localizado no vacúolo da célula, em sua forma mineral, o qual é solúvel em água, porém, para que este seja disponibilizado, o vacúolo deve ser rompido (MARSCHNER, 1995; HAWKESFORD et al., 2012). Diante disso, levando em consideração que no decorrer dos 50 primeiros dias após a implantação dos *litter bags* a chuva acumulada foi de 345 mm (Figura 1), 2018/2019 e de 260 mm (Figura 2), 2019/2020, com esses valores de precipitação é possível afirmar que, a maior fração do P solúvel em água tenha sido disponibilizado neste período, devido ao fato pluviométrico, permanecendo assim somente o P não solúvel em água, o qual para ser liberado necessita da ação microbiana (FROSSARD et al., 1995).

No ano de 2019/2020 é possível observar que após os 50 DAS, em todos os tratamentos houve liberação moderada do P remanescente. Aos 100 DAS, o tratamento que registrou a maior permanência de P remanescente foi o pousio, com aproximadamente 40% da quantidade inicial, por sua vez o tratamento que detinha a menor quantidade de P remanescente foi com a ervilhaca peluda, cerca de 10% da quantidade inicial após 100 DAS. Esse fato pode ser explicado, possivelmente devido a relação C/N elevada dos resíduos produzidos no pousio em relação a ervilhaca peluda que pertence à família das fabacea. Segundo Lobo et al. (2012), a medida que ocorre incremento da concentração de nitrogênio nos tecidos dos vegetais, a relação C/N tende a ser reduzida.

O maior tempo de meia vida do P remanescente foi observado em ambos os anos de experimento com o tratamento aveia preta + ervilhaca peluda, 67 e 94 dias respectivamente (Tabela 8). Entre as culturas isoladas, a ervilhaca foi a que apresentou a maior constante de liberação de P, com um tempo de meia vida desse elemento de aproximadamente duas vezes inferior à aveia preta, resultado este semelhante ao encontrado por Giacomini et al. (2003) onde

o tempo de meia vida da ervilhaca foi seis vezes menor comparado a aveia preta. É possível observar que no ano 2019/2020 os valores de meia vida foram todos maiores, em comparação ao ano anterior diante de cada tratamento, isso pode ser justificado à precipitação pluviométrica que ocorreu neste ano

O K foi o segundo nutriente mais extraído pelas plantas, destacando no ano de 2018/2019 o tratamento com nabo forrageiro, em que, a quantidade inicial (0 DAS) de K remanescente no tecido vegetal foi de aproximadamente 380 kg ha⁻¹ e no ano seguinte com o tratamento aveia preta + nabo forrageiro o valor foi de aproximadamente 280 kg ha⁻¹ (Figura 6A e 6B) apresentando tempo de meia vida de 17 e 55 dias, respectivamente (Tabela 8).

O elemento foi liberado de forma rápida dos resíduos culturais (Figura 6), com média de liberação duas vezes maior do que a observada em relação ao P (Tabela 8), isso no ano 2018/2019, no ano seguinte 2019/2020 a taxa média de liberação foi semelhante ao do P.

No ano de 2018/2019, na primeira amostragem, realizada aos 30 DAS, cerca de 13% do K da ervilhaca peluda e 25% do K do nabo forrageiro permaneciam nos resíduos dessas culturas. Nesse mesmo momento de avaliação, o K remanescente da aveia preta era de aproximadamente 55%. Nos tratamentos que incluíam a aveia preta os valores foram intermediários, no tratamento aveia preta + nabo forrageiro, o K remanescente era de aproximadamente 20%, já no tratamento aveia preta + ervilhaca peluda o valor do k remanescente foi superior, cerca de 45%.

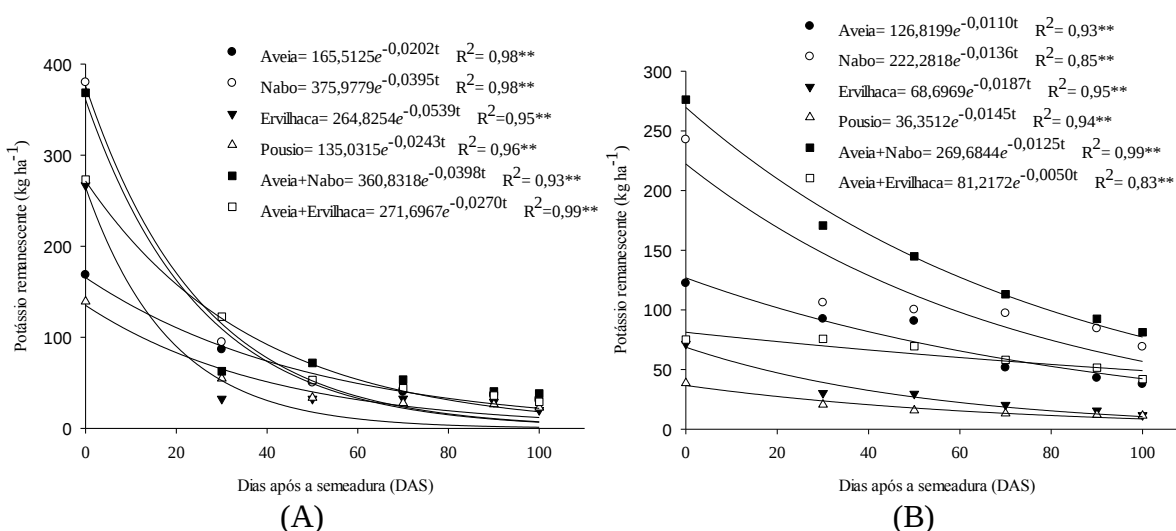


Figura 6 - Potássio dos resíduos vegetais das plantas de cobertura ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020 (A) e (B), respectivamente.

Em 2019/2020, foi observado que a taxa média de liberação em relação ao P foi semelhante, porém os valores de K remanescentes foram diferentes diante dos tratamentos. Na primeira amostragem, 30 DAS, em torno de 45% do K da ervilhaca peluda e 47% do K do

nabo forrageiro permaneciam nos resíduos culturais dessas espécies. Semelhante ao ano anterior, o valor do K remanescente da aveia preta foi ainda superior, cerca de 80%. No tratamento aveia preta + ervilhaca peluda, neste momento de avaliação, praticamente foi nula a disponibilidade do K remanescente.

A rápida liberação de K ocorrido nos 30 DAS, corrobora com resultados encontrados por Mattei et al. (2018) e Piano et al. (2019) o qual pode ser atrelado ao fato de o K não participar da constituição de nenhum componente estrutural do tecido vegetal (MARSCHNER, 1995; MALUF et al., 2015; TAIZ; ZEIGER, 2016). Em um trabalho realizado por Schomberg e Steiner (1999) os mesmos observaram que, quando há precipitações elevadas, ocorre uma maior disponibilidade de K nas leguminosas em comparação às gramíneas. Perante esses autores, fatores físicos (chuva) e químicos (característica dos resíduos) influenciam diretamente na liberação do nutriente e que, devido a elevada capacidade de liberação de K, parte desse nutriente pode ser perdido por lixiviação.

Para Giacomini et al. (2003) cerca de 70% do K no tecido vegetal das plantas de cobertura é solúvel em água. Consequentemente, com a incidente pluviométrico após o manejo das plantas de cobertura, a maior fração desse elemento rapidamente foi liberada dos resíduos culturais para o solo (CALONEGO et al., 2012). Desta forma, a precipitação pluviométrica observada no período 0 DAS aos 60 DAS no primeiro ano de experimento (Figura 1) certamente colaborou para uma maior liberação do K remanescente dos resíduos culturais.

Levando em consideração a média dos dois anos das quantidades de N, P e K liberadas até 100 dias da área de consórcio nabo+aveia e transformando-se em equivalentes dos adubos, estima-se uma economia de R\$ 2805,80 por hectare em fertilizantes (Tabela 9).

Tabela 9 - Economia (R\$ ha⁻¹) com base nas quantidades de fertilizantes equivalentes às quantidades de N, P e K liberados pela palhada remanescente das forrageiras submetidas ao pastejo até 100 dias após a semeadura do milho silagem

Nutriente	Liberado pela palhada	Equivalente em fertilizante ⁽¹⁾	Economia
	----- kg ha ⁻¹ -----		R\$ ha ⁻¹
N	82	182	764,40
P ₂ O ₅	19	106	275,60
K ₂ O	196	327	1765,80
Total			2805,80

⁽¹⁾N: Ureia (45% N, R\$ 4,20 kg⁻¹); P: Superfosfato Simples (18% P₂O₅, R\$ 2,60 kg⁻¹); K: Cloreto de Potássio (60% K₂O, R\$ 5,40 kg⁻¹). Preços médios dos fertilizantes fornecidos por empresas locais. US\$ = R\$ 5,64 (27/10/2021).

3.4 CONCLUSÕES

A utilização das plantas de cobertura no inverno promoveu incremento na quantidade de palhada sobre o solo e a ciclagem de nutrientes.

O consorcio entre aveia preta+nabo forrageiro proporcionou maior produtividade de matéria seca e acúmulo de nutrientes.

Em ambos os anos o pousio, resultou nas menores quantidades de matéria seca e disponibilizou as menores quantidades de nutrientes para o milho silagem em sucessão.

O carbono remanescente teve um desempenho similar a matéria seca remanescente.

O nitrogênio N foi o nutriente mais extraído pelas plantas de cobertura, deste modo, com maior acúmulo na MS remanescente.

Em relação ao P remanescente, em 2018/2019 a ervilhaca peluda aos 30 DAS, já tinha liberado cerca de 70% do seu P remanescente, no ano seguinte na última avaliação aos 100 DAS, a mesma detinha cerca de 10% da quantidade inicial P remanescente.

O K foi o segundo nutriente mais extraído pelas plantas, liberado de forma rápida dos resíduos culturais.

A utilização de plantas de cobertura de inverno, são alternativas viáveis para a redução de perdas no sistema, recuperação dos fertilizantes aplicados, resultando em sistemas mais sustentáveis.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMOSSÉ, C.; JEUFFROY, M. H.; DAVID, C. Relay intercropping of legume cover crops in organic winter wheat: effects on performance and resource availability. **Field Crops Research**, v. 145, p. 78-87, 2013.
- ARATANI, R. G.; MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; PECHE FILHO, A. DUARTE, A. P.; KANTHACK, R. A. D. Desempenho de semeadoras-adubadoras de soja em Latossolo Vermelho muito argiloso com palha intacta de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 517-522, 2006.
- BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Produção de soja e milho cultivados sobre diferentes coberturas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 89-98, 2015.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V.; Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- BRANQUINHO, K. B.; FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C.; BORSATTO, E. A. Desempenho de uma semeadora-adubadora direta, em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo da biomassa da cultura de cobertura do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 374-380, 2004.
- CHERUBIN, M. R.; FABRIS, C.; WEIRICH, S. W.; ROCHA, E. M. T.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; LAMEGO, F. P. Desempenho agrônômico do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo sob sistema plantio direto no Sul do Brasil. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, p. 76-85, 2014.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Requisitos para implantação e a manutenção do sistema plantio direto. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). **Plantio Direto no Brasil**. EMBRAPA-CNPT; FECOTRIGO-FUNDACEP; FUNDAÇÃO ABC, Aldeia Norte, p. 19-27, 1993.
- FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M. Plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoneira no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 978-985, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400021>
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.
- KAEFER, J. E.; GUIMARÃES, V. G.; RICHART, A.; CAMPAGNOLO, R.; WENDLING, T. A. Influência das épocas de manejo químico da aveia-preta sobre a incidência de plantas daninhas e desempenho produtivo do milho. **Revista Semina**, v. 33, n. 2, p. 481-490, 2012.

- KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. Taxa de composição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.
- LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. C. A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 29-35, 2010.
- LIMAI, E. A.; COELHO, F. C.; LIMA, A. A.; DORNELLES, M. S.; GARCIA, R. F. Semeadura direta de soja sobre diferentes plantas de cobertura e manejo os de palhada, na região Norte Fluminense. **Revista Ceres**, v. 56, n.6, p. 790-795, 2009.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Potafos**, v. 2, p. 319, 1997.
- MARTINS, D.; GONÇALVES, C. G.; SILVA JUNIOR, C. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 649-657, 2016.
- MATTEI, E.; OLIVEIRA, P. S. R.; RAMPIM, L.; EGEWARTH, J. F.; REGO, C. A. R. M.; PIANO, J. T.; HERRERA, J. L. Remaining straw and release of nutrients from oat managed in integrated crop-livestock. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 1, p. 206-215, 2018.
- NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Covering crops straw production and common bean productivity in notillage system. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 43-948, 2006.
- OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 08, p. 1079-1087, 2002.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. Academic Press is an imprint of Elsevier, e. 1, p. 275, 1989.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; CABALLERO, S. S. U.; GUERRA, J. G. M.; GUSMÃO, L. A. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalaria e milho solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 2, p. 274-281, 2010.
- PIANO, J. T.; EGEWARTH, J. F.; FRANDALOSO, J. F.; MATTEI, E. OLIVEIRA, P. S. R.; REGO, C. A. R. M.; HERRERA, J. L. Decomposition and nutrients cycling of residual biomass from integrated crop-livestock system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n.05, p. 739-745, 2019.
- ROSOLEM, C. A.; PACE, L.; CRUSCIOL, C. A. C. Nitrogen management in maize cover crop rotations. **Plant and Soil**, v. 264, p. 261-271, 2004.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3.ed. Viçosa: UFV, 2006. 235 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H., VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Boletim Técnico, v. 2, n. 5, p. 174, 1995.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; FURTINI NETO, A. E.; ANDRADE, M. J. B.; MARQUES, E. L. S. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milheto, feijão-de-porco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 01, p. 93-99, 2005.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25 n. 10, p. 1351-1361, 1993.

TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; SCARSI, M.; SILVA, C. L.; ADAMI, P. F.; DALLACORT, R. Manejos de cobertura vegetal e velocidades de operação em condições de semeadura e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 796-802, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000700015>

TRUONG, T. H. H.; MARSCHNER, P. Respiration, available N and microbial biomass N in soil amended with mixes of organic materials differing in C/N ratio and decomposition stage. **Geoderma**, v. 319, p. 167-174, 2018.

4 4 CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DE MILHO SILAGEM CULTIVADO APÓS MANEJOS DE PLANTAS DE COBERTURA

RESUMO

O milho se evidencia no âmbito agrícola nacional e internacional pois é um relevante insumo nas propriedades rurais, sua ampla utilização torna a sua produção atrativa e viável aos agricultores. A produção de silagem no Brasil é uma alternativa muito empregada por parte dos agricultores e pecuaristas. Elevar a produção de silagem através de práticas conservacionista é vista de forma positiva no âmbito agrícola. A escolha sistemática de uma determinada planta de cobertura, em conjunto à um sistema de rotação ou sucessão de culturas é uma estratégia para o acúmulo de palhada na superfície do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das diferentes plantas de cobertura, conduzidas em semeadura direta e a adubação nitrogenada em cobertura, sobre as características agronômicas e componentes de produção do milho silagem. O experimento foi realizado entre os meses de abril de 2018 a janeiro de 2020, em Marechal Cândido Rondon – PR, o delineamento experimental utilizado foi o de faixas, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas foram representadas pelas plantas de cobertura Aveia preta (*Avena Strigosa* S.), Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), Ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Rotl), consorcio entre Aveia preta + Nabo forrageiro e Aveia preta + Ervilhaca peluda e pousio; as subparcelas, foram estabelecidas pelos manejos, químico e mecânico, ambos realizados quando as plantas estavam no estágio de pleno florescimento. Foram determinados: estande final de plantas, altura de plantas, altura da inserção de espiga, diâmetro do colmo e produtividade total de matéria seca. A utilização das plantas de cobertura é uma alternativa viável para se obter um alto rendimento de silagem de milho. O consorcio entre as plantas de cobertura aveia preta + nabo forrageiro foi a melhor opção para o sistema sucessão com a cultura do milho silagem, devido a maior produtividade. Com o emprego das plantas de cobertura a adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho silagem pode ser reduzida de forma parcial.

Palavras-chave: *Zea Mays* L., Adubação nitrogenada. Sucessão. Matéria seca.

AGRONOMIC CHARACTERISTICS AND PRODUCTIVITY OF CORN (SILAGE) CULTIVATED AFTER MANAGEMENT OF COVER PLANTS

ABSTRACT

Maize stands out in the national and international agricultural scope as it is a relevant input in rural properties, its wide use as a main product and the use of its by-products makes its production attractive and viable for farmers. Silage production in Brazil is an alternative widely used by farmers and ranchers. Raising silage production through conservation practices is viewed positively in the agricultural sphere. The systematic choice of a specific cover plant, together with a rotation system or crop succession, is a strategy for the accumulation of straw on the soil surface. The objective of this work was to evaluate the effect of different cover crops, under no-tillage system and nitrogen fertilization in cover crops, on the agronomic characteristics and production components of corn silage. The experiment was carried out between the months of April 2018 to January 2020, in Marechal Cândido Rondon - PR, the experimental design used was that of strips, with split plots and three replications. The plots were represented by cover crops Black oat (*Avena Strigosa* S.), Forage turnip (*Raphanus sativus*), Hairy vetch (*Vicia villosa* Rotl), intercropping between Black oat + Forage turnip and Black oat + Hairy and fallow vetch; the subplots were established by chemical and mechanical management, both carried out when the plants were in full flowering stage. The following were determined: final plant stand, plant height, height of ear insertion, stem diameter and total dry matter yield. The use of cover crops is a viable alternative to obtain a high yield of corn silage. The intercropping between the cover crops black oat + forage radish was the best option for the succession system with the corn silage crop. With the use of cover crops, the nitrogen fertilization in cover in corn silage can be partially reduced.

KEY WORDS: Zea Mays L., Nitrogen fertilization. Succession. Dry matter.

4.1 INTRODUÇÃO

A área cultivada com milho no Brasil é de aproximadamente 17,5 milhões de hectares, cujo a grande parte é cultivada sob o sistema plantio direto (SPD) (CONAB, 2020). No entanto, para que esse sistema seja eficaz, é imprescindível um correto manejo do solo, com o emprego de práticas conservacionistas, sejam elas mecânicas, edáficas ou vegetativas, entre as quais se evidencia a utilização de plantas de cobertura (CARVALHO et al., 2015).

A escolha pelo cultivo sistemático de uma planta de cobertura contribui para a implantação de um sistema de rotação ou sucessão de culturas, pois, favorece o acúmulo de palhada na superfície do solo (WUTKE et al., 2014). Com a utilização dessa técnica, figuram: estabilidade na produção da cultura devido à quebra do ciclo de pragas e doenças, restrição no desenvolvimento de plantas daninhas, alteração na extração e ciclagem de nutrientes devido às espécies diferentes e preservação ou melhoria das condições físicas e químicas do solo (CARVALHO et al., 2015). As plantas de cobertura, especialmente as leguminosas, devem ser indicadas para associação (consórcio, sucessão e rotação) à culturas que necessitam de uma demanda de nitrogênio (N) elevada, exemplo, o milho (*Zea Mays* L.) (ALBUQUERQUE et al., 2013).

O cultivo de milho em sucessão a leguminosas oportuniza maior quantidade de N à cultura, assim como um melhor aproveitamento do N oriundo do fertilizante nitrogenado pela planta e maior produtividade de grãos, através da fixação biológica ou pela ciclagem de N obtido das camadas superficiais do solo com a inserção da biomassa, resultando assim em economia de fertilizantes nitrogenados (ALBUQUERQUE et al., 2013; CARVALHO et al., 2015). No entanto, quantidades de nutrientes liberados pelas gramíneas podem ser similares ou excedentes às acrescentadas pelas leguminosas, conforme a produção de fitomassa e das concentrações de lignina, celulose e hemicelulose da parte aérea da planta (CARVALHO et al., 2012; DONEDA et al., 2012).

Existem alguns fatores, bióticos e abióticos, como umidade do solo, temperatura do ar, quantidade e composição das plantas de cobertura, dentre outros fatores que influenciam diretamente o processo de decomposição dos resíduos vegetais e como resultado interferem na ciclagem de nutrientes e produtividade da cultura em sequência (CARVALHO et al., 2011; TALBOT; TRESEDER, 2012). Porém, dependendo da quantidade de matéria seca e nutrientes e do estágio em que essa planta foi cortada, esses fatores podem acelerar ou não o processo de decomposição e liberação de nutrientes para as culturas (PACHECO et al., 2011; CARVALHO et al., 2012).

O milho se evidencia no âmbito agrícola nacional e internacional pois é um relevante insumo de renda nas propriedades rurais (FERRO et al., 2017; FERREIRA et al., 2018). Dentre os cereais cultivados no Brasil, o milho é o mais importante, sua utilização é ampla como, alimentação humana, animal e como fonte de matéria-prima para indústrias.

A cultura pertence à família das poáceas e sua origem segundo pesquisas foi na América central (PHILIPPI et al., 2016; COUTO et al., 2017). O Brasil é um país de grande relevância, pois é o terceiro maior produtor e o segundo maior exportador mundial desse cereal (USDA 2020). Conforme os dados da Conab (2021), fazendo o somatório da primeira e da segunda safra a cultura produziu cerca de 106 milhões de toneladas de grãos no Brasil, verificou-se um acréscimo de 3,7 % em relação à safra anterior 2019/2020. A área destinada ao milho totalizou 19,3 milhões de hectares, pertinentes a safra e safrinha do ano de 2020/2021.

A vasta utilização do milho como produto principal e o aproveitamento dos seus subprodutos torna a sua produção atrativa e viável aos agricultores (COUTO et al., 2017). Para evitar a deficiência no desenvolvimento animal no decorrer do período de seca, onde neste período as pastagens diminuem seu valor nutritivo, retardam sua produção de massa verde e ampliam seus valores de fibra, ocorrendo assim redução no consumo e consequentemente perda de peso vivo dos animais (AGUIAR et al., 2014). O emprego de alimentos volumosos e concentrados como suplementos ou substitutos ao pasto tem ganhado apreço por parte dos produtores (VIEIRA et al., 2011).

A produção e o emprego da silagem no Brasil iniciaram em 1960, esse progresso se deu através do sistema de produção de vacas leiteiras (NERES; AMES, 2015). Diante desta circunstância a silagem de milho, tem-se mostrado uma opção eficaz e viável economicamente, segundo Calonego et al. (2011) a mesma possui alto valor energético e alimentício que junto com a facilidade de cultivo e adaptação faz com que a cultura seja cultivada em todo o território brasileiro, e no período de seca seja um alimento ideal para a suplementação nutricional dos animais (FERREIRA et al., 2011; FERREIRA et al., 2017).

A disponibilidade de silagem de boa qualidade pode diminuir o emprego de concentrados e desse modo as despesas com alimentação do rebanho, assim amplia o lucro do produtor, visto que a alimentação é o fator de maior custo de produção (PEREIRA et al., 2012; CAMPOS et al., 2017).

Quando se fala de alimentação animal, a silagem de milho é a mais empregada por parte dos agricultores (CALIXTO JÚNIOR et al., 2017). Isso deve a sua composição bromatológica atestar as exigências para a confecção de uma boa silagem (COUTO et al., 2017). A escolha de uma determinada cultivar de milho para a produção de silagem, tem por finalidade a obtenção

de um produto viável economicamente e de boa qualidade (COUTO et al., 2017). Particularidades como relação grãos/massa verde, número de espigas, produção de massa verde, duração do ciclo e manejo adequado, interferem diretamente em uma silagem rica e com menor teor de lignina.

Com base na hipótese de que as plantas de cobertura e os manejos empregados podem promover incremento na produtividade do milho silagem em sucessão, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a altura de plantas, altura da primeira espiga, diâmetro basal de colmo, número de espigas por planta, estande de plantas, massa de folhas, colmo e espigas, além da produção de milho silagem, cultivado após plantas de cobertura de aveia preta, ervilhaca peluda, nabo forrageiro, aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + ervilhaca peluda e a manutenção do pousio no período do inverno e dois tipos de manejos, mecânico e químico.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização, clima e solo da área experimental

As informações sobre localização, o clima e as características do solo da área experimental, estão apresentadas no item 2.2.1 do Capítulo 1.

4.2.2 Delineamento experimental

As informações sobre o delineamento experimental, estão apresentadas no item 2.2.2 do Capítulo 1.

4.2.3 Implantação e manejo da cultura do milho

Após o manejo das espécies de cobertura, na área foi realizado a semeadura da cultura do milho, a semeadura ocorreu em 24/09/2018 e 04/10/2019, mediante a utilização das cultivares Coodetec 384 PW e Morgan 30A91 PW, respectivamente, com 5 sementes por metro linear, com espaçamento nas entrelinhas de 0,75 m, em semeadura direta sobre a palhada das plantas de cobertura.

Na adubação de base foi utilizando 350 kg ha⁻¹ do formulado 10-15-15 (N, P₂O₅ e K₂O). As sementes foram tratadas com o inseticida de Imidacloprido + Tiodicarbe e com o

fungicida Carbendazim + Tiram. Durante o desenvolvimento da cultura do milho os tratos culturais foram realizados conforme o necessário, seguindo recomendação agrônômica.

A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada de forma manual, o milho semeado nas parcelas onde existia plantas de cobertura, recebeu 112,5 kg ha⁻¹ de N e no pousio, 225 kg ha⁻¹ de N, a fonte utilizada foi a ureia (45%N), a aplicação foi parcelada em duas vezes, quando o milho se encontrava no estágio fenológico V4 e V6.

4.2.4 Avaliações realizadas

A colheita do milho silagem ocorreu no estágio R5, ou seja, quando os grãos estavam farináceo-duro. As avaliações foram realizadas nos dias 03/01/2018 e 11/01/2020, respectivamente. Neste momento, foram realizadas as avaliações das características agrônômicas, estande final de plantas, altura de plantas (cm), altura da inserção da primeira espiga (cm), diâmetro do colmo (mm), e de matéria seca (ha⁻¹).

O estande final de plantas foi aferido contando-se o número de plantas sequenciadas em amostras de 1 metro, em cinco pontos, posteriormente, o valor foi convertido em plantas ha⁻¹. A altura de plantas e altura de inserção da espiga (m), foram determinadas considerando dez plantas por parcela, medindo-se do nível do solo até a inserção da última folha e do nível do solo até a inserção da primeira espiga, respectivamente. O diâmetro do colmo (mm) na base foi mensurado com auxílio de um paquímetro digital, em dez plantas tomadas ao acaso por parcela.

Após estas avaliações, as plantas foram cortadas manualmente cerca de 20 cm acima do solo em duas linhas centrais da subparcela. A produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹) foi correspondente ao valor obtido após a correção da produção de matéria verde pela porcentagem de matéria seca obtida a 65 °C.

4.2.5 Análise estatística

As informações sobre a análise estatística, estão apresentadas no item 2.2.6 do Capítulo 1.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado no primeiro ano de condução experimental, que os manejos empregados nas plantas de cobertura (dessecado e triturado), influenciaram de forma significativa o número

de espigas no milho silagem em sucessão, a interação plantas x manejos influenciou o diâmetro do colmo do milho (Tabela 10).

Tabela 10 - Quadrado médio da população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção da espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem conduzido após o manejo de diferentes plantas de cobertura no ano de 2018 e 2019.

FV	GL	POP	ALT	ALT INS
Bloco	2	70781899,5885 ^{ns}	0,0048 ^{ns}	0,009 ^{ns}
Plantas	5	114238662,0576 ^{ns}	0,01673 ^{ns}	0,0129 ^{ns}
Erro 1	10	55637883,6214	0,0095	0,0048
Manejos	1	13717443,0727 ^{ns}	0,0090 ^{ns}	0,0075 ^{ns}
Erro 2	2	3840882,5789	0,0187	0,0067
Plantas x Manejos	5	28203007,8464 ^{ns}	0,0103 ^{ns}	0,0042 ^{ns}
Erro 3	10	55857338,7106	0,0059	0,0041
CV 1 (%)		12,99	4,48	7,02
CV 2 (%)		3,41	6,30	8,24
CV 3 (%)		13,02	3,54	9,43
FV	GL	DIAM	Nº ESP	MS
Bloco	2	1,8133 ^{ns}	0,0041 ^{ns}	2478252,8160 ^{ns}
Plantas	5	3,8045 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	5155064,8775 ^{ns}
Erro 1	10	1,8099	0,0017	16264693,3948
Manejos	1	2,6190 ^{ns}	0,0064*	326730,3707 ^{ns}
Erro 2	2	1,7397	0,000058	3824663,9281
Plantas x Manejos	5	7,8650*	0,0011 ^{ns}	6883907,5440 ^{ns}
Erro 3	10	1,9850	0,0012	13761223,9143
CV 1 (%)		6,93	4,23	22,24
CV 2 (%)		6,79	0,78	10,78
CV 3 (%)		7,26	3,57	20,46

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as plantas; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para plantas x manejos.

Para o segundo ano de condução, verificou-se que as plantas de cobertura (aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca peluda, aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + ervilhaca peluda e o pousio) influenciaram de forma significativa as variáveis altura de planta e produtividade de matéria seca do milho silagem. Por sua vez os manejos (dessecado e triturado) influenciaram de forma significativa a variável altura de planta (Tabela 11).

Tabela 11 - Quadrado médio da população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção da espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem conduzido após o manejo de diferentes plantas de cobertura no ano de 2019 e 2020.

FV	GL	POP	ALT	ALT INS
Bloco	2	3740878,8752 ^{ns}	0,0051 ^{ns}	0,0075 ^{ns}
Plantas	5	91412906,1180 ^{ns}	0,0203*	0,0052 ^{ns}
Erro 1	10	87462300,4390	0,0033	0,0022
Manejos	1	13717393,6900 ^{ns}	0,2880*	0,1100 ^{ns}
Erro 2	2	49931435,2538	0,0037	0,0105
Plantas x Manejos	5	20301804,8834 ^{ns}	0,0046 ^{ns}	0,0013 ^{ns}
Erro 3	10	62441689,4102	0,0042	0,0021
CV 1 (%)		18,08	2,99	5,55
CV 2 (%)		13,66	3,18	12,15
CV 3 (%)		15,28	3,39	5,41
FV	GL	DIAM	Nº ESP	MS
Bloco	2	1,2296 ^{ns}	0,0031 ^{ns}	6431076,1980 ^{ns}
Plantas	5	4,0869 ^{ns}	0,0858 ^{ns}	41667717,4856*
Erro 1	10	2,0304	0,0356	5729154,4018
Manejos	1	1,1060 ^{ns}	0,0982 ^{ns}	21612162,7358 ^{ns}
Erro 2	2	3,3498	0,0279	7481792,4741
Plantas x Manejos	5	3,3607 ^{ns}	0,0313 ^{ns}	4776653,8645 ^{ns}
Erro 3	10	1,5884	0,0242	5871159,3774
CV 1 (%)		7,58	16,79	15,43
CV 2 (%)		9,74	14,86	17,64
CV 3 (%)		6,71	13,83	15,62

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as plantas; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para plantas x manejos.

Não houve diferença significativa para população de plantas (POP), perante todas as plantas de cobertura e em ambos os anos de experimento (Tabela 12). Porém, foi possível observar diante dessa variável que no segundo ano experimental houve uma redução média de 10%, diante de cada planta de cobertura e perante os dois manejos. Essa redução pode estar relacionada as condições climáticas, mais precisamente a precipitação pluviométrica que ocorreu no primeiro semestre de 2019 (Figura 1 e 2), acarretando um atraso na semeadura das plantas de cobertura, consequentemente influenciando nesta variável.

A altura de plantas do milho sofreu influência das plantas de cobertura e dos manejos empregados, de forma isolada, no segundo ano de condução (Tabela 12). Em relação as plantas de cobertura, observou-se que a utilização do consórcio aveia + nabo promoveu maior altura de plantas (2 m), não diferindo do consórcio aveia + ervilhaca e da aveia e do nabo, cultivados de forma exclusiva (Tabela 12).

Estes resultados podem estar associados a quantidade de resíduo deixado pela cultura antecedente (Figura 3C). De acordo com Noce et al. (2008), a maior quantidade de resíduos vegetais sobre a superfície do solo tende a promover o aumento da altura de plantas de milho, em função de uma maior elongação do caule, para que ocorra o rompimento da camada de palhada.

Resultados semelhantes foram obtidos por Conte e Prezotto (2008), trabalhando com diferentes plantas de cobertura e o milho em sucessão, constataram que a altura de plantas foi influenciada pelas plantas de cobertura. Mayub et al. (2002) associam o aumento na altura das plantas pelo fornecimento de N via resíduos vegetais antecedentes. Este comportamento foi observado por Santos et al. (2010) avaliando o efeito de plantas de cobertura e da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, os mesmos ratificaram que as plantas de cobertura interferiram de forma positiva na altura de plantas do milho.

Para Silva et al. (2006) a altura da planta é uma variável que define o grau de desenvolvimento da cultura e que tem correlação direta com a produtividade, ou seja, plantas de porte maior tendem a ser mais produtivas, supostamente porque sofrem de forma mínima, estresses durante o seu desenvolvimento, e armazenam maiores quantidades de reservas no colmo.

No que se refere ao manejo empregado, quando as plantas foram submetidas à dessecação, a altura de plantas foi estatisticamente superior (2 m), quando comparado ao manejo triturado (1,82 m) (Tabela 12). Para Moraes et al. (2013), o manejo das plantas de cobertura é compreendido como uma técnica na qual o desenvolvimento das mesmas em uma determinada fase do seu desenvolvimento é interrompido. Esse procedimento tem inúmeros benefícios, um deles é o aumento da palhada na superfície do solo, resultando em um incremento da matéria orgânica do solo. O emprego de diferentes manejos modifica a fragmentação da planta manejada, alterando assim o tempo de decomposição dos resíduos e modificando as condições biológicas do solo, como resultado o cultivo seguinte é beneficiado (AMOSSÉ et al., 2013; MARTINS et al., 2016).

Tabela 12 - Componentes de produção (população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção de espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (No ESP) e produtividade de matéria seca (MS)) de milho silagem, conduzido após o manejo de diferentes plantas de cobertura no ano de 2018/2019 e 2019/2020.

Espécies	POP (plantas ha ⁻¹) (2018 - 2019)			POP (plantas ha ⁻¹) (2019 - 2020)		
	Dessecado	Triturado	Média	Dessecado	Triturado	Média
Aveia	57777,78	53333,33	55555,56	56296,29	54814,81	55555,55
Nabo	60740,74	60740,74	60740,74	54814,81	51851,85	53333,33
Ervilhaca	59259,26	62222,22	60740,74	50370,37	42962,96	46666,67
Av Nb	65185,18	59259,26	62222,22	56296,29	56296,29	56296,29
Av Er	54814,81	50370,37	52592,59	48888,88	50370,37	49629,63
Pousio	50370,37	54814,81	52592,59	47407,40	50370,37	48888,89
Média	58024,69	56790,12		52345,67	51111,11	

Espécies	ALT (m) (2018 - 2019)			ALT (m) (2019 - 2020)		
	Dessecado	Triturado	Média	Dessecado	Triturado	Média
Aveia	2,04	2,21	2,12	1,97	1,87	1,92 AB
Nabo	2,11	2,18	2,14	2,03	1,84	1,93 AB
Ervilhaca	2,20	2,25	2,22	1,97	1,76	1,86 B
Av Nb	2,25	2,22	2,23	2,07	1,94	2,00 A
Av Er	2,22	2,16	2,19	2,03	1,78	1,90 AB
Pousio	2,12	2,11	2,11	1,94	1,74	1,84 B
Média	2,15	2,18		2,00 a	1,82 b	

Espécies	ALT INS (m) (2018 - 2019)			ALT INS (m) (2019 - 2020)		
	Dessecado	Triturado	Média	Dessecado	Triturado	Média
Aveia	0,91	1,01	0,96	0,89	0,81	0,85
Nabo	0,93	0,98	0,95	0,9	0,82	0,86
Ervilhaca	1,09	1,05	1,07	0,85	0,76	0,80
Av Nb	0,96	1,02	0,99	0,92	0,81	0,86
Av Er	1,01	1,00	1,00	0,94	0,80	0,86
Pousio	0,95	0,95	0,95	0,87	0,76	0,80
Média	0,97	1,00		0,89	0,78	

Espécies	DIAM (mm) (2018 - 2019)			DIAM (mm ¹) (2019 - 2020)		
	Dessecado	Triturado	Média	Dessecado	Triturado	Média
Aveia	19,46 Aba	20,6 Aa	20,03	19,97	18,74	19,35
Nabo	18,72 ABa	17,83 Aa	18,27	18,39	19,06	18,72
Ervilhaca	21,16 Aa	19,53 Aa	20,34	17,11	18,24	17,67
Av Nb	18,33 Aba	19,20 Aa	18,76	19,61	20,48	20,04
Av Er	16,90 Bb	21,56 Aa	19,23	19,96	17,27	18,61
Pousio	20,27 ABa	19,37 Aa	19,82	18,73	17,89	18,31
Média	19,14	19,68		18,96	18,61	

Espécies	Nº ESP (Espiga/Planta) (2018 - 2019)			Nº ESP (Espiga/Planta) (2019 - 2020)		
	Dessecado	Triturado	Média	Dessecado	Triturado	Média
Aveia	1,00	0,94	0,97	1,00	1,00	1,00
Nabo	0,98	0,95	0,96	1,08	1,08	1,08
Ervilhaca	1,00	0,95	0,97	1,17	1,32	1,24
Av Nb	1,00	0,95	0,97	1,00	0,97	0,98
Av Er	1,00	1,00	1,00	1,06	1,24	1,15

Continuação tabela 12

Pousio	0,96	0,97	0,96	1,09	1,43	1,26
Média	0,99	0,96		1,06	1,17	
Espécies	MS (kg ha ⁻¹) (2018 - 2019)			MS (kg ha ⁻¹) (2019 - 2020)		
	Dessecado	Triturado	Média	Dessecado	Triturado	Média
Aveia	17172,84	17856,79	17514,82	17911,76	16553,01	17232,39 AB
Nabo	16651,85	18459,26	17555,56	16502,67	16192,28	16347,48 ABC
Ervilhaca	17343,21	18943,21	18143,21	13267,05	10240,41	11753,73 C
Av Nb	19619,75	20091,36	19855,56	18482,48	19762,73	19122,61 A
Av Er	19997,53	16716,05	18356,79	16275,88	13714,04	14994,96 ABC
Pousio	18595,06	16170,37	17382,72	15265,11	11944,7	13604,91 AB
Média	18230,04	18039,51		16284,16	14734,53	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey.

Perante a variável altura de inserção de espiga não foi observado diferença significativa, diante das diversas plantas de cobertura e anos de experimento (Tabela 12). Essa característica é de grande importância, pois, a mesma tem ação direta na colheita do cereal, sendo que, plantas com reduzida altura de espiga, podem prejudicar a colheita mecanizada (COSTA et al., 2012).

No caso do milho quando seu destino é a produção de silagem, para Neumann et al. (2011), a planta deve apresentar uma altura de inserção de espiga de 0,80 m a 1,20 m. Para Kappes et al. (2011) quando a planta apresenta uma altura de inserção de espiga adequada, o dano de quebra de colmo é minimizado, principalmente em áreas de população mais elevada. Neste experimento apenas o tratamento pousio com o manejo triturado no segundo ano apresentou um valor abaixo dos referenciados por Neumann et al. (2011).

O colmo é a estrutura da planta que dá sustentação a mesma. Um colmo de pouca espessura é uma característica indesejável na cultura do milho, pois quando a planta apresenta uma altura elevada e colmo fino, favorece o quebramento e o acamamento (VILLELA 1999). Não só relacionado a parte estrutural, o colmo é o órgão da planta que está associado a translocação de sólidos solúveis, e que quanto maior for o seu diâmetro, maior será a capacidade de translocação de compostos oriundos da fotossíntese (OLIGINI et al., 2019).

O diâmetro do colmo foi influenciado pelas espécies utilizadas e manejos empregados, para o primeiro ano de condução (Tabela 12). O milho cultivado após a ervilhaca peluda dessecada obteve a maior diâmetro de colmo, não diferindo da aveia, pousio, nabo e do consórcio aveia + nabo (Tabela 12). Observou-se ainda, que quando as espécies em consórcio, aveia + ervilhaca foram submetidas ao manejo de dessecação, as mesmas apresentaram diâmetro do colmo estatisticamente inferior (16,90 mm) quando comparada ao manejo triturado (21,56 mm) (Tabela 12).

Conte e Prezotto (2008) em seu trabalho constataram que o diâmetro do colmo é influenciado pela adubação verde, a mesma proporcionou um aumento na retenção de água no solo. Resultado similar foi evidenciado por Santos et al. (2010) onde os autores observaram que a adubação verde influenciou de forma significativa o diâmetro e o comprimento de espigas na cultura do milho. No segundo ano experimental, não foi observado diferença significativa nesta variável, esse fato pode estar associado em função da cobertura formada e melhor uso da água que ocorreu do primeiro para o segundo ano. Lazarro et al. (2013) constaram que devido ao alto teor de matéria orgânica do solo onde foi conduzido o experimento com plantas de cobertura, a variável diâmetro de colmo não sofreu interferência significativa.

A variável número de espigas por planta não diferiu estatisticamente em ambos os anos de experimento (Tabela 12). Esta variável acompanha o comportamento da população de plantas por hectare. Para Albuquerque et al. (2013), o número de espigas por plantas é um elemento de produção, o mesmo sofre grande interferência genética, em vista disso, entende-se que o número de espigas por planta esteja, portanto, relacionado a variação da população de plantas hectare.

Com relação a produtividade de matéria seca (Tabela 1) no primeiro ano experimental não foi observado diferença significativa. Já no segundo ano houve diferença significativa perante as plantas de cobertura. Para Cherubin et al. (2014), o milho cultivado após as plantas de cobertura, tem seus componentes de produção elevados, resultando assim em uma maior produtividade da cultura. Produtividades de MS de milho silagem acima de 16,5 t/h são consideradas elevadas (MIRANDA et al, 2002; D'OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2014).

Foi possível observar na variável MS que o milho cultivado após o consorcio entre aveia preta + nabo forrageiro em ambos os anos de experimento, obteve as maiores médias, 19855,56 e 19122,61 kg ha⁻¹, respectivamente. Silva et al. (2008), reiteram que o cultivo do milho após o plantio de espécies das famílias das leguminosas e das brassicaceas resulta em uma produtividade superior se comparado ao cultivo do milho após o plantio de espécies da família das poáceas. No entanto, os autores ressaltam que especialmente em sistema de plantio direto em início de implantação, é interessante o cultivo de espécies da família das poaceas, visto que as mesmas têm a capacidade elevada de produção de palhada, com decomposição mais lenta, comparada a espécies com baixa relação C/N, como as brassicáceas e leguminosas.

Em um trabalho realizado por Lázaro et al. (2013) com diferentes plantas de cobertura, os autores ratificaram que o milho cultivado sobre palhada de aveia preta + tremoço branco foi o mais produtivo 10817 kg ha⁻¹, o cultivo do milho sobre a palhada de aveia preta + nabo

forrageiro obteve a produção de 10508 kg ha⁻¹, estes resultados se diferiram estatisticamente do milho cultivado sobre palhada de aveia preta solteira 9180 kg ha⁻¹ e do pousio 9650 kg ha⁻¹.

Estes resultados, podem ser imputados às características destas plantas de cobertura, pois o tremoço branco é uma leguminosa com alta capacidade de incorporação de N ao solo pelo processo de fixação simbiótica e o nabo forrageiro por ser muito eficiente na ciclagem de nutrientes (OHLAND et al. 2005, SILVA et al. 2006, LÁZARO et al., 2013).

Foi possível verificar que no primeiro ano o milho cultivado após o pousio obteve uma média de produtividade de 17382,72 kg ha⁻¹, valor este inferior, porém, próximo as demais plantas de cobertura, assim sendo observado que a produtividade de MS do milho foi superior no primeiro ano quando cultivado em sucessão as plantas de cobertura em comparação ao pousio.

Em um trabalho realizado por Silva et al. (2014) avaliando o cultivo de milho silagem, em sucessão a plantas de cobertura, os mesmos asseguram que a produção de resíduos vegetais oriundos do pousio, apresenta-se como uma alternativa vantajosa de redução de custos, visto que se aproveitam as plantas desenvolvidas na área durante o pousio, sem a necessidade da implantação de uma planta de cobertura. Já Santos Junior et al. (2019), ratificam que área mantida em pousio sob vegetação espontânea apresentou-se como opção desvantajosa para o acúmulo de matéria seca do milho, opção essa não sendo recomendada pelos pesquisadores.

No segundo ano o milho cultivado após a ervilhaca peluda obteve a menor média diante das plantas de cobertura, valor este de aproximadamente 11753,73 kg ha⁻¹. Diferente desse resultado foi o encontrado por Zanata et al. (2015), os mesmos avaliando o cultivo do milho sob diferentes plantas de cobertura, constataram a maior produtividade de milho após o cultivo da ervilhaca peluda. Neste presente estudo, o resultado obtido após o cultivo da ervilhaca peluda pode estar relacionado ao déficit na precipitação pluviométrica que ocorreu entre os meses de junho a setembro (Figura 2) fazendo com que o desenvolvimento inicial da cultura antecessora, fosse prejudicado, resultando assim em um aporte inferior de resíduo no solo.

Para Silva et al. (2007), solos com baixa disponibilidade de N, a prática de consórcio entre uma gramínea com uma espécie da família das leguminosas ou das brássicas, é uma alternativa viável, pois ocorre um aumento na produção de milho em relação à sucessão à aveia preta em cultivo isolado. De acordo com Silva et al. (2006), sem adubação nitrogenada, as maiores produtividades são atingidas quando a cultura antecessora é uma leguminosa. Para Weber e Mielniczuk (2009) e Santos et al. (2010), quando não é possível realizar uma adubação nitrogenada, a utilização de leguminosas como culturas antecessoras aumentam a produtividade do milho.

No presente estudo o milho cultivado após o pousio recebeu uma dose de adubação nitrogenada em cobertura de 225 kg ha^{-1} , diferente dos demais tratamentos que receberam $112,5 \text{ kg ha}^{-1}$, metade da dose, isso foi com o objetivo de avaliar se as plantas de cobertura seriam capazes de suprir a demanda parcial de N pela cultura do milho. O resultado foi satisfatório, as mesmas superaram em ambos os anos experimentais a produção de MS em relação ao tratamento pousio. Esse ponto observado contempla benefícios, pois a quantidade de N aplicado em cobertura na cultura do milho pode ser reduzida, refletindo assim em melhorias para o meio ambiente e redução de custos ao agricultor. Beutler et al. (1997), avaliando o efeito de diferentes plantas de cobertura de inverno e de verão no suprimento parcial de N e no rendimento do milho, sob o sistema plantio direto, constataram que as leguminosas suprimiram em mais de 50% a necessidade de N pela cultura do milho (SILVA et al., 2014). Albuquerque et al. (2013), referente à adubação nitrogenada, ratificou que a aplicação de 80 kg ha^{-1} de N aumentou significativamente componentes de produção na cultura do milho.

Apesar de não ter sido realizada a comparação entre os anos, é possível observar que a produtividade de matéria seca do milho silagem para a safra 2019/2020 foi numericamente menor em relação à safra 2018/2019, uma diferença média de 2625 kg ha^{-1} (Tabela 12). É notório observar que a produtividade do milho silagem foi superior quando cultivado em sucessão as plantas de cobertura, tornando assim essa prática viável do ponto de vista conservacionista, potencializando o uso da área e refletindo em retorno financeiro ao agricultor.

4.4 CONCLUSÕES

O consórcio entre as plantas de cobertura aveia preta + nabo forrageiro apresentou-se como a opção mais favorável para o sistema sucessão com a cultura do milho silagem. A utilização de plantas de cobertura antecedendo a semeadura do milho é uma alternativa viável para se obter um alto rendimento de silagem.

As plantas de cobertura, exceto a ervilhaca peluda, foram capazes de manter a produtividade de matéria seca de silagem, mesmo recebendo metade da adubação nitrogenada em cobertura.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 721-726, 2013.
- ASSIS, R. L.; OLIVEIRA, C. A.; PERIN, A.; SIMON, G. A.; SOUZA JUNIOR, B. A. Produção de biomassa, acúmulo de nitrogênio por plantas de cobertura e efeito na produtividade do milho safrinha. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1769-1775, 2013.
- CAMPOS, S. A.; LANA, R. P.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, M. N.; TAVARES, V. B. Efeito do esterco de galinha poedeira na produção de milho e qualidade da silagem. **Revista Ceres**, v. 64 n. 3, p. 274-281, 2017.
- CARVALHO, A. M.; COELHO, M. C.; DANTAS, R. A.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, v.6 3, p. 1075-1081, 2012.
- CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; REIN, T. A.; DANTAS, R. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 551-561, 2015.
- CARVALHO, A. M.; SOUZA, L. L. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P. C. A. C.; VIVALDI, L. J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1200-1205, 2011.
- COUTO, C. A.; SILVA, É. M.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, M. T. P.; VASCONCELOS, J. C.; SILVA, A. R.; SOBREIRA, E. A.; MOURA, J. B. Desempenho de Cultivares de Milho Destinados para Produção de Milho Verde e Silagem. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 6, n. 1, p. 232-251, 2017.
- CRUZ, J. C.; MAGALHAES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; MOREIRA, J. A. A. Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Embrapa Informação Tecnológica, v. 1. p. 338, 2011.
- CRUZ, J. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; MOREIRA, J. A. A. Coleção 500 perguntas, 500 respostas sobre Milho. **Embrapa Informação Tecnológica**, p. 333, 2011.
- CRUZ, J. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; QUEIROZ, L. R. Milho Cultivares para 2013/2014. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2013.
- CRUZ, J. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SIMÃO, E. P. 478 cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para safra 2014/15 Documentos 167- Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2014.
- DOMINGUES, A. N.; ABREU, J. G.; CANEPPELE, C.; REIS, R. H. P.; BEHLING NETO, A.; ALMEIDA, C. M. Agronomic characteristics of corn hybrids for silage production in the State of Mato Grosso, Brazil. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 35, p. 7-12, 2013.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

D'OLIVEIRA, P. S. e OLIVEIRA, J. S. Produção de silagem de milho para suplementação do rebanho leiteiro. Juiz de fora, MG: Embrapa Gado de Leite. 2014. 10 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado técnico 74).

FERREIRA, J. P.; ANDREOTTI, M.; PASCOALOTO, I. M.; COSTA, N. R.; AUGUSTO, J. G. Qualidade da silagem de milho consorciado com gramíneas tropicais em diferentes espaçamentos. *Boletim de indústria Animal*, v. 74, n. 3, p. 237-245, 2017.

FERREIRA, T. A.; FERREIRA, S. C.; BARBOSA, J. A.; VOLPATO, C. E. S.; FERREIRA, R. C.; SILVA, M. J.; BARBOSA, L. M. Balanço energético da cultura do milho para silagem com irrigação. **Revista Ciência Rural**, v. 48, n. 5, 2018.

FERRO, N. D.; ZANIN, G.; BORIN, M. Rendimento da safra e uso de energia na agricultura orgânica e convencional: um estudo de caso no nordeste da Itália. **European Journal of Agronomy**, v. 86, p. 37-47, 2017.

FIGUEIREDO, R. R.; FREIRE, A. P. S. S.; FRANÇA, A. M. S.; FERREIRA, I. C.; GUIMARÃES, E. C. Composição química da silagem de milho com aditivos. **Revista Medicina veterinária e Zootecnia**, v. 12, n. 9, p. 1-6, 2018.

JORDAN, R. A. GOMES, E. P.; BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. A.; GEISENHOF, L. Impacto energético da irrigação por gotejamento no cultivo de mamona. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 375- 382, 2012.

JUNIOR, M. C.; JOBIM, C. C.; OSMARI, M. P.; TRES, T. T. Nutritional additives in high moisture corn silage. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 105-111, 2017.

MIRANDA, J. E. C.; RESENDE, H.; VALENTE, J. O. Plantio de milho para silagem. Juiz de fora, MG; Embrapa Gado de Leite. 2002. 8p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado técnico 27).

MORAES, R. L.; RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, O. G.; MARCONDES, M. I.; CARDOSO, L. L. Silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculantes microbianos e suas misturas. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 76-83, 2017.

MORAES, S. D.; JOBIM, C. C.; SILVA, M. S.; MARQUARDT, F. I. Produção e composição química de híbridos de sorgo e de milho para silagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, p. 624-634, 2013.

PACHECO, L. P. LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011.

PAULA, F. L. M.; MENEZES, L. F. G.; PARIS, W., RONSANI, R.; HOPPEN, S. M.; CIESCA, J. Silage production and the chemical composition of corn and Grass-tanzania intercropping. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, p. 1607-1616, 2016.

PEREIRA, E. S.; MIZUBUTI, I. Y.; PINHEIRO, S. M.; VILLARROEL, A. B. S.; CLEMENTINO, R. H. Avaliação da qualidade nutricional de silagens de milho (*Zea mays* L.). **Revista Caatinga**, v.20, p. 08-12. 2007.

PEREIRA, L. B.; KOMURO, L. K.; SANTOS, N. C. B.; SOUZA, L. C. D.; OLIVEIRA, A. E. Z. Aplicação de Adubo em Milho Verde Orgânico Irrigado. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Anais. p. 1488-1493, 2012.

PHILIPPI, E.; TERNUS, R. M.; CAVALCANTE, J. A.; FRAGA, A. M. Desempenho de herbicidas no controle de plantas daninhas em milho silagem. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 01-06, 2016.

SANTOS, G.; MORAES, J. M. M.; NUSSIO, L. G. Custo e análise de sensibilidade na produção de silagem. **Revista iPecege**, v. 3, p. 39- 48. 2017.

TALBOT, J. M.; TRESEDER, K. K. Interactions among lignin, cellulose, and nitrogen drive litter chemistry-decay relationship. **Ecology**, v. 93, p. 345-354, 2012.

TORRES, J. L. R.; CUNHA, M. A.; PEREIRA, M. G.; VIEIRA, M. D. S. Cultivo de feijão e milho em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 117-125, 2014.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O.F. de; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Ed.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília: Embrapa, v.1, p.59-168, 2014.