



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

AMARILDO ANTONIO TESSARO

**PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO:  
ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE  
UM LATOSSOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA NO  
SUDOESTE DO PARANÁ**

---

Londrina  
2021

AMARILDO ANTÔNIO TESSARO

**PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO:  
ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE  
UM LATOSSOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA NO  
SUDOESTE DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ralisch

Co Orientador: Dr. Ademir Calegari

Londrina  
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

A485tesesTessaro, Amarildo Antonio.

PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO: ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA NO SUDOESTE DO PARANÁ : Plantas de Cobertura de Inverno / Amarildo Antonio Tessaro. - Londrina, 2021. 112 f.

Orientador: Ricardo Ralisch.

Coorientador: Ademir Calegari.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021. Inclui bibliografia.

1. Plantas de cobertura de inverno - Tese. 2. Conservação do solo e água - Tese. 3. Atributos físicos, químicos e biológicos - Tese. I. Ralisch, Ricardo. II. Calegari, Ademir. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

AMARILDO ANTONIO TESSARO

**PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO:  
ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE  
UM LATOSSOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA NO  
SUDOESTE DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador - Prof. Dr. Ricardo Ralisch  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Co-Orientador - Prof. Dr. Ademir Calegari  
Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR

---

Prof. Dr. Cassio Egídeo Cavenaghi Prete  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior  
Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária -  
EMBRAPA

---

Dr. Henrique Debiasi  
Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária -  
EMBRAPA

Londrina, 17 de dezembro de 2019.

## DEDICATÓRIA

A Deus, por esta vida, por poder estar estudando e apreendendo.

A minha Família, pelo amor, ensinamentos e incentivo na busca do conhecimento.

A meu Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ralisch, Co Orientador: Dr. Ademir Calegari.

## AGRADECIMENTO

- A DEUS por sempre me proporcionar proteção e força todos os dias.
- A minha família: esposa Rosa Maria Buss Tessaro, as filhas Alessandra, Amanda e Andrea. A meus pais, Leonel Tessaro (*in memoriam*) e Olinda Minozzo Tessaro e também as minhas irmãs Mirta e Neliva Tessaro, por sempre me darem segurança, apoio e incentivo em todos os momentos da vida. Amo vocês.
- A Universidade Estadual de Londrina-UEL.
- A União de Ensino do Sudoeste do Paraná - UNISEP, por ter permitido e apoiado o doutorado, enquanto colaborador da instituição.
- Ao meu orientador Dr. Prof. Ricardo Ralisch, por toda a atenção, paciência e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.
- Ao Produtor Pedro Zanatta de São Jorge do Oeste - Paraná, por ter cedido a área e máquinas para o desenvolvimento do trabalho.
- Ao meu co orientador Dr. Ademir Calegari..
- A todos os colegas que colaboraram para o desenvolvimento do trabalho.

“Ninguém pode voltar atrás e fazer um novo começo. Mas qualquer um pode recomeçar e fazer um novo fim.”

Francisco Cândido Xavier

TESSARO, Amarildo Antonio. **Plantas de cobertura de inverno**: atributos físicos, químicos e microbiológicos de um latossolo e produtividade da soja no sudoeste do Paraná. 2021. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

## RESUMO

A conservação do solo pode ser entendida como uma combinação de métodos de manejo e de uso do solo, com a finalidade de protegê-lo contra as degradações induzidas por ações antropogênicas. Na maioria das práticas adotadas na região deste estudo procura-se evitar a erosão hídrica e a conseqüente deposição dos sedimentos nos corpos d'água. Já as técnicas conservacionistas vão além dessa preocupação, pois busca-se também proteger o solo de outros danos causados pela atividade agropecuária, como a compactação ou desagregação excessiva e ainda as alterações deletérias das características químicas, como a acidificação ou salinização, geralmente relacionadas ao manejo inadequado. Dentre as técnicas de conservação do solo indicadas, uma das mais abrangentes é a preservação ou recuperação das estruturas do solo. O que pode ser conseguido com a adoção de plantas de cobertura para períodos entre safra ou substituindo a safra secundária, como o uso de plantas de cobertura de inverno no sul do Brasil. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do uso de plantas de cobertura de inverno em cultivo singular e consorciado, sobre parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo nas camadas do solo de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m de profundidade, em uma área experimental no município de São Jorge do Oeste – Paraná. O experimento foi conduzido nos meses de maio a outubro de 2017 em um Latossolo Vermelho Eutroférico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial, com cinco repetições e parcelas com área de 150 m<sup>2</sup>. Os tratamentos utilizados foram Aveia Preta, Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco e Trigo mourisco. Foram avaliados, produção de massa verde e massa seca, os efeitos na densidade, macroporosidade e microporosidade do solo. Teores de Al, Ca, Mg, K, P, pH SMP, pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, COT, C-BMS, RBS, qCO<sub>2</sub> e qMic. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os resultados mostraram que o uso de plantas de cobertura de inverno proporcionou melhoria nos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do solo, sendo considerados semelhantes aos parâmetros verificados no solo da área de mata nativa. O tratamento que utiliza o consórcio, apresentou melhores resultados em relação aos parâmetros relacionados as características físicas, químicas e biológicas do solo. Dessa forma pode-se concluir que o uso consorciado de plantas de inverno pode promover melhorias no manejo e conservação do solo e da água dos solos com as características estudadas.

**Palavras-chave:** Plantas de cobertura de inverno. Conservação do solo e água. Atributos físicos, químicos e biológicos.

TESSARO, Amarildo Antonio. **Winter cover crops:** physical, chemical and microbiological attributes of an oxisol and soybean yield in southwestern Paraná. 2021. 113 p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

## ABSTRACT

Soil conservation can be understood as a combination of methods for the management and use of the soil, which seek to protect it against degradation induced by anthropogenic or natural action. Most practices involve the prevention of erosion and deposition of sediments in water bodies, but conservationist techniques go beyond this concern. They also seek to protect the soil from the damage caused by agricultural activity, such as compaction or excessive disaggregation, or from deleterious changes in the chemical characteristics, such as acidification and salinization, usually related to inadequate management. The techniques used for the conservation of soil structures include the use of cover crops for fallow periods and periods between crops, with the use of winter cover crops being an important practice in southern Brazil. As such, the objective of this work was to evaluate the effect of using winter cover crops in single and intercropping cultivation regarding the physical, chemical and biological parameters of the soil layers at depths of 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m in an experimental area in the municipality of São Jorge do Oeste - Paraná. The experiment was conducted during the months of May to October 2017 in an Eutroferric Red Latossol. The experimental design was in randomized blocks, in a factorial scheme, with five replications and plots with an area of 150 m<sup>2</sup>. The treatments used were Black Oats, Black Oats + Wild Radish + Vetch + Rye and White Lupin. The effects on the production of green and dry mass, density, macroporosity and microporosity of the soil were evaluated. Levels of Al, Ca, Mg, K, P, SMP pH, pH H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub> pH, TOC, C-BMS, RBS, qCO<sub>2</sub> and qMic. The data were subjected to analysis of variance and the means were compared by the Tukey test at 5% probability. The results revealed that the use of winter cover crops provided an improvement in the physical, chemical and microbiological parameters of the soil, which were regarded as similar to those parameters observed in the soil of the area with native forest. The treatment using the intercropping method had the best results regarding the physical, chemical and biological parameters of the soil. It can therefore be concluded that the use of intercropped winter plants can promote improvements in the management and conservation of soil and water in soils with the characteristics under study.

**Keywords:** Winter cover crops, soil and water conservation, physical, chemical and biological characteristics.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1</b>	Valores médios de pH em CaCl <sub>2</sub> em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	57
<b>Tabela 4.2</b>	Valores médios de potássio (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	57
<b>Tabela 4.3</b>	Valores médios de cálcio (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	58
<b>Tabela 4.4</b>	Valores médios de magnésio (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	58
<b>Tabela 4.5</b>	Valores médios de alumínio (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	59
<b>Tabela 4.6</b>	Valores médios de fósforo (mg.dm <sup>-3</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	59
<b>Tabela 4.7</b>	Valores médios de Carbono Orgânico Total – COT (g kg <sup>-1</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	60
<b>Tabela 4.8</b>	Valores médios de densidade (Ds) (g.cm <sup>-3</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	60
<b>Tabela 4.9</b>	Valores médios da microporosidade (Mip) (%) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	61
<b>Tabela 4.10</b>	Valores médios da macroporosidade (Map) (%) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	61
<b>Tabela 4.11</b>	Valores médios referentes à produtividade da soja na área em estudo, sob diferentes tratamentos – período de 2016 a 2019 – valores em kg/ha.....	62
<b>Tabela 5.1</b>	Valores médios da CBM (Carbono da biomassa microbiana - mg C·CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	80
<b>Tabela 5.2</b>	Valores médios da RBS (Respiração Basal do Solo - mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	80
<b>Tabela 5.3</b>	Valores médios da QMET (Quociente Metabólico - mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	81
<b>Tabela 5.4</b>	Valores médios da QMIC (Quociente Microbiano mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.....	81

<b>Tabela 5.5</b>	<b>Tabela 5.5</b> - Valores médios referentes à produtividade da soja na área em estudo, sob diferentes tratamentos – período de 2016 e 2019 – valores em kg/ha.....	82
<b>Tabela 6.1</b>	Caracterização química do solo na camada de 0,00-0,20 M.....	95
<b>Tabela 6.2</b>	Plantas de coberturas de inverno utilizadas e densidade de semeadura.....	95
<b>Tabela 6.3</b>	Produção de massa verde na parte aérea de diferentes plantas de cobertura de inverno no Sudoeste do Paraná. Dados relativos a média de cinco repetições.....	97
<b>Tabela 6.4</b>	Produção de massa seca na parte aérea de diferentes plantas de cobertura de inverno no sudoeste do Paraná. Dados relativos a cinco repetições.....	98
<b>Tabela 6.5</b>	Dados referente à produtividade da soja nos anos de 2016 e 2017.....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>Al</b>	Alumínio
<b>ANOVA</b>	Análise de variância
<b>ASSISTAT</b>	Software Assistência Estatística
<b>BMS</b>	Biomassa microbiana
<b>C</b>	Carbono
<b>Ca</b>	Cálcio
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	Cloreto de cálcio
<b>CBM</b>	Carbono da biomassa microbiana
<b>Cf</b>	Carbono fumigado
<b>Cnf</b>	Carbono não fumigado
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>COT</b>	Carbono orgânico total
<b>CTC</b>	Capacidade de troca de cátions
<b>Cu</b>	Cobre
<b>D</b>	Densidade
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>H</b>	Hidrogênio
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Água
<b>HCl</b>	Ácido clorídrico
<b>IAPAR</b>	Instituto Agrônômico do Paraná
<b>K</b>	Potássio
<b>Kc</b>	Fator de correção
<b>Ma</b>	Macroporosidade
<b>Mg</b>	Magnésio
<b>Mi</b>	Microporosidade
<b>MO</b>	Matéria orgânica
<b>Mol</b>	Molaridade
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	Carbonato de sódio
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sódio
<b>P</b>	Fósforo
<b>Pas</b>	Peso da amostra seca

<b>Pass</b>	Peso da amostra após ser submetida a saturação
<b>Pat</b>	Peso da amostra após ser submetida a tensão de 60 centrimetros de coluna de água
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeniônico
<b>PR</b>	Paraná
<b>Pss</b>	Massa de solo seco
<b>Pt</b>	Porosidade total
<b>qCO<sub>2</sub></b>	Quociente metabólico
<b>qMic</b>	Quociente microbiano
<b>RBS</b>	Respiração basal do solo
<b>S</b>	Enxofre
<b>SB</b>	Soma de bases
<b>SPD</b>	Sistema de Plantio Direto
<b>T</b>	Tempo de incubação da amostra em horas
<b>UEL</b>	Universidade Estadual de Londrina
<b>V</b>	Saturação por bases
<b>Va</b>	Volume gasto na titulação da amostra
<b>Vb</b>	Volume gasto na titulação
<b>Vc</b>	Volume do cilindro
<b>Zn</b>	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Geral.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Indicadores de qualidade do solo.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Práticas conservacionistas.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Uso de plantas de cobertura.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>Plantas de cobertura de inverno.....</b>	<b>22</b>
3.4.1	Aveia preta ( <i>Avena strigosa</i> L.).....	22
3.4.2	Centeio ( <i>Secale cereale</i> L.).....	23
3.4.3	Tremoço branco ( <i>Lupinus albus</i> L.).....	24
3.4.4	Ervilhaca comum ( <i>Vicia sativa</i> L.).....	25
3.4.5	Nabo forrageiro ( <i>Raphanus sativus</i> L.).....	26
<b>3.5</b>	<b>Características físicas do solo.....</b>	<b>27</b>
<b>3.6</b>	<b>Características químicas dos solos.....</b>	<b>28</b>
<b>3.7</b>	<b>Características biológicas do solo.....</b>	<b>30</b>
<b>3.8</b>	<b>Carbono orgânico no solo.....</b>	<b>32</b>
<b>3.9</b>	<b>Plantas de cobertura e as características do solo.....</b>	<b>33</b>
<b>3.10</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>ARTIGO 1.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>4.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>55</b>
4.3.1	Características químicas.....	55
4.3.2	Características físicas.....	65
4.3.3	Produtividade da soja.....	67
<b>4.4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>4.5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>ARTIGO 2.....</b>	<b>73</b>
<b>5.1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>75</b>
<b>5.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>76</b>
<b>5.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>78</b>

5.6	CONCLUSÕES.....	86
5.7	REFERÊNCIAS.....	87
6	ARTIGO 3.....	91
6.1	INTRODUÇÃO.....	93
6.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	94
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	97
6.4	CONCLUSÃO.....	101
6.5	REFERÊNCIAS.....	101
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
	ANEXOS.....	107

## 1 INTRODUÇÃO

As práticas de manejo e conservação do solo e da água são de grande importância para a proteção dos recursos naturais fundamentais, como solo, água, biodiversidade e atmosfera e a continuidade da produção agrícola, já que preserva sua fertilidade.

Quando o tema fertilidade do solo é tratado, geralmente, usa-se como referência os parâmetros químicos, suas características e a capacidade em fornecer nutrientes em quantidade e proporções adequadas às plantas cultivadas de interesse econômico. Entretanto, isto é equivocado, pois a fertilidade do solo é composta por suas características químicas, físicas, biológicas (CALEGARI, 2004) e a combinação dinâmica entre elas.

As características físicas são importantes, que interagem diretamente com as demais propriedades químicas e biológicas do solo e podem limitar o uso agrícola de determinadas áreas. Essas características formam a estrutura do solo que é formada por arranjos dos seus constituintes minerais e orgânicos, sendo responsável pela formação de agregados, que por sua vez influenciam a porosidade do solo. Nos poros encontram-se a água e o ar que serão utilizados para o crescimento e desenvolvimento das plantas, que é uma consequência do desenvolvimento do seu sistema radicular. É um fator fundamental no seu funcionamento e em sua capacidade e habilidade de suportar a vida vegetal e animal (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007; REINERT et al., 2008). O desenvolvimento dos sistemas radiculares favorece a atividade biológica do solo e sua reestruturação.

A compactação do solo também é um processo importante e preocupante para o setor agropecuário, capaz de reduzir e até impedir a produção agrícola. Geralmente, o diagnóstico da compactação é fornecido a partir da comparação dos dados obtidos em campo com os valores citados existentes na literatura, que revelam valores ditos limitantes ao desenvolvimento das raízes ou das plantas (RALISCH; TAVARES FILHO; ALMEIDA, 2001).

A prática de uso de plantas de cobertura no Brasil, como forma de conservação do solo e da água vem sendo utilizada com excelentes resultados, sob as mais diversas condições de produção (MOTTER et al. 2015).

Apesar de existirem dados de pesquisa obtidos nas instituições do país indicando o efeito favorável na produção agrícola e na conservação do solo e da água, a prática do plantio de plantas de cobertura ainda precisa ser estudada de acordo com a realidade local de cada região geográfica (VERONESE et al. 2012).

O interesse na intensificação da agropecuária exerce uma forte pressão sobre o solo e sua estrutura, capaz de comprometer a produtividade dos cultivos agrícolas (ALVES; SOUZA; GOMES, 2013).

Deste modo, a avaliação do uso da tecnologia de plantas de cobertura de inverno proporcionará a compreensão do seu uso como possibilidade de melhorar o equilíbrio físico, químico e biológico do solo, alcançando resultados positivos no manejo e conservação do solo e da água, fato este que reforçará a orientação para o cultivo de plantas de cobertura adequadas a região.

O uso de plantas de cobertura no sistema de produção agrícola é uma técnica que visa contribuir para melhoria do manejo e conservação do solo e da água, promovendo maior equilíbrio nas relações solo-água-planta. Com a não incorporação no solo da massa vegetal produzida, ocorre a sua decomposição natural e favorece a reciclagem de nutrientes, com a disponibilização para a cultura subsequente. Benefícios das plantas de cobertura, também consistem em melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas, além de estimular a atividade microbiana do solo (MENEZES et al. 2009).

O uso de plantas de cobertura também promove a diminuição do ciclo vegetativo de várias espécies invasoras prejudiciais economicamente à atividade agrícola. Sendo assim, obtém-se menor infestação de plantas daninhas na cultura subsequente (CALEGARI, 2004).

A melhora na estruturação do solo através da diminuição da compactação do solo, melhora na infiltração e retenção da água no perfil do solo e o controle a erosão, que são fatores importantes para a sustentabilidade da atividade agrícola. Fatores esses que também são proporcionados através do uso de plantas de cobertura (KAUANO; PASSOS, 2008).

A fotossíntese vegetal e os resíduos das culturas vegetais também são fontes potenciais de acúmulo de Carbono (C) orgânico do solo, provindos via ingresso do C derivado de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera. Desta forma o uso de plantas de cobertura para o manejo e conservação do solo é uma importante

tecnologia para o acúmulo de carbono no solo (RODRIGUES et al. 2012) e preservação da atmosfera.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do uso de plantas de coberturas de inverno sobre atributos físico-químicos e microbiológicos de um solo do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico localizado no Município de São Jorge do Oeste, Sudoeste do estado do Paraná.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

- Avaliar o efeito do uso de plantas de coberturas de inverno sobre atributos físicoquímicos e microbiológicos de um solo do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico e a produtividade da soja em uma propriedade, localizada no Município de São Jorge do Oeste, Sudoeste do estado do Paraná.

### **2.2 Específicos**

- Avaliar os efeitos dos cultivos de plantas de cobertura de inverno sobre as características físicas do solo em relação a densidade, macroporosidade e microporosidade do solo;
- Analisar os efeitos dos cultivos de plantas de cobertura de inverno sobre os parâmetros químicos do solo;
- Avaliar o efeito do cultivo de plantas de cobertura de inverno sobre a biomassa de matéria verde e a produtividade da soja cultivada nas áreas em estudo;
- Avaliar o efeito do cultivo de plantas de cobertura de inverno sobre o carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico e quociente microbiano do solo.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Indicadores de qualidade do solo

Do ponto de vista das atividades agrícolas, os indicadores físicos, químicos e microbiológicos assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos do solo e seus constituintes.

De acordo com Lourente, (2011) Como indicadores físicos destacam-se a taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão, que possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo. Outros parâmetros físicos de qualidade de solo sob o ponto de vista agrícola, estão a textura, estrutura, resistência à penetração, profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível, percolação ou transmissão da água e sistema de cultivo.

Como indicadores químicos que apresentam relevância nos estudos, tanto agronômicos quanto ambientais, normalmente agrupados em quatro classes: a) aqueles que indicam os processos do solo ou de comportamento. Ex: pH, Carbono Orgânico; b) aqueles que indicam a capacidade do solo de resistir à troca de cátions. Ex: Tipo de argila (1:1 ou 2:1), CTC, CTA, Óxidos de Ferro; Óxidos de Alumínio; c) aqueles que indicam as necessidades nutricionais das plantas. Ex: N, P, K, Ca, Mg e elementos traços (micronutrientes); d) aqueles que indicam contaminação ou poluição. Ex: Metais pesados, nitrato, fosfato, agrotóxicos (PAPA et al. 2011; CHAVES et al. 2012; BARBIERI et al., 2019).

Na agricultura, a necessidade de dispor de bioindicadores sensíveis a mudanças provocadas pelo manejo do solo possibilitou que índices biológicos surgissem como um mecanismo de avaliação que pudesse responder a tais questões, daí a busca por um indicador que espelhe a robustez da vida do solo e reflita o seu grau de perturbação (DE-POLLI; GUERRA, 1996; FREITAS et al., 2012; BALBOA et al., 2018). Dentre alguns dos indicadores mais utilizados atualmente, destacam-se: biomassa microbiana do solo, respiração basal do solo e quociente metabólico.

Em sistemas produtivos, a avaliação da qualidade do solo por meio do monitoramento de seus indicadores físicos, químicos e biológicos é fundamental

para a sustentabilidade produtiva dos ambientes. Estes indicadores fornecem subsídios para a escolha de práticas de manejo que permitam observar a conservação dos ecossistemas (DORAN; PARKIN, 1994; GOMES et al. 2015).

Para o monitoramento da qualidade dos solos se faz necessário avaliar a sua capacidade e estado atual, comparando-os com o solo em estado natural, pois representam condições ecológicas de equilíbrio ambiental, ainda com parâmetros ideais, que estejam ligados à conservação e valores ótimos da produção e que devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação (CHAVES et al. 2012).

No monitoramento da qualidade do solo, diversos parâmetros químicos, físicos e biológicos têm sido considerados como indicadores. A escolha do método e dos parâmetros depende dos objetivos, recursos disponíveis e condições do contexto local e da pesquisa além das características do solo analisado.

### **3.2 Práticas conservacionistas**

No Brasil, a partir do início da década de 70 percebeu-se a importância de manejar adequadamente o solo, evitando expô-lo aos efeitos das chuvas intensas do clima tropical e subtropical (SOBRAL FILHO et al. 1982).

Com o passar dos anos, como forma de viabilizar a agricultura brasileira e proporcionar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas, surgiram diversos estudos sobre práticas conservacionistas de manejo e conservação do solo e da água (VIEIRA, 1994; LLANILLO et al., 2013; CODAF, 2016; CHAVARRÍA et al., 2017).

As práticas conservacionistas são procedimentos que visam, direta ou indiretamente, evitar, eliminar e ou diminuir o desgaste do perfil do solo, principalmente de suas camadas superficiais, mantendo ou melhorando o potencial produtivo (AMADO; COGO; LEVIEN, 1989). Essas práticas atenuam os efeitos negativos do uso do manejo do solo e da água no meio agrícola e são classificadas em edáficas, vegetativas e mecânicas, sendo que todas as práticas devem ser consideradas importantes e necessárias (COSTA NETO et al., 2015; ALMEIDA et al., 2018).

A prática edáfica, diz respeito ao nível de fertilidade do solo através do ajustamento à capacidade de uso, adubações e correções, matéria orgânica e rotação de cultura (SILVA; MIELNICZUK, 1997; DADALTO et al., 2015).

As práticas mecânicas têm por finalidade evitar, diminuir ou controlar os efeitos provocados pela erosão hídrica, tendo como objetivo principal reduzir o escoamento superficial da água advinda de precipitações pluviométricas, propiciando sua infiltração ou escoamento seguro da água (STOCKING, 1985; GONÇALVEZ, 2014).

A prática vegetativa tem como princípio básico promover o máximo de cobertura vegetal, morta e viva, sobre a superfície do solo. Esta técnica também auxilia na redução do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, na diminuição da desagregação do solo além de reduzir a velocidade de escoamento da água e melhorar a sua infiltração no solo (MINELLA et al. 2007). Nesta prática, tem sido comum a utilização de plantas de coberturas, de inverno e de verão, como forma de promover a manutenção, acúmulo de palhada na superfície do solo, o acúmulo de carbono no solo e a melhoria na infiltração da água no solo (FREITAS et al. 2012; ALVAREZ et al., 2017).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008), a utilização da vegetação como forma de conservação do solo e da água é importante, porém devem-se respeitar as exigências das plantas a serem administradas no local, de modo que o tipo de clima, solo e características do terreno são alguns dos fatores a serem respeitados na escolha de qualquer espécie.

### **3.3 Uso de plantas de cobertura**

A utilização de plantas para adubação verde tem seu uso descrito como sendo uma prática milenar, por ter sido utilizada há mais de 3.000 anos por chineses, gregos e romanos onde desempenharam papel importante para a agricultura àquela época. Escritores romanos aconselhavam o plantio de tremoço e outras leguminosas, pela contribuição na melhoria do solo e aumento na produtividade dos cultivos seguintes (MIYASAKA, 1984; MOTTER et al. 2015).

Já o conceito de plantas de cobertura é mais atual, sendo difundido a partir da introdução e consolidação do Sistema Plantio Direto (SPD), tendo como finalidade a manutenção dos resíduos das espécies em superfície do solo, atuando

na proteção e melhoria das características da conservação e manejo do solo e da água (CARVALHO; AMABILE, 2006; DONEDA, 2010; GIAGNONI et al., 2019).

Dentre os principais objetivos almejados com a utilização de plantas de cobertura durante determinado período do ano, destacam-se a formação de cobertura vegetal para proteção do solo, a manutenção da umidade e diminuição das oscilações de temperatura em superfície; facilitar a infiltração de água; melhorar a estruturação do solo (agregação e aeração); promover a reciclagem de nutrientes e adição de nitrogênio pelo uso de leguminosas; possibilitar a competição/supressão das plantas daninhas, além de promover ao longo dos anos o aumento dos teores de matéria orgânica, proporcionando melhorias das características físicas, químicas e biológicas do solo (CALEGARI, 2004; CARVALHO, 2006; BALBINOT et al., 2014).

Na região Sul do Brasil, o uso de plantas de cobertura de inverno é facilitado, devido às condições edafoclimáticas e aos sistemas de cultivos utilizados. Isso devido ao fato de que, durante o período de inverno existem menores extensões de áreas ocupadas com culturas de interesse econômico, enquanto no verão a maior parte delas é destinada para cultivos de soja, milho, feijão, entre outras, diminuindo a possibilidade de ocupação com plantas de cobertura de verão (CALEGARI, 2004; BARROS et al, 2013; GUIMARÃES et al., 2017).

Wutke (2014) destaca que práticas de manejo com uso de associações de espécies vegetais proporcionam o aumento da quantidade e qualidade dos resíduos, incremento de matéria orgânica, além de beneficiar a agregação do solo.

Segundo Tavares Filho et al. (2001), o uso de plantas de cobertura como forma de auxílio no manejo e conservação do solo e da água, apresentam grande importância na região Sul do Brasil, sendo esta uma prática conservacionista eficaz e comumente utilizada no período de inverno.

O uso de plantas de cobertura em rotação, sucessão ou consorciadas a cultivos tem a finalidade de proteção e melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, tanto na superfície como a profundidades significativas, através dos efeitos das suas raízes (GIACOMINI; AITA; RHEINHEIMER, 2000; HEINRICHS et al. 2001; LIMA et al., 2019).

No procedimento do cultivo de plantas de cobertura é de fundamental importância conhecer profundidade todos os detalhes referentes à espécie e também ao local de condições edafoclimáticas específicas, e sistemas de produção

em curso onde será implantado o cultivo de cobertura, bem como às finalidades (CALEGARI; PEÑALVA, 1994; BASCHE et al., 2014).

Os efeitos dessas plantas têm demonstrado grande potencial na proteção e recuperação da produtividade do solo. Apesar disso, um constante desafio é estabelecer esquemas de uso compatível, das diferentes espécies com os sistemas de produção específicos de cada região, e se possível nos limites de cada propriedade, levando em consideração os aspectos ligados ao clima, solo, infraestrutura da propriedade e condições socioeconômicas do agricultor (AITA; GIACOMINI, 2003; BORGES et al., 2014).

As plantas de cobertura podem ser plantadas em cultivo singular ou em associações. Como exemplo, tem-se o consórcio de gramíneas e leguminosas, que além de apresentarem um importante efeito melhorador das características físicas do solo de agregação e estruturação, promoverem ao longo dos anos um maior equilíbrio e acúmulo de carbono no perfil do solo.

O uso das plantas de cobertura, deverá sistematicamente fazer parte de um elenco de práticas que conjuntamente, contemplem o manejo adequado do solo e da água. (AMADO, 1997). Existem muitas plantas de cobertura para as diferentes regiões edafoclimáticas do Brasil.

Para fins de classificação, estas plantas são agrupadas em estações do ano que são mais utilizadas e a necessidade específica dos efeitos almejados. As plantas de cobertura de primavera/verão são semeadas no período de outubro a janeiro, já as plantas de outono/inverno geralmente são semeadas na entressafra das principais culturas comerciais (ROSSI; VALLE; VALLE, 2002; BRITO et al., 2017).

As plantas de cobertura de verão possuem como vantagem a grande produção de massa verde, elevada quantidade de nitrogênio fixado biologicamente e a cobertura do solo durante os períodos de chuvas de alta intensidade, sendo o maior inconveniente, a ocupação do solo durante o período no qual são cultivadas as principais culturas comerciais de verão (TAVARES et al., 2008). Já as plantas de cobertura de inverno protegem os solos no período de entressafra agrícola, diminuem a infestação de plantas daninhas e reduzem a lixiviação de nutrientes no perfil do solo (CALEGARI, 2002; CARVALHO et al., 2015).

### 3.4 Plantas de cobertura de inverno

As plantas de cobertura de inverno são espécies vegetais que possuem características que as permitem desenvolverem-se plenamente em regiões com temperaturas baixas. Destaca-as entre as principais plantas de cobertura de inverno utilizadas na região Sul do Brasil o cultivo da Aveia Preta, Nabo Forrageiro Ervilhaca, Centeio, Tremoço Branco e o Trigo (CALEGARI, 2004; CHERUBIN et al., 2014; MARTÍNEZ-GARCÍA et al., 2018).

#### 3.4.1 Aveia preta (*Avena strigosa* L.)

As aveias pertencem à família das Poaceae, (Gramíneas) tendo como centros de origem a Ásia e a Europa. Espécie cultivada no inverno e muito difundida na região Sul do Brasil (BURLE et al., 2006).

É uma planta cespitosa (perfilhamento), com colmos cilíndricos, eretos e poucos pilosos, raiz fasciculada (CALEGARI et al., 1993) que apresenta ciclo anual e desenvolvimento uniforme (KICHEL; MIRANDA, 2000).

Apresenta inflorescência em panícula com glumas aristadas (CALEGARI et al., 1993). O ciclo até o florescimento varia de 70 a 130 dias (PIRAÍ SEMENTES, 2012).

A aveia preta se adapta bem em diferentes regiões de clima temperado a subtropical. Temperaturas em torno de 20-25 °C favorecem o seu desenvolvimento (SEMEATA, 2012). Recomenda-se para regiões com clima subtropical úmido, realizar a semeadura no período de abril a maio (ALMEIDA et al. 2000).

A semeadura de aveia preta pode ser feita a lanço ou em linhas. Quando semeada em linhas, o espaçamento recomendado é de 17 a 20 cm e densidade de semeadura de 40-60 kg.ha<sup>-1</sup> quando o poder germinativo for acima de 80%. Para semeadura a lanço, com incorporação, é necessário aumentar a densidade em 20 a 50%. A profundidade de semeadura fica em torno de 3 a 6 cm. O peso de mil sementes é de 14 a 15 g (DERPSCH; SIDIRAS; HEINZNANN, 1985).

A aveia preta, cultivada para cobertura de solo, deve ter o manejo da fitomassa realizado na fase de grão leitoso, que ocorre por volta de 120 a 140 dias após a semeadura, dependendo do material utilizado. Antes desta fase, pode haver

grande rebrotação e depois dela, os grãos podem se tornar viáveis para germinação (PITOL, 1986; COSTA, 1992).

De forma geral, são cultivadas para produção de grãos, para alimentação humana e animal, como forrageira para pastagem, silagem e feno, e também muito comum seu uso como planta de cobertura.

Considerando como planta melhoradora de solos, tem característica de auxiliar na redução da população de patógenos e nematoides (COSTA et al. 1992) influenciar no controle de plantas daninhas (COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 2003) e ser recicladora de nutrientes (BORKET et al. 2003).

#### 3.4.2 Centeio (*Secale cereale* L.)

O Centeio pertence à família das Poaceae, (gramíneas). Em relação às outras espécies de cereais de inverno, difere-se por apresentar maior desuniformidade quanto ao espigamento, maturação e tipo de planta (NASCIMENTO JUNIOR et al. 2006).

Tem como centro de origem a Ásia Central (MONEGAT, 1991), como dois focos ambos no sul da antiga Rússia. Possui hábito de crescimento cespitoso (perfilhamento) e ereto, com sistema radicular fasciculado.

A inflorescência do centeio caracteriza-se por ter espiga longa e flexível, duas flores férteis e dois grãos por espiguetas (NASCIMENTO JUNIOR et al. 2006).

A cultura de centeio possui ampla adaptação e pode ser cultivada em uma vasta diversidade de condições ambientais, quando comparado a outros cereais de inverno (NASCIMENTO JUNIOR et al. 2006). Sob condição de temperatura baixa, próximo à zero, ou em caso de ocorrência de geada, o centeio possui maior potencial de rendimento de massa verde que o trigo ou aveia (BRUCKNER; HANNA, 1990).

Uma característica do centeio que enfatiza a eficiência da cultura para cobertura é a adaptação a condições frias e secas. Em regiões elevadas e frias, ou em anos com invernos frios ou secos, o centeio se destaca de outros materiais pela maior produção de massa e pela precocidade (NASCIMENTO JUNIOR et al. 2006).

A época de semeadura para formação de pastagens e para cobertura do solo no Sul do Brasil é a partir de março. Com profundidade de semeadura de 2 a 4 cm, pode ser semeado em linhas ou a lanço, quando feito em linhas o espaçamento

de 17 a 20 cm, com densidade de 300 a 350 sementes viáveis por metro linear (NASCIMENTO JUNIOR et al. 2006).

A utilização deste cereal ocorre para alimentação humana ou animal, através do beneficiamento de grãos e tem elevado potencial como planta forrageira e para cobertura de solo (NASCIMENTO JUNIOR et al. 2006).

Segundo Pester (1998), a biomassa do centeio em decomposição apresenta potencial de reduzir o crescimento de plantas daninhas e das culturas sucessoras pela liberação de substâncias química alelopáticas. Estudos desenvolvidos por Raimbault, Vyn e Tollenaar (1991), revelaram que para o cultivo de milho em sucessão ao centeio, quando este foi utilizado para silagem, o intervalo ideal para semeadura é de no mínimo duas semanas, para que assim os efeitos alelopáticos sejam parcialmente neutralizados. Estes mesmos autores evidenciaram que a cobertura do solo com centeio melhorou a estrutura do solo.

### 3.4.3 Tremoço branco (*Lupinus albus* L.)

Pertencente à família das Fabaceae (leguminosas), o tremoço é uma planta anual de inverno, cultivada principalmente na região Sul do País. Existem três espécies cultivadas nesta região: *Lupinus albus* L. (tremoço-branco) *Lupinus angustifolius* L. (tremoço-azul) e *Lupinus luteus* L. (tremoço-amarelo) (BURLE et al. 2006).

O tremoço-branco é originário da região do Mar Mediterrâneo e o início de seu cultivo foi a mais de 2.000 anos pelos gregos e romanos (COSTA et al. 1992).

São plantas herbáceas, porte ereto e sistema radicular profundo, podendo atingir com sua raiz pivotante até 2 m de profundidade e realizar importantes efeitos nas características físicas, químicas e biológicas do solo (COSTA et al. 1992). Possui um ciclo até o florescimento entre 120 e 150 dias (PIRAÍ SEMENTES, 2012).

Em estudos de Pereira, Burle e Resck (1992), conduzindo ensaios com tremoços na região do Cerrado do Distrito Federal, os autores observaram que o tremoço-branco se destacou na produção de matéria seca, ficando entre 3,6 e 12,9 T.ha<sup>-1</sup>, em latossolo vermelho e solo orgânico, respectivamente.

A semeadura do tremoço pode ser feita a lanço, em linhas ou até mesmo com matracas. A profundidade de semeadura deve ficar em torno de 3 a 5 cm (CALEGARI et al., 1993). Segundo Pereira e Silva (1985) para a semeadura em

linhas o espaçamento adequado é de 60 cm entre linhas, com 20 sementes viáveis por metro linear, com taxa de semeadura em torno de 14 Kg.ha<sup>-1</sup>.

Das diversas espécies de tremoço existentes, a mais utilizada para adubação verde é o tremoço-branco, que tem mais adaptação às regiões quentes, sendo pouco exigente em foto período e frio, adapta-se muito bem em regiões com temperaturas entre 15 °C a 25 °C (WUTKE, 1993). Devido a isso sua época de semeadura situa-se de março a maio (GALPÃO CENTRO OESTE, 2012).

A época adequada para o manejo da fitomassa desta espécie é por volta dos 120 a 140 dias. Nesse período a altura de planta fica em torno de 0,8 a 1,5 m e o ciclo se completa por volta de 180 dias após a semeadura (COSTA et al., 1992). A massa de mil sementes é por volta de 300 gramas (PIRAI SEMENTES, 2012).

De forma geral, o tremoço apresenta boa capacidade de fixar nitrogênio e reciclar nutrientes, promovendo efeitos positivos e significativos em culturas subsequentes principalmente milho e feijão (DERPSCH; SIDIRAS; HEINZNANN, 1985).

#### 3.4.4 Ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.)

A Ervilhaca é uma Fabaceae (leguminosas), anual de inverno, herbácea que possui caule fino, flexível, decumbente e trepador, que atinge até 0,9 m de crescimento (CALEGARI et al. 1993). Tem uma produtividade entre 20 a 30 toneladas de massa verde e 4 a 6 toneladas de massa seca por ciclo. Possui ciclo longo, florescendo entre os 140 e 160 dias após a semeadura (FORMENTINI et al. 2008).

As flores são geralmente pareadas nas axilas das folhas, em forma de racemo, com número variável, cor violeta-purpúrea ou, raramente, brancas (FORMENTINI et al. 2008). A ervilhaca comum é originária da região do Mar Mediterrâneo (MONEGAT, 1991). Para o plantio da ervilhaca com finalidade de produção de sementes e/ou cobertura do solo, recomenda-se a densidade de semeadura de 30 a 80 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A semeadura poderá ser realizada de abril a maio sendo efetuada a lanço ou em linhas normalmente espaçadas 0,20 m com uma densidade de semeadura a ser usada variando de 40 a 60 kg.ha<sup>-1</sup>. Quando consorciada, podem ser usados 40 kg.ha<sup>-1</sup> de semente (FORMENTINI et al. 2008). O manejo da massa é realizado

quando a cultura atinge seu pleno florescimento, isto aos 140, 160 dias após a semeadura destas. O peso de mil sementes pode variar entre 30 a 57 gramas.

Esta leguminosa possui bom potencial de crescimento e eficiência na cobertura de solo, sendo assim considerada como melhoradora dos solos agrícolas. A ervilhaca comum apresenta bom desenvolvimento em solos já corrigidos e sem problemas de acidez. Seu cultivo é recomendado em rotação de culturas, principalmente antecedendo o milho, devido ao potencial de aporte de nitrogênio (N) ao solo (80 a 100 kg.ha<sup>-1</sup> de N), mas também pode ser antecessora a cultivos de soja, arroz, sorgo, etc. (CALEGARI, 2004).

Segundo estimativas, Bolliger et al. (2006) indicam que a acumulação é de 46 kg de nitrogênio por tonelada de massa seca da parte aérea de ervilhaca comum, apresentando assim uma contribuição média de 120 kg.ha<sup>-1</sup> de N por essa leguminosa. Devido à característica da baixa relação C/N das leguminosas, a taxa de decomposição e liberação de N dos resíduos é bastante rápida, comparada a outras espécies de cobertura do solo, tais como as gramíneas. Através da rápida decomposição, nos primeiros 30 dias após o manejo ocorrem à liberação de 60% do N presente na fitomassa da ervilhaca (AMADO, 1997).

### 3.5.5 Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.)

O nabo forrageiro é originário do Sul da Europa (RURAL SEMENTES, 2012) e pertence à família das crucíferas (Crucíferaceae). É uma planta anual herbácea, ereta, muito ramificada, sua altura fica em torno de 1,0 a 1,8 m, o sistema radicular é pivotante e profundo, com raiz tuberosa em alguns casos (BURLE et al., 2006).

As flores ocorrem nos terminais do caule de coloração branca, às vezes roxas ou brancas com matrizes roxos ou lilases. Seu florescimento ocorre aos 80 dias após a semeadura, atingindo sua plenitude aos 120 dias (RURAL SEMENTES, 2012). Possui um longo período de floração (mais de 30 dias) (BELIVAQUA et al., 2008).

Segundo Derpsch, Sidiras e Heinzmann (1985), a produção de matéria seca desta espécie encontrada em cultivos na região Sul do País apresenta em média 4,7 T.ha<sup>-1</sup>. Para Calegari (2008), a massa seca da parte aérea quando manejada em estágio de floração, fica em torno de 2 a 6 T.ha<sup>-1</sup>, mesmo em área que não recebem adubação externa.

Sendo uma cultura de inverno, a maior produção de massa tem sido verificada quando se realiza o plantio entre abril e maio (BELIVAQUA et al., 2008). O estabelecimento da cultura, segundo Calegari et al., (1993) pode ser feito com semeadura a lanço ou em linhas, com profundidade de 3 a 4 cm. Quando realizada a semeadura em linhas, o espaçamento sugerido é de 20 a 30 cm e densidade de 40 a 50 sementes por metro linear ( $15$  a  $20 \text{ Kg.ha}^{-1}$ ), uma maior densidade de semeadura, favorece a maior produção de fitomassa, o peso de mil sementes fica em torno de 10,6 gramas (SUPRAREAL, 2012).

O sistema de manejo, quando usado como adubo verde é basicamente a semeadura e rolagem das plantas no momento oportuno. A rolagem das plantas deve ser procedida entre 110 e 120 dias a contar da data da semeadura, ocasião em que o material também pode ser cortado com roçadeira ou revolvido com grade aradora (BELIVAQUA et al., 2008).

Planta muito eficiente na ciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo (CALEGARI, 2004; SANTOS et al. 2008) e também potássio (CARVALHO; AMABELI, 2006; CARVALHO et al. 2014) em ensaios elaborados por Heinzmann (2006), no estado do Paraná, demonstraram que essa planta acumulou altos teores de nitrogênio na parte aérea, quando comparado a outras espécies, inclusive comparado ao uso de leguminosas e constatou excelente efeito na produção de culturas sucessivas de verão, tais como milho, feijão e soja. Importante salientar que é uma espécie muito importante na quebra do ciclo pragas e patógenos de sucessões em gramíneas-legumibosas.

Para realização do manejo da cultura deve se tomar cuidados para que ela não se torne planta invasora (BURLE et al. 2006), tendo que ser realizado antes da maturação das sementes.

### **3.5 Características físicas do solo**

O solo é um sistema tridimensional, complexo, sendo formado por espaços porosos e sólidos. A fase porosa do solo é formada pela água (solução do solo) e pelo ar (fase gasosa). A parte sólida do solo é composta por uma parte mineral e uma parte orgânica. A parte orgânica é formada por resíduos vegetais e animais, total ou parcialmente decompostos. Já a parte mineral é constituída por partículas provenientes do intemperismo de rochas e demais matérias de origem mineral, como

sedimentos, solos pretéritos e resíduos antrópicos, variando quanto ao tamanho, forma e composição (HILLEL, 1982; COSTA et al., 2015).

Os solos possuem características físicas interdependentes. Conseqüentemente, a modificação de uma delas normalmente leva à modificação de todas as demais (RAMOS et al. 2014). Dentre as características físicas, a densidade e a porosidade do solo são comumente utilizadas como fonte para a interpretação da dinâmica de processos físicos do solo.

Segundo Ferreira (2010), a densidade do solo representa a relação entre a massa do solo seco em estufa e o seu respectivo volume total, ou seja, o volume incluindo os espaços ocupados pela água e pelo ar. A densidade do solo pode ser utilizada como indicativo da capacidade de armazenamento de água no solo, assim como a porosidade do solo.

A porosidade do solo é usualmente classificada em duas classes: microporosidade e macroporosidade. A microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade. Os macroporos, ao contrário, após serem saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade. As funcionalidades desses poros ficam evidentes quando se considera que os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos responsáveis pela aeração e pela maior contribuição na infiltração de água (REINERT et al. 2008). Destaca-se a porosidade estrutural do solo pode ser estimulada por meio biológico, através do uso de plantas de cobertura, salientando que a sua melhoria é em função de práticas conjuntas de manejo e conservação do solo e da água (ABREU; REICHERT; REINERT, 2004; MELO JÚNIOR et al., 2011; MATOS et al., 2018).

Segundo Mota, Freire e Assis Junior (2013), as características físicas do solo podem ser alteradas pelo uso e manejo, sendo bastante utilizados como indicadores de sua qualidade física, pois são sensíveis às variações do manejo ao qual o solo está submetido, os quais são importantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (MATIAS et al. 2009).

### **3.6 Características químicas dos solos**

As características químicas do solo resultam do seu processo de formação e evolução, as quais podem influenciar positiva ou negativamente a sua fertilidade. A

análise química dos solos tem sido um dos critérios mais importantes e utilizados para classificá-los, interpretar a sua gênese (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017), pois proporciona o estudo da interpretação de diversas características, com destaque para o: potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CTC), teor de fósforo, potássio, magnésio e cálcio, e saturação de bases entre outras (SHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000; NASCENTE et al., 2018).

O pH consiste em um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade, em escala de que varia de 0 a 14. Os solos que possuem valores de pH 0 a 7 são considerados ácidos, valores em torno de 7 são neutros e valores acima de 7 são considerados solos básicos ou alcalinos (SILVA, 1997; SILVA, 2009; SILVA et al. 2010; ).

A MO do solo é toda fração orgânica localizada abaixo da superfície do solo, e consiste de matéria morta (98% do total de carbono orgânico do solo) e viva (raramente ultrapassa 4% do total de C orgânico do solo), que provenha de plantas, de microrganismos, de resíduos de animais e microrganismos do solo (SILVA, 1997; SILVA; PASQUAL, 1999; SILVA et al. 201; PEREIRA et al., 2019).

A CTC mede a quantidade de cargas elétricas negativas no solo (MALAVOLTA, 1976). É uma das mais importantes propriedades porque é a responsável pela retenção de elementos essenciais facilmente disponíveis para as plantas (DEMARCHI, 2009; PINHEIRO, 2018).

A CTC – potencial T, de um solo é dada pelo somatório das bases (potássio, cálcio, magnésio, sódio) mais a acidez potencial (alumínio, hidrogênio) (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017).

O fósforo (P) é um elemento aniônico importante para o desenvolvimento das culturas. Ele ocorre na natureza na forma orgânica e inorgânica sendo que na sua quase totalidade não se encontra disponível as plantas. O fósforo é importante na formação do ATP (trifosfato de adenosina) que será a principal fonte energética da planta. Energia utilizada no transporte de assimilados, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, no aumento das células e na transferência de informações genéticas (COELHO; VERLENGIA, 1973; PINHEIRO, 2018).

O Potássio (K) é um elemento catiônico, sendo considerado o mais abundante na planta. Sua principal forma de absorção é pelas raízes e não faz parte

de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta, mas de forma livre regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, abertura e fechamento de estômatos, absorção de água no solo, atividades enzimáticas, formação de amido e síntese proteica (NUTRI-FATOS, 1993).

O Cálcio (Ca) é um elemento catiônico importante para o desenvolvimento das plantas, encontrado no solo na forma de carbonatos, sulfatos e silicatos. O cálcio atua no desenvolvimento das raízes, sendo um nutriente necessário na translocação e armazenamento de carboidratos e proteínas e também na formação e na integridade das membranas da parede celular (MALAVOLTA, 1976).

O Magnésio (Mg) é um elemento catiônico e secundário importante para o desenvolvimento das plantas. Ele compõe a molécula da clorofila, que dá a cor verde as plantas. A clorofila contém cerca de 2,7% de magnésio (MALAVOLTA, 1989; PINHEIRO, 2018).

A SB de um solo representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto  $H^+$  e  $Al^{3+}$  ( $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ ) (MALAVOLTA, 1984).

A saturação por bases (V%) é a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions, sendo a saturação por bases um indicativo das condições gerais de fertilidade do solo e utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. Os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases: solos eutróficos (férteis) =  $V\% \geq 50\%$ ; solos distróficos (pouco férteis) =  $V\% \leq 50\%$  (SILVA, 2009; ROMANIUK et al., 2018).

Ressalta-se que a avaliação das características químicas do solo tem sido estudada por vários autores, com diferentes objetivos, (GUIMARÃES; BENÍCIO; COSTA, 1995; CAVALCANTI et al., 1999), e especificamente para caracterizar alterações ocorridas em diferentes sistemas de produção florestais, agrícolas e agropecuários (FALKOSKI FILHO et al., 2010; PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010).

### **3.7 Características biológicas do solo**

As características biológicas do solo representam diferentes aspectos da qualidade do solo nos diferentes ecossistemas podendo ser utilizados para monitorar parâmetros de atividade biológica (GREGORICH et al., 1994; ROMANIUK et al., 2018).

Atualmente existem diversos estudos sobre a biomassa microbiana do solo (BMS), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ), quociente metabólico ( $q_{CO_2}$ ). Todas estas características têm sido importantes para a avaliação da atividade biológica dos solos (KARLEN et al., 1997; DE POLLI; PIMENTEL, 2005) e permite avaliar o impacto das alterações no solo no menor tempo possível devido a sua alta sensibilidade as variações ambientais (ROSSI et al., 2013).

Segundo Smith e Paul (1990), a BMS representa a parte viva da matéria orgânica do solo, sendo constituída por fungos, bactérias e actinomicetos que atuam em processos que vão desde a formação do solo (intemperização das rochas) até a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e biorremediação de áreas contaminadas por poluentes.

O CBM é um reservatório de nutrientes (JENKINSON; LADD, 1981), influi na dinâmica dos nutrientes e na fertilidade do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993), é proporcionalmente a menor fração do C orgânico do solo e constitui uma parte significativa e potencialmente mineralizável do N disponível para as plantas. (WARDLE, 1994; SÁ et al., 2015).

A RBS é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o  $CO_2$  é produzido. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela maior liberação de  $CO_2$  via degradação da matéria orgânica. A RBS possui uma estreita relação com as condições abióticas do solo, entre elas a umidade, temperatura e aeração. Cattelan e Vidor (1990) detectaram influência destas características, além da disponibilidade de substrato no solo, sobre a RBS e o CBM.

O  $q_{CO_2}$  é a razão entre a RBS e a BMS do solo, por unidade de tempo (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Ele expressa quanto de  $CO_2$  é liberado pela biomassa microbiana em função do tempo, representando a taxa de respiração específica da biomassa microbiana (ALVES et al., 2011; TAMAGNO et al., 2017).

O  $q_{Mic}$  representa a relação entre o CBM e o COT. Essa relação tem sido utilizada como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, indicando a quantidade de carbono orgânico que está imobilizado na biomassa e demonstrando, ainda, a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos (SILVA et al. 2010; TIECHER et al., 2017).

O quociente microbiano reflete o percentual de reserva do carbono orgânico total no solo. Áreas com baixa atividade microbiana apresentam baixos valores de

quociente microbiano, indicando menor reserva de compostos orgânicos nessas áreas (CARNEIRO et al. 2009). Altos índices de qMic indicam que a matéria orgânica do solo é ativa e está sujeita a ser decomposta pela microbiota

Estudos evidenciam que a maior diversidade biológica estabelece um equilíbrio do solo por um período de tempo maior, sendo importante objeto de estudo em avaliação de qualidade do ambiente e da sustentabilidade dos sistemas de produção (LAVELLE et al. 2006).

Ressalta-se que o estudo sobre as características biológicas do solo de diferentes ambientes e locais permitem a avaliação e comparação entre as formas de manejo que eles estão submetidos (PAOLETTI, 1999; LAVELLE et al. 2006).

### **3.8 Carbono orgânico no solo**

O carbono do solo é formado pelo C orgânico, e pelo C inorgânico, sendo suas concentrações altamente influenciadas pela textura e mineralogia do solo, de modo que as classes de solo diferem quanto a capacidades de conservar o Carbono (MORAES et al. 1995).

O carbono orgânico do solo é constituído por materiais orgânicos derivados, principalmente, de restos vegetais, com quantidades razoáveis de resíduos microbianos e da microfauna (MOLLOY; SPEIR, 1977; TEIXEIRA et al., 2012).

O C é componente básico das moléculas dos carboidratos (açúcares e celulose), lipídeos (óleos e gorduras), proteínas, pigmentos, hormônios, ácidos nucléicos (DNAs e RNAs), sendo denominado um “macronutriente orgânico” (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; SORATTO et al., 2012).

Segundo Santos (1998), diversos estudos têm sido sobre a ecologia dos processos do ciclo biogeoquímico do C em solos. Estes estudos incluem investigações sobre os efeitos das plantas e da rizosfera na respiração do solo, efeitos de comunidades microbianas do solo na produtividade das plantas, retorno de C no solo e as interações desses efeitos na ciclagem de nutrientes do solo.

Dentre estes estudos, destaca-se que uma das grandes oportunidades para o acúmulo de C no solo esteja na recuperação dos teores de matéria orgânica de solos degradados (LAL; KIMBLE; STEWART, 1995; REICOSKY; FORCELLA, 1998; VIEIRA et al., 2018).

Em zonas naturais que nunca sofreram ação antrópica, as taxas de carbono orgânico permanecem constantes, porém, quando o solo recebe manejo, sofre uma perda abrupta na quantidade e qualidade deste carbono orgânico (ADDISCOT, 1992; SOUZA et al. 2014), sendo necessário o uso de manejos em que tenha a menor alteração na estrutura do solo.

Segundo Doneda et al. (2012), a utilização de plantas de cobertura de solo vem ganhando cada vez mais espaço nas áreas agrícolas da região Sul do Brasil por promoverem uma recuperação e aumento dos teores de matéria orgânica nos solos.

Deste modo, para que esta prática tenha uma eficácia, é imprescindível uma seleção das espécies de cobertura com um maior potencial em produzir fitomassa, conhecer a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais (PENTEADO, 2007).

### **3.9 Plantas de cobertura e as características do solo**

Durante milênios em que se pratica a agricultura, em diferentes regiões, aspectos marcantes e comuns à grande parte dos agroecossistemas são o uso intensivo e a má gestão dos recursos naturais, que têm, ao longo dos anos, contribuído para o agravamento dos processos de degradação mesmos, principalmente do solo e água. Isso vem comprometendo severamente a relação solo-água-plantas-atmosfera, colocando em risco o equilíbrio ambiental das áreas exploradas (SANCHEZ, 2008; TEIXEIRA et al., 2014).

Destaca-se que o solo quando mantido em estado natural, sob vegetação nativa, geralmente apresenta características físicas e químicas adequadas ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA; COSTA; OLSZEWSKI, 2000). Por outro lado, as conversões de florestas em áreas agrícolas alteram o equilíbrio natural existente, modificando as propriedades do solo (MULLER; GUIMARÃES; MARTINS, 2001; TORRES et al., 2008; ZIECH et al., 2015).

Silva et al. (2011), ressaltaram que a adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, dentre eles o plantio direto e o uso de plantas de cobertura, constituem-se uma importante alternativa para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola dos solos no Brasil.

Segundo Calegari (2008), o uso de plantas de cobertura corresponde à utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciadas em cultivos, com a finalidade de proteção superficial, assim como a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, inclusive as profundidades significativas, graças aos efeitos de suas raízes, as quais promovem melhor equilíbrio e maior produção de biomassa, com conseqüente aumento do potencial produtivo do solo.

Para Drescher (2011), as plantas de cobertura influenciam diretamente nas condições físicas do solo, por serem rústicas e vigorosas. Elas são capazes de se desenvolver e melhorar as condições do solo em função da área de abrangência de suas raízes, ainda pode-se relacionar os benefícios do acúmulo de biomassa no solo, que são diferentes em função das espécies utilizadas, assim como a exploração de diferentes profundidades.

As plantas de cobertura, devido à ação do seu sistema radicular, promovem alterações físico-hídricas do solo, pela capacidade de decomposição de camadas, agindo como um “arado natural”, simultaneamente a liberação de agentes cimentantes, devido a intensa exsudação na rizosfera. A qualidade física do solo também é beneficiada devido à proteção do aporte de fitomassa proveniente da parte aérea e de raízes das plantas de cobertura (SOUZA et al., 2014).

Destaca-se que quanto às características químicas do solo, as espécies utilizadas como cobertura diferem entre si quanto à eficiência de absorção de nutrientes, exploração de diferentes profundidades do solo e qualidade e quantidade de palha formada. Bayer (1992), relata que a distribuição, o conteúdo e, conseqüentemente, a disponibilidade de bases trocáveis (Ca, Mg e K) sofrem alterações, principalmente em razão da CTC do solo, dos fluxos de água, bem como da variação na capacidade das plantas em reciclar nutrientes.

Segundo Silva et al. (2010), as plantas de cobertura acumulam nutrientes no material vegetal e os liberam durante sua decomposição, possibilitando manutenção e melhoria da fertilidade do solo. Para Reis et al., (2008), as plantas de cobertura também estimulam à atividade biológica pela interação positiva com a microbiota do solo.

Destaca-se que a escolha de plantas de cobertura depende, dentre outras características, do potencial de produção de fitomassa e da capacidade de absorver e acumular nutrientes (SOUZA; GUIMARÃES, 2013). Essas características têm grande importância no sistema solo-planta por estar relacionado à ciclagem de

nutrientes, o que aumenta a disponibilidade para as plantas e melhora a eficiência de uso dos fertilizantes (ALBUQUERQUE et al. 2013).

Com relação à microbiologia do solo, Moreira e Malavolta (2004), relatam que os microrganismos são reconhecidos por sua habilidade em promover transformações bioquímicas dos nutrientes e por sua importância em prover os elementos nutritivos de interesse às plantas, principalmente N, P, S, Zinco (Zn) e Cobre (Cu).

Zilli et al. (2003), destacam que a monocultura dos sistemas agrícolas tende a selecionar determinadas espécies de microrganismos do solo em detrimento de outras, sendo que a falta de diversidade biológica pode comprometer a capacidade do solo de reagir a estresses bióticos e abióticos, com prejuízo de suas funções.

Pereira et al. (2007) e Pereira e Thomaz (2015), afirmaram que a diversidade de espécies de plantas de cobertura aumenta a diversidade da comunidade microbiana e também melhoram as características biológicas dos solos.

As plantas de cobertura interferem na atividade, biomassa e composição da comunidade microbiana do solo, através do fornecimento de exsudatos radiculares e material vegetal durante o seu período de crescimento (WHITE; WEIL, 2010; LIU et al. 2014; TIECHER et al., 2016).

Destaca-se que a utilização de plantas de cobertura intercalando com culturas comerciais também tem um grande potencial para melhorar a qualidade do solo através da ciclagem de água e nutrientes e melhoria dos atributos microbiológicos do solo (COSER et al. 2016).

Ressalta-se ainda que de acordo com Franchini et al. (2008) e Silva et al. (2010), as características microbiológicas do solo, devido a sua extrema sensibilidade à variabilidade sazonal das condições do solo associadas à combinação de diversas espécies de plantas, são utilizadas como indicadores de qualidade do manejo do solo e água.

Deste modo, segundo Wutke et al. (2014) e Carvalho et al. (2014), a indicação sistemática de plantas de cobertura, associada a um sistema de rotação e de sucessão de culturas diversificadas, juntamente com o uso de práticas conservacionistas mecânicas e edáficas, são estratégias essenciais para melhorias físicas, químicas e microbiológicas do solo.

### 3.10 REFERÊNCIAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M. e REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.
- ADDISCOT, T. M. **Entropy and sustainability**. European Journal of Soil Science, v. 46, n. 2, p. 161-168, 1992.
- AITA, C; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.
- 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.
- ALMEIDA, E.X; VETTERLE, C.P; MIRANDA, M; VIEIRA, S. A; FLARESSO, J. A; HILLESHEIM, A. **Forrageiras para região de clima subtropical úmido Cfa** In: RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA 2000/2001. Florianópolis, EPAGRI. p.75-90, 2000.
- ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; DA SILVA, M.R.; SOBRINHO, T.A.; DE CARVALHO, D.F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil Tillage Res**, v.175, p.130-138, 2018.
- ALVAREZ, R.; STEINBACH, H.S.; PAEPE, J.L. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. **Soil Tillage Res**, v.170, p.53-65, 2017.
- ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G. **Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2013. 291 p.
- ALVES, T. D. S; CAMPOS, L. L; ELIAS NETO, N; MATSUOKA, M; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- AMADO, T. J. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201f. Tese (Doutorado em Agronomia –Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- AMADO, T.J.C; COGO, N.P; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 13, n. 2, p. 251-257, 1989.
- ANDERSON, T. H; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.

BALBINOT, M. et al. Uso de plantas de cobertura e cobertura morta em pomar de pessegueiro. In: Congreso Nacional de Ciencias Agrarias: Producción sostenible de alimentos para el desarrollo de Paraguay. n. 3. 2014. San Lorenzo - Paraguay. **Anais...** San Lorenzo: Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Asunción, p. 73-74, 2014.

BALBOA, G.R.; SADRAS, V.O.; CIAMPITTI, I.A. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: A historical synthesis-analysis. **Crop Science**, v.58, p.43-54, 2018.

BARBIERI M, D.M.F.; NORA, D.D.; SANTOS, W.B.D.; BEVILACQUA, C.; ANDRADE, N.D.; ANTONIOLLI, Z.I. Ensaio sobre a bioatividade do solo sob plantio direto em sucessão e rotação de culturas de inverno e verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, p.121-130, 2019.

BARROS, D. L.; GOMIDE, P. H. O.; CARVALHO, G. J. Plantas de cobertura e seus efeitos na cultura em sucessão. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, 2013.

BASCHE, A. D.; MIGUEZ, F. E.; KASPAR, T. C.; CASTELLANO, M. J. Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions in agroecosystems? A meta-analysis. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 69, n. 6, p. 471-482, 2014.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 1992. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**, 7. ed, São Paulo: Editora ícone, 2008.

BEVILAQUA, G. A. P; ANTUNES, I. F; ZUCHI, J; MARQUES, R. L. L. **Indicações técnicas para produção de sementes de plantas recuperadoras de solo para a agricultura familiar**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.43, 2008.

BORGES, W. L. B. et al. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta daninha**, p. 755-763, 2014.

BORKERT, C. M; GAUDENCIO, C. A; PEREIRA, J. E; PEREIRA, L. R; JUNIOR, A. O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.143-153, 2003.

BRITO, M. F. et al. Reciclagem de nutrientes de adubos verdes e produtividade de milho cultivado em sucessão em agroecossistema de transição agroecológica. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 3, p. 11-21, 2017.

BRUCKNER, P.L; HANNA, W. W. In vitro digestibility of fresh leaves and stems of small-grain species and genotypes. **Crop Science**, v. 30, n.1, p. 196-202, 1990.

BURLE, M. L; SUHET, A. R; PEREIRA, J; RESCK, D. V. S. Caracterização das espécies de adubo verde. **Cerrado Adubação Verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006, p.71-142.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema plantio direto. **Informações Agronômicas**, v. 2, n.14, 122, p. 18-21, 2008.

CALEGARI, A. Plantas de Cobertura: Alternativas de culturas para rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**. v. 8, n. 80. p. 62-70, 2004.

CALEGARI, A. PLANTAS DE COBERTURA: Alternativas de culturas para rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**. Ano XIII. n.80. p.62-70. 2004.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, **Revista Agroecologia Hoje**, v. 2, n.14, p. 659-668, 2002.

CALEGARI, A.; PEÑALVA, M. **Abonos verdes**: importancia agroecológica y especies con potencial de uso en el Uruguay. Canelones: Convenio Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca del Uruguay. Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1994. 172 p.

CALEGARI, A; MONDARDO, A. BULISANI, E. A; WILDNER, L. P; ALCANTARA, P.B; MIYASAKA, S; AMADO, T. J. **Adubação verde no sul do Brasil**. Ed 1, Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, A. M. **Uso de plantas de condicionantes com incorporação e sem incorporação ao solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases**. (Tese doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília. 2005. 369 p. IN: Cerrado Adubação Verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2006.

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**, Brasília, DF, v. 50, n. 7, p. 551-561, 2015.

CARVALHO, A. M; AMABILE, R. F. **Cerrado: Adubação Verde**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2006.

CARVALHO, A.M. de; MARCHÃO, R.L.; BUSTAMANTE, M.M. da C.; ALCÂNTARA, F.A. de; COSER, T.R. Characterization of cover crops by NMR spectroscopy: impacts on soil carbon, nitrogen and phosphorus under tillage regimes. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n.5, p. 968-975, 2014.

CAVALCANTI, F.J.A.; MESSIAS, A. S.; SILVA. M.C.L.; MORAES, E.J.F.; LIRA, L. R. B. Avaliação da fertilidade dos solos de Pernambuco: resultados de 1998. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 1999.

CHAVARRÍA, D.N.; VERDENELLI, R.A.; SERRI, D.L.; RESTOVICH, S.B.; ANDRIULO, A.E.; MERILES, J.M.; VARGAS-GIL, S. Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. **European journal of soil biology**, v.76, p.74-82, 2017.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

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.

CODAF - Competências Digitais para Agricultura Familiar. **A importância da agricultura familiar**. Universidade do Estado de São Paulo. São Paulo. 2016.

COELHO, F.S; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de ensino agrícola, 1973.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA: **Indicações Técnicas para a Cultura da Aveia (Grãos e Forrageira)**. – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Passo Fundo, 87 p. 2003.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Solo: propriedades. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/solo/propriedades.asp>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

COSER, T.R.C.; RAMOS, M.L.G.; FIGUEIREDO, C.C.; CARVALHO, A.M.; CAVALCANTE, E.; MOREIRA, M.K.R.; ARAÚJO, P.S.M.; OLIVEIRA, S.A. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 51, n. 9, p.1660-1667. 2016.

COSTA NETO, V.; COSTA NETO, V.; SANTOS, C.; SIQUEIRA, D.; CARVALHO, L. **Atributos microbiológicos do solo em área de pastagem degradada e em áreas reabilitadas sob manejo agroecológico**. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2015, Belém. Diversidade e soberania na construção do bem viver. Belém, 2015.

COSTA, M. B; CALEGARI, A; MONDARDO, A; BULISANI, E. A; WILDNER, L. P; ALCANTARA, P.B; MIYASAKA, S; AMADO, T. J. **Adubação verde no Sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PT, 1992.

COSTA, N. R. et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, 2015.

DADALTO, J.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistemas de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, 2015.

DEMARCHI, J. C. **Alterações físicas e químicas dos horizontes superficiais de Latossolos vermelhos e Nitossolos vermelhos em diferentes tipos de uso e ocupação na microbacia do ribeirão são domingos, município de santa cruz do rio pardo**. 2009. Disponível em: <[http://www.geo.ufv.br/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo7/017.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo7/017.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2016.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M.S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa-SCT, 2005. p.17-28.

DERPSCH, R; SIDIRAS, N; HEINZNANN, F. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.7, p.761-773, 1985.

DONEDA, A. **Plantas de cobertura de solo consorciadas e em cultivo solteiro: decomposição e fornecimento de nitrogênio ao milho**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

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, n. 2, p. 1714-1723, 2012.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America. 1994.

DRESCHER, M. Efeito residual de intervenções mecânicas para descompactação do solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, n. 5, p. 1713-1722, 2011.

FALKOSKI FILHO, J.; COSTA, A.; LANILLO, R. F.; GOMES, B. B.; CAMPOS, M.; OLIVEIRA, E. P. Avaliação da fertilidade química dos solos nos sistemas de produção em assentamentos rurais nos municípios de Tamarana, Londrina e Ortigueira (PR), Brasil. In: VIII Congresso da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, São Luis, **Anais...** Sociedade Brasileira de Produção. 2010. CD-ROM.

FERREIRA, M.M. **Caracterização física do solo**. In: LIER, Q. J. van (ed.). Física do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

FORMENTINI, E. A; LÓSS, F. R; BAYERL, M. P; LOVATI, R. D; BAPTISTI, E. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. Vitória: Incaper, 2008.

FRANCHINI, J. C.; SARAIVA, O. F.; DEBIASI, H.; GONÇALVES, S.L. **Contribuição de sistemas de manejo do solo para a produção sustentável da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008.

FREITAS, D.A.F.; SILVA, M. L. N.; CASTRO, N. E. A., CARDOSO, D. P.; DIAS, A.C.; CARVALHO, G.J.. Modelagem da proteção do solo por plantas de cobertura no sul de Minas Gerais. **Revista Agroambiente On-line**, v. 6, p. 117-123, 2012.

GALPÃO CENTRO OESTE. **Coberturas de Inverno**. Disponível em: <http://galpaocentrooeste.com.br/outros.html> Acesso em: 29/03/2016.

GIACOMINI, S. J; AITA, C; RHEINHEIMER, D. S. **Consortiação de plantas de cobertura: I. Produção e composição da fitomassa**. Santa Maria, RS, 2000.

GIAGNONI, L.; MAIENZA, A.; BARONTI, S.; VACCARI, F.P.; GENESIO, L.; TAITI, C.; MANCUSO, S. Long-term soil biological fertility, volatile organic compounds and chemical properties in a vineyard soil after biochar amendment. **Geoderma**, v.344, p.127-136, 2019.

GOMES, S.S; GOMES, M.S.; GALLO, A.S.; MERCANTE, F.M.; BATISTOTE, M. E SILVA, R.F. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Revista de La Facultad de Agronomia**. v. 114, n. 3, p. 30-37. 2015.

GONÇALVEZ, V. A. Características físicas e microbiológicas do solo em sistemas de plantio e sucessões de culturas . Dissertação (Mestrado), Minas Gerais, 2014.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C. M. & ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal Soil Science**. v. 74, n. 2, p. 367-385, 1994.

GUIMARÃES, F.V.A.; BENÍCIO, V. A.; COSTA, R. I. Levantamento da fertilidade do solo no Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO,

25.1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 1995. p 612-613.

GUIMARÃES, N.D.F.; GALLO, A.D.S.; FONTANETTI, A.; MENEGHIN, S.P.; SOUZA, M.D.; MORINIGO, K.P.; SILVA, R.F.D. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, p.34-44, 2017.

HEINRICHES, R; AITA, C; AMADO, T J. C; FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, n. 2, p.331 –340, 2001.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. London: Academic Press, 1982.

JENKINSON, D. S; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil Biochemistry**. v. 5, n. 4, p. 415-471, 1981.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**. v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

KAUANO ,E. E.; PASSOS, E. Análise do uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio da Gama, Tijucas do Sul – PR. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**. v. 6, n. 2, p. 181- 190, 2008.

KICHEL, A. N; MIRANDA, C. H. B. Uso de aveia como planta forrageira. **Gado de corte divulga**. v. 45, n. 1, p. 1-5, 2000.

LAL, R.; KIMBLE, J; STEWART, B. A. **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995.

LAVELLE, P; DECAENS, T; AUBERT, M; BAROT, S; BLOUIN, M; BUREAU, F; MARGERIE, P; MORA, P; ROSSI, J.P. Invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**. v. 42, n. 1, p. 3–15, 2006.

LIMA, M.; SILVA JUNIOR, C.; RAUSCH, L.; GIBBS, H.K.; JOHANN, J.A. Demystifying sustainable soy in Brazil. **Land Use Policy**, v.82, p.349-352, 2019.

LLANILLO, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; FILHO, J. T. Morfologia e propriedades Físicas de solo segundo sistemas de manejo em culturas anuais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 524–530, 2013.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINAI, A. S.; NUMES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MALAVOLTA, E. **A prática da calagem**. Sorocaba: Indústria Mineradora Pagliato Ltda,1984.

MALAVOLTA, E. **Função dos nutrientes na planta e qualidade dos produtos agrícolas**. Ilha Solteira, 1989.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1976.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.O. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e Aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

- MARTÍNEZ-GARCÍA, L.B.; BRUSSAARD, L.; DEYN, G.B.; KORTHALS, G.; JORGENSE, H.B. Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.263, p.7-17, 2018.
- MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R., DA CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agrônômica**. v. 40,n. 3, p. 331-338, 2009.
- MATOS, C.C.; GANDINI, E.M.M.; SILVA, E.A.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, E.A. Accumulation potential and nutrient cycling of apple of peru (*Nicandra physalodes*). *Revista Caatinga*, v.31, n.2, p.360 – 369, 2018.
- MELO JÚNIOR, H. B; CAMARGO, R; WENDLING, B. Sistema de plantio direto na conservação do solo e água e recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12, 2011.
- MENEZES, M. D. JUNIOR, J. A. J.; MELLO, C. R; DILVS, S. M.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, 2009.
- MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, n. 6, p.1637-1646, 2007.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.17, n. 3, p.411-416, 1993.
- MOLLOY, L. F.; SPEIR, T. W. Studies on a climosequence of soil in tussock grasslands. **New Zealand Journal of Soil Science**. v. 20, n. 1, p. 167-177, 1977.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: Características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: do autor, 1991.
- MORAES, J. L.; CERRI, C. C.; MELILLO, J. M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; STEUDLER, P. A.; SKOLE, D. L. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon basin. **Soil Science Society of America Journal**. v. 59, n. 1, p. 244-247, 1995.
- MOTA, J. C.A.; FREIRE, A.G.; ASSIS JÚNIOR, R.N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 37, n. 5, p. 1196-1206, 2013.
- MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G.; VALLE, D.; MELLO, I. **Plantio Direto: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015.
- MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, T. D.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 36, n. 11, p. 1409-1418, 2001.
- NASCENTE, A.S.; STONE, L.F. Cover Crops as Affecting Soil Chemical and Physical Properties and Development of Upland Rice and Soybean Cultivated in Rotation. **Rice Science**, v.25, p.340-349, 2018.
- NASCIMENTO JUNIOR, A; SÓ E SILVA, M; CAIERÃO, E. SCHEEREN, P. LI. **Cultivo de centeio**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006.

NUTRI-FATOS. **Informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas.** Piracicaba: POTAFOS, 1993.

PAOLETTI, M. G. **Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes: practical use of invertebrates to assess sustainable land use.** Amsterdam: Elsevier, 1999.

PAPA, R. A.; LACERDA, M. P. C.; CAMPOS, P. M.; SILVA, A. R. Qualidade de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos sob vegetação nativa de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 564-571, 2011.

PENTEADO, S. R. **Aubos verdes e produção de biomassa melhoria e recuperação dos solos.** Campinas: Editora Via Orgânica, 2007.

PEREIRA, A. A; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C; KASCHUK, G; CHUEIRE, L. M. O; CAMPO, R. J; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, n. 6, p.1397-1412, 2007.

PEREIRA, A. A; THOMAZ, E. L. Atributos químicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo no município de reserva – PR. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 55, p. 186-194, 2015.

PEREIRA, J.; BURLE, M. L.; RESCK, D. V. S. Aubos verdes e sua utilização no cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO, 1992, Goiânia, GO. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 140-154.

PEREIRA, L.S.; JAKELAITIS, A.; OLIVEIRA, G.S.; SOUSA, G.D.; SILVA, J.N.; COSTA, E.M. Interferência de plantas daninhas em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu. *Revista Cultura Agrônômica*, v.28, n.1, p.29-41, 2019.

PESTER, T. Allelopathic effects of rye (*Secale cereale* L.) and their implications for weed management - a review. 1998. In: **Cultivo do centeio**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006.

PINHEIRO, E.R. Biomassa microbiana de um latossolo vermelho distroférico cultivado com diferentes espécies de adubo verde. **Cadernos de Agroecologia**, v.13, n.2, p.1-9, 2018.

PIRAÍ SEMENTES. **Adubação Verde e Cobertura Vegetal**. Disponível em: [http://www.pirai.com.br/texto-a5-adubacao\\_verde\\_e\\_cobertura\\_vegetal.html](http://www.pirai.com.br/texto-a5-adubacao_verde_e_cobertura_vegetal.html). Acesso em: 28/03/2016.

PITOL, C. **A cultura de aveia e sua importância para Mato Grosso do Sul**. Distrito Federal: Embrapa Cerrados. 2006.

PORTUGAL, A. F; COSTA, O; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.2, p. :575-585, 2010.

RAIMBAULT, T. J; VYN, T. J; TOLLENAAR, M. Corn response to rye cover crop, tillage methods, and planter options. **Agronomy Journal**. v. 83, n. 2, p. 287-290, 1991.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J.; ALMEIDA, M. V. P. Avaliação de um solo argiloso sob plantio direto de uma escarificação na evolução da resistência do solo a penetração In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...** Foz do Iguaçu: CONBEA, 2001. CD-ROM

RAMOS, M. R. et al. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**. v. 115, n. 1, p. 131–40, 2014.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos mitigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 5, n. 2, p. 49-134, 2007.

REICOSKY, D.C.; FORCELLA, F. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. **Journal Soil Water Conservation**. v. 53, n.1, p. 224-229, 1998.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADE, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 4. p. 1805-1816, 2008.

REIS, M. R.; SILVA, A. A.; COSTA, M. D.; GUIMARÃES, A. A.; FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B.; CECON, P. R. Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas. **Planta daninha**. v. 26, n. 2, p. 323-331, 2008.

RODRIGUES, V. A; FENNER, P. T; SANSÍLOGO, C. A; MORAES, M. H. Estimativa da água no solo em floresta de *Eucalyptus grandis*. **Irriga**, Botucatu. v. 17, n. 4, p. 523-533, 2012.

ROMANIUK, R.; BELTRÁN, M.; BRUTTI, L.; COSTANTINI, A.; BACIGALUPPO, S.; SAINZ-ROZAS, H.; SALVAGIOTTI, F. Soil organic carbon, macro-and micronutrient changes in soil fractions with different lability in response to crop intensification. **Soil and Tillage Research**, v.181, p.136-143, 2018.

ROSSI, C. Q. et al. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. Embrapa Solos-**Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2013.

ROSSI, F.; VALLE, J. C. V.; VALLE, C. R. P. **Como tornar sua fazenda orgânica**. Viçosa: CPT, 2002.

RURAL SEMENTES. **Nabo forrageiro**. Disponível em: <[http://www.ruralsementes.com.br/default.asp?tipo=1&secao=nabo\\_forrageiro.asp](http://www.ruralsementes.com.br/default.asp?tipo=1&secao=nabo_forrageiro.asp)> Acesso: 28/03/2016.

SÁ, J. C. et al., Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation e Developments**, v.26. 531-543, 2015.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 141f. Dissertação [Mestrado]. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, 2012.

SANTOS, A. J. B. **Fluxos de carbono, energia e água em vegetação de Campo Sujo**. 112 f. Dissertação [Mestrado] - Universidade de Brasília, Brasília. 1998.

SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v.138, n. 1, p.335-356, 2000.

SEMEATA. **Cobertura do Solo**. Disponível em: <<http://www.semeata.com.br/?sessao=categorias&IP=cobertura-de-solo>> Acessado em: 29/03/2016.

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, R. A.; HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil- and crop- management systems in short and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research** , v. 119, n. 1, p. 20-26, 2010.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, I.F; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SILVA, L. V.; PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Energia na Agricultura**, v. 14, n. 3, p. 13-24, 1999.

SILVA, O. **Fertilizantes, corretivos e solos: o tripé das plantas**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1997.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; C ARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, R.F.; GUIMARÃES, M. F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1277-1283, 2011.

SMITH, J.L; PAUL, E.A. **The significance of soil microbial biomass estimations**. In: BOLLAG, J.M; STOTSKY, G., eds. Soil biochemistry. New York, Marcel Dekker, p. 357-398, 1990.

SOBRAL FILHO, R. M.; MADEIRA NETTO, J. S.; FREITAS, P. L. de; SOUZA, R. L. P. de. **Práticas de conservação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1980.

SORATTO, R. P. et al. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 1462-1470, 2012.

SOUZA, C. M; PIRES, F. R; PARTELLI, F.; ASSIS, R. L. **Adubação verde na física do solo**. Brasília: Embrapa. 2014.

SOUZA, J. L; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**. v. 29, n. 6, p. 1796-1805, 2013.

STOCKING, M. **Erosion-induced loss in soil productivity: A research design**. Rome: FAO, 1985.

SUPRAREAL. **Nabo Forrageiro**. Disponível em: [http://www.suprereal.com.br/sementesdeinvernoid=nabo\\_forrageiro\\_al\\_1000\\_%28raphanus\\_sativus%29!.67](http://www.suprereal.com.br/sementesdeinvernoid=nabo_forrageiro_al_1000_%28raphanus_sativus%29!.67) Acesso em: 09/10/2016.

TAMAGNO, S.; BALBOA, G.R.; ASSEFA, Y.; KOVÁCS, P.; CASTEEL, S.N.; SALVAGIOTTI, C.I.A. Nutrient partitioning and stoichiometry in soybean: A synthesis-analysis. **Field Crops Research**, v.200, p.18-27, 2017.

TAVARES FILHO, J; BARBOSA, G. M .C; GUIMARÃES, M.F; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 725-730, 2001.

TAVARES, R. L; MELO, A. S; ANDRADE, A. G; ROSSI, C. Q; CAPECHE, C. L; BALIEIRO, F. C; DONAGEMMA, G. K; CHAER, G. M; POLIDORO, J. C; MACEDO, J. R; PRADO, R. B; FERRAZ, R. P. D; PIMENTA, T. S. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 2008.

TEIXEIRA, C. M.; LOSS, A., PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia**, Chile, v.30, n.1, p.55-64, 2012.

TEIXEIRA, R. A., et al. Grasses and legumes as cover crop in no-tillage system in northeastern Pará Brazil. **Acta Amazonica**, v. 44, p. 411 418, 2014.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. 186 p.

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

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de resíduo vegetal por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

VERONESE, M.; FRANCISCO, E. A. B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C. A. Plantas de cobertura e ciclagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.8, p.1158-1165, 2012.

VIEIRA, J.L.V.; NARDI, K.T.; SILVA, G.R.A.; MOREIRA, L.A.; ZAVASCHI, E.; MOURA, T.A.; OTTO, R. Nutrient Uptake by High-Yielding Cotton Crop in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.42, 2018.

VIEIRA, M. J. **Embasamento técnico do subprograma de manejo e conservação dos solo-Paraná Rural**. In: PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo.2. ed. Curitiba: IAPAR: SEAB, 1994.

WARDLE, D. A. **Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p.419-436.1994.

WHITE, C. M.; WEIL, R. R. Forage radish and cereal rye cover crop effects on mycorrhizal fungus colonization of maize roots. **Plant Soil**. v. 328, n. 1, p. 507–521, 2010.

WUTKE, E. B. **Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo 1993.

WUTKE, E.B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. **Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso**. Brasília: Embrapa, 2014.

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 hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.

#### 4 ARTIGO 1 (Submetido – ANEXO 1)

### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SOLO COM SISTEMAS DE MANEJO COM PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO NO SUDOESTE DO PARANÁ - BRASIL**

*Physicochemical Characterization and Soybean Yield of Farm Management Systems with Winter Cover Crops in the Southwest of Paraná - Brazil*

#### **RESUMO**

As alterações dos ecossistemas naturais ocorrem na medida em que eles vão sendo substituídos por atividades voltadas para fins industriais ou produção agropecuária, provocando degradação, proveniente do uso e manejo inadequados do solo. Métodos de manejo e conservação dos ambientes naturais podem contribuir com a sua preservação ou manutenção do equilíbrio com a sua capacidade produtiva. Um dos métodos de preservação dos solos agrícolas é o enriquecimento da variabilidade vegetal, que propicia a manutenção da cobertura vegetal nos períodos de entre safra ou de pousio de áreas agrícolas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de plantas de cobertura de inverno em cultivo singular e consorciado, sobre parâmetros físicos e químicos do solo nas camadas do solo de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m de profundidade, em uma área experimental no município de São Jorge do Oeste – Paraná. O experimento foi conduzido de 2016 a 2019, em um Latossolo Vermelho Eutroférico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial, com cinco repetições e parcelas com área de 150 m<sup>2</sup>. Os tratamentos utilizados foram Aveia Preta (AP); Tratamento Completo (TC) formado pelo consórcio de Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco e o terceiro tratamento com Trigo (T). Foram avaliados os efeitos na densidade, macroporosidade e microporosidade do solo. Teores de Al, Ca, Mg, K, P, pH CaCl<sub>2</sub> e COT. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Além disso, foi avaliado a produtividade da soja sob as áreas de cobertura de inverno. Os resultados mostram que o uso de plantas de cobertura de inverno proporciona uma melhoria em parâmetros físicos e químicos. O tratamento que utiliza a Aveia Preta, seguida pelo tratamento em consórcio de plantas, apresentaram os melhores resultados em relação aos atributos físico-químicos e a produtividade, em comparação com a área explorada com trigo. Assim, pode-se concluir que o uso de plantas de cobertura no período de inverno, é uma forma de melhoria no manejo e conservação do solo e da água, na região avaliada.

**Palavras-chave:** Solo, produção agrícola, plantas de inverno.

## ABSTRACT

Changes in natural ecosystems occur to the extent that they are being replaced by activities geared to industrial or agricultural production, causing degradation because of the inadequate use and management of the soil. Management and conservation methods of natural environments can contribute to their preservation or maintain the balance of their productive capacity. One of the methods to preserve agricultural soils is the enrichment of plant variability, which provides for the maintenance of plant cover in the between-harvest or fallow periods of agricultural areas. In this sense, the objective of this work was to evaluate the effect of the use of winter cover plants in single and intercrop cultivation on the physical and chemical parameters of the soil in the soil layers at depths of 0.0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3 and 0.3-0.4 m, in an experimental area in the municipality of São Jorge do Oeste - Paraná. The experiment was conducted between 2016 and 2019 on a Eutroferric Red Latosol. The experimental design used was that of random blocks, in a factorial scheme, with five repetitions and plots with an area of 150 m<sup>2</sup>. The treatments used were Black Oats (BO), Complete Treatment (CT) formed by the intercropping of Black Oats + Forage Turnip + Vetch + Rye + White Lupine and a third treatment with Wheat (W). The effects on soil density, macroporosity and microporosity were evaluated. Levels of Al, Ca, Mg, K, P, PH CaCl<sub>2</sub> and TOC. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Tukey Test, at 5% probability. In addition, the productivity of soybeans under the winter cover areas was evaluated. The results show that the use of winter cover plants provides an improvement in the physical and chemical parameters. The treatment using Black Oats, followed by the intercropping treatment, showed better results in relation to physicochemical attributes and productivity when compared to the area covered with wheat. As such, it can be concluded that the use of cover plants in the winter period is a way to improve the management and conservation of soil and water, in that region.

**Keywords:** Soil, agricultural production, winter plants.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é determinada pela capacidade de um solo em desempenhar funções dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados para sustentar a produtividade das plantas e dos animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e dar suporte à saúde e habitação humanas (SSSA, 1995; BARBOSA et al. 2015).

Usualmente, a qualidade do solo agrícola é considerada sob três aspectos: físico, químico e biológico, sendo importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo e para identificar a sustentabilidade dos sistemas de manejo (ARATANI et al. 2009).

A qualidade físico-química do solo merece destaque especial uma vez que tem afetado bastante a qualidade biológica, já que uma depende da outra, ou seja, melhorando a qualidade físico-química de determinado solo se está contribuindo indiretamente para a melhoria das suas condições biológicas (DEXTER, 2004; ARAÚJO et al., 2007; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

As alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo do solo agrícola, podem requerer ajustes no manejo das culturas e nas recomendações de adubação e calagem (SÁ, 1998). Estes ajustes podem ocorrer de acordo com a região, em decorrência das diferenças no manejo e na rotação de culturas empregados ou de fatores ligados ao clima e ao solo.

De acordo com Calegari, (2000), uma importante alternativa para a manutenção da qualidade do solo é a manutenção de resíduos em sua superfície, que contribuem para a melhoria na sua estruturação. As respostas podem estar relacionadas ao aumento da estabilidade dos agregados, aumento da capacidade de retenção de água, aumento da porosidade, melhor aeração, menores perdas de água por evaporação e diminuição da densidade, pelo efeito da matéria orgânica, sendo que esses atributos podem ser obtidos com cobertura vegetal dos períodos entre safras.

Um exemplo é a utilização cobertura vegetal em sucessão as culturas comerciais (BORGES et al. 2015). Uma das premissas desse método é manter o solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. Essa cobertura tem por finalidade proteger o solo do impacto direto das gotas de chuva,

do escoamento superficial e das erosões hídrica e eólica (REBELLO; TURETTA 2017).

Para tanto, estimula-se o cultivo de plantas de cobertura como alternativa para diminuir os problemas relacionados à compactação do solo (REEVES 1994; ALVAREZ et al. 2017). Além disso, as plantas de cobertura absorvem nutrientes e os liberam novamente para o solo quando decompostas, contribuindo também com acréscimo de material orgânico do solo possibilitando aumento na produtividade das próximas culturas (FAGERIA et al. 2005; CARVALHO et al. 2007; FORTE et al. 2018).

Cada espécie de planta de cobertura possui dinâmica específica nos níveis de decomposição e liberação de nutrientes dos seus resíduos. Esse comportamento está relacionado à sua composição, o qual é associado à relação carbono/nitrogênio (C/N) e presença de compostos mais lábeis ou recalcitrantes. De acordo com Hadas et al. (2004), esses resíduos são constituídos pelos mesmos grupos de componentes, porém, em diferentes proporções, onde a concentração de nitrogênio (N) desempenha um importante papel nos processos de decomposição e disponibilidade de nutrientes (REDIN et al. 2014).

As plantas de cobertura podem ser cultivadas isoladamente ou em consórcio com duas, três ou mais espécies, principalmente plantas das famílias Poaceae e Fabaceae. O uso de consórcio de espécies é altamente benéfico pois, além de contribuir para melhorar as propriedades físicas do solo (agregação e estruturação) (ALVAREZ et al. 2017), produz resíduos intermediários quanto a relação C/N que favorecem a mineralização de N e promovem maior equilíbrio e acúmulo de carbono no perfil do solo ao longo do tempo (DONEDA et al. 2012; ZIECH et al. 2015).

No entanto a inserção de plantas de cobertura de verão é dificultada pela competição por área cultivada com as principais culturas comerciais, como soja, milho e feijão, tornando as plantas de cobertura de inverno uma alternativa mais viável. Para tanto, torna-se necessária a avaliação do desempenho dessas plantas e seus consórcios, a fim de indicar as mais adequadas para anteceder os cultivos de verão (CALEGARI, 2008).

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de curto prazo das plantas de cobertura de inverno sobre as propriedades físicas e químicas do solo de uma área agrícola localizada no município de São Jorge D'Oeste, sudoeste do Paraná.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados durante os anos de 2016 a 2019, com os tratamentos sempre no período de inverno. A área do experimento está localizada no Município de São Jorge do Oeste, Sudoeste do Paraná, nas coordenadas geográficas 25°44'73" S e 52°53'57" E, 461 metros de altitude.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é caracterizado como Cfa subtropical úmido mesotérmico com verão quente, geadas poucos frequentes, apresentando temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C. A umidade relativa do ar apresenta-se variando em média de 64 a 74%, e precipitação anual entre 1.800 a 2.200 mm, distribuída de maneira uniforme durante o ano (MAACK, 1981).

A área do experimento encontra-se no terceiro planalto paranaense, formado por rochas basálticas da Formação Serra Geral e o relevo apresenta-se suavemente ondulado a ondulado (MINEROPAR, 2006). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico (SANTOS et al. 2013; WRB/FAO, 2019).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema fatorial, com cinco repetições, sendo três tratamentos, para cada profundidade de solo analisada. Os tratamentos foram constituídos por plantas de coberturas de inverno. As camadas de solo avaliadas foram nas profundidades de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m, sendo que a disposição e arranjo dos tratamentos experimentais foram elaborados de acordo com as recomendações de Banzatto e Kronka (2006).

Para implantação e condução das plantas de cobertura, vinte dias antes da semeadura realizou-se o controle químico de plantas daninhas através da aplicação de herbicida glifosato em toda a área experimental. As plantas de cobertura foram semeadas no início do mês de maio de cada ano. A densidade de semeadura foi de 60 Kg.ha<sup>-1</sup> para a Aveia Preta (AP), Tratamento Completo (TC), formado por Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco 40 + 5 + 15 + 15 + 25 Kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente 120 Kg.ha<sup>-1</sup> para o Trigo Mourisco, também chamado de trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench), neste trabalho chamado apenas de Trigo (T).

Para a incorporação das sementes no solo após sua semeadura a lanço, foi utilizado um trator agrícola e uma grade niveladora leve e fechada. As plantas de cobertura germinaram uniformemente, desenvolvendo-se naturalmente durante 120

dias de ciclo vegetativo e pleno florescimento. Após esse período, de maior concentração de nutrientes nos tecidos vegetais das plantas de cobertura, elas foram dessecadas com herbicida glifosato.

Após 180 dias de implantação e condução do experimento foram efetuadas coletas de solo para avaliação das características físicas e químicas, sendo que para as análises físicas foram coletadas amostras não deformadas de solo nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m. As amostras foram coletadas com auxílio de uma pá de corte, onde foram abertas pequenas trincheiras com dimensão de 0,4 m de comprimento por 0,4 m de largura e 0,5 m de profundidade. Após a abertura das trincheiras, com auxílio de uma espátula, as amostras de solo foram coletadas. Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e transportadas ao laboratório de solos da Universidade Estadual de Londrina (UEL), onde foram preparadas e analisadas.

Em relação aos atributos químicos foram determinados pH em  $\text{CaCl}_2$ , P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e carbono orgânico total do solo (COT). Os atributos físicos avaliados foram densidade do solo (Ds), Microporosidade (Mip) e Macroporosidade (Map).

Para as análises químicas as amostras foram secas em estufa ventilada a  $60^\circ\text{C}$  por 48 horas, desagregadas e peneiradas em malha de 2 mm, sendo que as amostras não deformadas, para avaliação de características físicas do solo, foram acondicionadas e encaminhadas ao laboratório de solos, onde foram conservadas em local adequado.

Para determinação das características físicas do solo também foram utilizadas amostras não deformadas de solos coletadas em anéis volumétricos com diâmetro de 4,7 cm e altura de 5,1 cm. Os procedimentos adotados para a análise física foram efetuados de acordo com as metodologias propostas no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997), onde a densidade foi determinada pelo método do anel volumétrico, a macroporosidade pelo método da diferença da porosidade total e microporosidade e a microporosidade foi determinada pelo método de mesa de tensão.

Para as análises físicas, as amostras foram pesadas em balança eletrônica de precisão e logo em seguida colocadas em estufa a uma temperatura de  $105^\circ\text{C}$ , deixando nessa condição durante 24 horas. Posteriormente foram retirados os cilindros de solo da estufa para esfriar e efetuar a sua pesagem. Após estes

procedimentos, as amostras foram envolvidas com um tecido de marca comercial perfex e elástico e colocadas para saturar por capilaridade em bandejas com  $\frac{3}{4}$  de água durante 24 horas.

Após o período de saturação, as amostras foram colocadas em uma coluna de areia para medição da retenção de água no solo, durante 48 horas com tensão de 0,6 metros de coluna de água. Após o período na mesa de tensão, as amostras foram pesadas e novamente colocadas em estufa por 24 horas com temperatura de 105°C para posterior pesagem.

Para o cálculo da densidade do solo foi utilizada a medida obtida da secagem da amostra em estufa e o volume do anel volumétrico equação:  $D = Pas / Vc$  onde:  $D$  = densidade =  $g/dm^3$ ;  $Pas$  = peso da amostra seca (g) e  $Vc$  = volume do cilindro ( $dm^3$ )

Para a determinação dos atributos físicos, foram analisados a macroporosidade ( $Map$ ), microporosidade ( $Mip$ ) e densidade ( $Ds$ ) do solo, conforme metodologia descrita em Donagema et al. (2011).

A medida da microporosidade do solo foi obtida por meio das amostras submetidas a mesa de tensão. Após serem submetidas a mesa de tensão, as amostras foram pesadas, levadas a estufa e pesadas novamente.

A porosidade total corresponde ao volume de poros totais do solo ocupado por água e ou ar, e foi calculada utilizando a medida do peso da amostra de solo após saturação e após a segunda secagem em estufa equação:  $Pt = 100 \times [(Pass - Pas) / Vc]$ , onde:  $Pt$  = Porosidade total (%),  $Pass$  = peso da amostra após ser submetida a saturação (g),  $Pas$  = peso da amostra seca (g) e  $Vc$  = volume do cilindro ( $cm^3$ )

Os procedimentos para as determinações analíticas de COT, pH  $CaCl_2$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , P e  $K^+$  foram realizadas de acordo com metodologias descritas no Manual de Análise Química do Solo e Controle de Qualidade do Instituto Agrônomo do Paraná (PAVAN et al., 1992).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa de Assistência Estatística - ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2016). Os requisitos necessários para a análise de variância (ANOVA) foram verificados. O teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) foi utilizado na comparação de médias, considerando um delineamento em blocos ao acaso fatorial com cinco repetições e três tratamentos.

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Características químicas

As características químicas do solo da área de cultivo das plantas de cobertura antes e após a instalação do experimento permitem visualizar, o comportamento de retirada, retenção e deposição de nutrientes do solo nesta camada. Esses dados são apresentados nas tabelas 4.1 a 4.11.

De acordo com os dados contidos na tabela 4.1 e considerando o pH  $\text{CaCl}_2$  na condição inicial do solo em 2016, apresentou valores 5,45 para o solo com Aveia Preta (AP) a 5,81 neste mesmo solo em 2017. Também se observa que no perfil de 0,0 a 0,1 m do solo, não se verificou variações de pH significativas a nível 5% pelo Teste de Tukey, mostrando assim que o pH neste perfil se manteve estável.

O que se percebe é que não houve diferença estatística no decorrer dos anos, sugerindo que o uso de cobertura vegetal, protegeu esta característica do solo, evitando alterações no pH. Quando se analisa os dados de forma absoluta, verifica-se um aumento desses valores no tratamento com a Aveia Preta já no primeiro ano de adoção, seguindo nos anos seguintes até 2019 em todos os perfis estudados.

Ciotta et al., (2002) e Loss et al. (2014), trabalhando em Sistema Plantio Direto com plantas de cobertura, evidenciaram menores valores de pH na camada de 0-0,1 m do solo, quando comparados a camadas mais profundas. Caires et al., (2006) constataram aumentos de pH de 4,5 para 4,9, nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m com o cultivo de plantas de cobertura. Estas características convergem com os resultados encontrados neste experimento.

Os valores do K, contidos na tabela 4.2, variaram de 0,24 unidade em 2016 a 0,56 em 2019, no tratamento com AP, 0,21 a 0,24 no tratamento com Trigo (T) e 0,20 a 0,43, no tratamento completo (TC), no mesmo período e no mesmo perfil de solo. Esse comportamento de incremento nos níveis de potássio pode ser observado em todos os perfis avaliados. O que se observa são valores de potássio inferiores na condição inicial do solo o que pode ser explicado por uma possível liberação de K pelas plantas utilizadas em todos os tratamentos e o uso de duas adubações anuais, anteriormente à instalação do experimento.

Segundo a Embrapa (2011), solos com valores de K entre 0,18 a 0,31  $\text{cmolc.dm}^{-3}$  e acima de 0,31  $\text{cmolc.dm}^{-3}$ , são classificados como níveis alto e muito alto, para solos com teores de argila maiores que 40%, no estado Paraná, coincidindo com os dados obtidos neste trabalho.

Os valores médios de cálcio nos três tratamentos, contidos na tabela 4.3, apesar de não mostrar diferenças significativas entre si, apresentam crescimento nos valores obtidos, pois no tratamento com Aveia Preta (AP) os valores variaram de 6,09  $\text{cmolc.dm}^{-3}$  em 2016, para 5,52  $\text{cmolc.dm}^{-3}$  em 2019. Esse comportamento não foi observado em todos os tratamentos estudados, pois em 2019, no tratamento com Trigo, os valores variaram significativamente ao nível de 5%, mostrando valores de 5,42  $\text{cmolc.dm}^{-3}$  em até 0,1 m, para 3,20  $\text{cmolc.dm}^{-3}$  na profundidade de 0,3 a 0,4 m. Isso mostra que a cobertura vegetal promoveu um incremento de cálcio na camada mais superficiais do solo.

Observa-se esse mesmo comportamento de crescimento dos outros tratamentos, sendo mais acentuado no tratamento completo (TC). O tratamento completo (TC) Aveia preta + Nabo forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco apresentou maiores valores, chegando a valores de 6,69  $\text{cmolc.dm}^{-3}$ .

Steiner et al. (2011), observaram teores de Ca mais elevados na camada de 0,1-0,2 m em sistemas de rotação com plantas de cobertura. Segundo eles, a explicação para esta mobilização de Ca no perfil do solo pode ser atribuída à presença de resíduos vegetais sobre a superfície do solo.

Os valores de Mg, contidos na tabela 4.4, foram superiores no tratamento completo (TC) constituído por Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco sendo este muito próximo da condição inicial do solo. Apesar de disso não se observou diferenças significativas nos dados estatísticos ao nível de 5% pelo Teste de Tukey.

Os dados contidos na tabela 4.5 relativos ao alumínio (Al), apresentam teores diferentes nos três tratamentos utilizados, no tocante a profundidade do solo. Verifica-se que os valores de Al, não houve interação entre os três tratamentos, com plantas de cobertura. A tabela 4.5 apresenta esses valores médios de alumínio do solo, onde se observou que a área com Aveia Preta, apresentou o menor valor médio para este parâmetro, sendo ele igual a 0,12  $\text{cmolc.dm}^{-3}$  em 2017, confirmando um efeito de neutralização deste elemento por este tratamento (PAVAN et al. 1992).

**Tabela 4.1** - Valores médios de pH em CaCl<sub>2</sub> em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	5,45aA	5,24aA	5,15aA	5,07aA	5,11aA	5,12aA	5,34aA	5,11aA	5,33aA	5,23aA	5,28aA	5,06aA
0,1 – 0,2	5,29aA	5,61aA	5,20aA	5,54aA	4,90bB	5,36aA	5,36aA	5,14aA	5,11aA	5,76aA	5,36aA	5,21aA
0,2 – 0,3	4,96bB	5,76aA	5,55aA	5,63aA	4,94bB	5,30aA	5,22aA	5,19aA	4,90bB	5,41aA	5,61aA	5,28aA
0,3 – 0,4	4,72bB	5,81aA	5,61aA	5,66aA	4,87bB	5,18aA	5,21aA	5,28aA	4,89bB	5,14aB	5,34aA	5,36aA

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.2** - Valores médios de potássio (cmolc.dm<sup>-3</sup>) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	0,24aC	0,32aB	0,49aA	0,56aA	0,21aC	0,29aC	0,22aC	0,24aC	0,20aC	0,26aC	0,28aC	0,43aA
0,1 – 0,2	0,20bB	0,19bB	0,36bA	0,32bA	0,17cC	0,17bC	0,19bB	0,11bC	0,16cC	0,24bB	0,21bB	0,27bB
0,2 – 0,3	0,19bcB	0,16cC	0,16cC	0,23cA	0,18bB	0,16bcC	0,16bcC	0,08cD	0,18bB	0,13cC	0,15cC	0,20bcB
0,3 – 0,4	0,18cA	0,15cB	0,15cB	0,22cA	0,19bA	0,14cB	0,12cC	0,07cD	0,17bcB	0,14cB	0,14cB	0,17cB

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.3** - Valores médios de cálcio ( $\text{cmolc.dm}^{-3}$ ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	6,09aA	5,66aB	6,28aA	5,52aB	5,53aB	5,69aB	5,55aB	5,42aB	5,28aB	6,65aA	6,63aA	6,69aA
0,1 – 0,2	5,96bcA	4,58bB	5,45bA	5,14bA	5,01bA	4,86bB	5,12bA	4,50bB	5,09aA	5,64bA	4,11bB	5,81bA
0,2 – 0,3	5,23bcA	4,48bB	4,53cB	4,49bcB	4,71cB	3,41cC	3,47cC	3,46cC	5,00aA	5,32bA	3,11c	4,76cB
0,3 – 0,4	4,88cB	3,59cC	4,07cB	3,21cC	4,35cB	3,20cC	3,20cC	3,20cC	4,87bB	5,31bA	3,07cC	3,07dC

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.4** - Valores médios de magnésio ( $\text{cmolc.dm}^{-3}$ ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	1,72aB	1,96aB	2,26aA	2,69aA	1,52abC	1,64aC	1,81aB	1,73aB	1,67aC	2,29aA	2,32aA	2,68aA
0,1 – 0,2	1,67aC	1,76bB	2,01aA	2,65bA	1,65aC	1,48bC	1,82aB	1,81bB	1,56bC	2,15abA	2,16abA	2,52bA
0,2 – 0,3	1,52bC	1,47cC	1,54bC	1,16cC	1,56abC	1,40bC	1,56bC	1,93cA	1,46cC	2,09abA	2,11abA	1,75cB
0,3 – 0,4	1,35cC	1,36cC	1,33cC	1,39cC	1,43bC	1,17cC	1,52bC	1,83cB	1,49cC	2,00bA	2,01bA	1,74dB

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.5** - Valores médios de alumínio ( $\text{cmolc.dm}^{-3}$ ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	0,19cA	0,16aC	0,17aC	0,19aA	0,18aB	0,17aC	0,19aA	0,18aB	0,13cD	0,19aA	0,20aA	0,21aA
0,1 – 0,2	0,23bA	0,15aC	0,18aB	0,15bC	0,16bC	0,15bC	0,13bC	0,14bC	0,15bC	0,18aB	0,19aB	0,17cB
0,2 – 0,3	0,31aA	0,13bC	0,17aB	0,16bC	0,18aB	0,14bC	0,12cC	0,12cC	0,18aB	0,17bB	0,17bB	0,18bB
0,3 – 0,4	0,37aA	0,12bC	0,14bC	0,13cC	0,12cC	0,12cC	0,14bC	0,13bC	0,17aB	0,19aB	0,16cB	0,17cB

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.6** - Valores médios de fósforo ( $\text{mg.dm}^{-3}$ ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	8,87aD	9,56aD	27,50aB	32,22aA	4,35aD	6,37aD	7,45aD	10,01aD	8,70bD	14,32aC	15,51aC	18,11aC
0,1 – 0,2	7,51bC	8,85bC	28,25aA	15,87bB	4,11aD	2,25bD	3,01bD	6,07bC	7,85bC	2,72bD	4,02bD	12,22b
0,2 – 0,3	4,80cC	2,60cBC	10,23bA	4,15cC	3,72bC	1,65cC	2,05cC	3,45cC	7,30bB	2,11bC	3,01cC	2,95cC
0,3 – 0,4	3,62cB	2,57cC	4,12cA	3,07cB	3,32bB	1,30cC	2,00cC	2,75dC	4,57cA	1,85cC	1,05dC	2,02dC

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.7** - Valores médios de Carbono Orgânico Total – COT ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	20,44aC	31,92aB	32,17aB	40,69aA	13,32aD	14,21aE	12,26aE	17,31aD	21,34aC	27,80aC	29,62aB	36,88B
0,1 – 0,2	19,83aB	20,78bB	22,70bA	25,65bA	13,21aC	10,50bC	10,18bC	10,80bC	20,36aB	18,30bB	19,40bB	25,27A
0,2 – 0,3	19,24aA	15,12cB	17,14cB	16,16cB	10,45bC	8,62cC	8,86bC	8,93bC	10,21bC	13,70cC	14,60cC	17,15B
0,3 – 0,4	17,58bA	13,10dB	11,56dB	13,91cB	8,76cC	7,50cC	8,75bC	8,83bC	6,32cC	8,92dC	9,39dC	13,74B

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.8** - Valores médios de densidade (Ds) ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	1,54aA	1,48bB	1,57aA	1,41bB	1,47bB	1,46bB	1,43bB	1,38cC	1,66aA	1,43bB	1,39cC	1,29cC
0,1 – 0,2	1,50aA	1,56aA	1,52aA	1,39cC	1,60aA	1,56aA	1,50aA	1,46bB	1,55bA	1,53aA	1,49bB	1,39bC
0,2 – 0,3	1,47bB	1,54aA	1,51aA	1,46aB	1,56aA	1,55aA	1,52aA	1,51aA	1,51bA	1,42bB	1,50aA	1,41bB
0,3 – 0,4	1,35cC	1,53aA	1,39bC	1,48aB	1,47bB	1,54aA	1,51aA	1,49aB	1,43cB	1,51aA	1,52aA	1,49aB

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.9** - Valores médios da microporosidade (Mip) (%) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	52,45bA	52,26bA	54,40aA	53,22bA	43,40cB	43,40cB	48,20bB	43,77cB	45,47cB	45,47cB	47,59cB	48,12cB
0,1 – 0,2	50,30cB	50,30cB	50,80B	55,57aA	48,54bB	48,50bB	49,01aB	44,17bC	47,41bB	47,40Bb	49,34aB	49,40bB
0,2 – 0,3	55,10aA	55,10aA	51,12B	53,21bB	48,87bC	48,87bC	48,21bC	45,60bC	48,40bC	48,40bC	48,13bC	50,15bB
0,3 – 0,4	54,75aA	54,75aA	51,22B	53,15bA	51,45aB	51,45aB	49,22aC	47,75aC	52,20cB	52,20aB	49,11aC	51,50aB

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.10** - Valores médios da macroporosidade (Map) (%) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	15,82bB	17,23aB	18,50aB	20,01aA	11,23bC	12,55aC	13,10aC	11,75aC	9,72aD	17,65aB	19,50aA	17,50aB
0,1 – 0,2	14,72bB	9,28bC	9,12bC	17,20bA	12,23aB	8,27bC	12,12bB	7,37bC	9,54aC	8,97bC	9,32bC	8,90b
0,2 – 0,3	7,23cC	8,67bB	8,55bB	10,60cA	8,54cB	5,47cD	7,87cC	5,32bcD	8,65bcB	6,81bcC	7,81cC	6,85c
0,3 – 0,4	6,01cC	7,81bB	7,62cB	9,77cA	7,02cB	3,55cE	5,42cD	3,42cE	6,23cC	5,27cD	6,42cC	6,35cC

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.11** - Valores médios referentes à produtividade da soja na área em estudo, sob diferentes tratamentos – período de 2016 a 2019 – valores em kg/ha.

Atributos	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
Ano	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
Produção	-	3.669b	4.239a	4.440a	-	4.145a	4.096a	3.880b	-	3.546b	4.287a	4.425a

\* Em cada linha, as médias seguidas pela mesma letra em minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O Tratamento Completo (TC) formado de Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco apresentou valor correspondente a 0,21  $\text{cmolc.dm}^{-3}$  alumínio (Al) em 2019 no perfil de 0,0 a 0,1 m e de 0,13  $\text{cmolc.dm}^{-3}$  no ano de 2016.

Em relação aos valores do Fósforo (P), contidos na tabela 4.6, verifica-se que os dados avaliados mostram diferenças entre si ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey, pois em 2016 na área do tratamento AP, apresentou índices de P de 8,87  $\text{mg.dm}^{-3}$  e 4,35 e 8,70  $\text{mg.dm}^{-3}$  para as áreas com tratamento de Trigo e o Tratamento Completo. A partir dos anos seguintes, observou-se um incremento nos níveis de Fósforo (P) indo a valores de 32,22  $\text{mg.dm}^{-3}$  no tratamento com Aveia Preta na profundidade de até 0,1 m.

Destaca-se que a mobilidade do fósforo no solo é pequena, porém, quantidades que excedem à demanda da cultura, podem causar sua movimentação no perfil do solo (BASSO et al., 2005; CHIODEROLI et al. 2012).

Pereira e Thomaz (2015), analisando atributos químicos em diferentes sistemas de uso e manejo no município de Reserva – PR, encontraram teores de fósforo com valores de 10,33  $\text{mg.dm}^{-3}$  para as profundidades de até 0,3 m. Dados esses que coincidem os observados neste trabalho, pois no perfil de 0,1-0,2 m, em 2018, no tratamento com aveia preta, observa-se valores superiores a 28,25  $\text{mg.dm}^{-3}$ .

Esse mesmo comportamento pode ser observado no perfil de 0,2-0,3 m no mesmo ano com o mesmo tratamento, onde os valores do fósforo foram de 10,23  $\text{mg.dm}^{-3}$ . Deve-se destacar que apenas neste tratamento e nesse ano a mobilidade do fósforo foi verificada até 0,3 m. Nos outros tratamentos e em todos os anos, verifica-se uma baixa mobilidade do fósforo em perfis de 0,2 a 0,4 m.

Loss et al. (2014), destacam que é comum em Sistema Plantio Direto, ocorrer baixa mobilidade do fósforo e o seu acúmulo nos perfis mais superficiais, devido o não revolvimento do solo o que significa que seu contato com os coloides organo-minerais é reduzido, o que provoca diminuição das reações de adsorção e acompanha o aumento da matéria orgânica (MO) superficial, cuja mineralização, lenta e gradual, proporciona o surgimento de formas orgânicas de P menos suscetíveis as reações de adsorção.

Assim, esse acúmulo de fósforo nos perfis mais superficiais, sobretudo nos primeiros 0,2 m, se justifica em razão da aplicação anual de fertilizantes fosfatados,

que libera fósforo orgânico por meio da decomposição dos resíduos vegetais deixados na superfície, e também por causa da menor intensidade de fixação de fósforo, propiciada pelo menor contato desse nutriente com os constituintes inorgânicos passíveis de alta fixação do fósforo (SOUSA; LOBATO, 2002; KLEIN; AGNE, 2013).

Para o teor de carbono orgânico total do solo (COT), a tabela 4.7 apresenta os valores de acordo com a profundidade estudada e as plantas de cobertura. Destaca-se que houve interação entre as plantas de cobertura e a profundidade estudada.

Os valores da tabela 4.7 demonstram que no tratamento AP (Aveia Preta) os valores 20,44 g.Kg<sup>-1</sup> em 2016 antes da implantação dos experimentos, para 40,69 g.Kg<sup>-1</sup> em 2019. Esse mesmo comportamento foi observado nos outros dois tratamentos, apresentando diferenças estatísticas entre eles ao nível de 5% pelo Teste de Tukey. Em relação as diferentes profundidades de estudos, não mostrou esse mesmo comportamento, onde os valores de COT, apresentados no decorrer dos anos foram semelhantes aos anos iniciais, mostrando que essas alterações em relação ao COT, foi na camada de 0,0 a 0,2 m.

Em experimentos semelhantes, Loss et al., (2015), analisaram o COT em tratamentos com vegetação espontânea, Aveia, Centeio, Nabo, Aveia + Nabo, Centeio + Nabo, sistema de plantio convencional e Mata Nativa, não encontrando diferença estatística entre os tratamentos com plantas de cobertura simples e consorciadas, porém, o sistema de plantio convencional apresentou os menores teores de COT, evidenciado assim, a importância da presença de cobertura no solo.

Também Moreira (2016), avaliando o teor de carbono orgânico do solo na profundidade de 0,0-0,2 m, em campo experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), cidade de Cascavel – PR observou que os tratamentos com plantas de cobertura formados por Aveia Preta, Ervilhaca Forrageira e Mucuna Preta apresentaram-se estatisticamente iguais. Estes dados convergem com os dados encontrados, onde se observou que o tratamento com Aveia e Aveia Preta, foi superior ao Trigo e o tratamento completo, mostrando-se significativas as diferenças. O melhor tratamento foi observado com a aveia preta (AP) em 2019 com 40,69 g kg<sup>-1</sup>, seguidos pelo tratamento completo (TC) com 36,88 g kg<sup>-1</sup> e por último a cobertura com trigo (T) com 17,31 g kg<sup>-1</sup> na profundidade de até 0,1 m.

Considerando os dados obtidos neste estudo, observa-se que o comportamento químico do solo é muito complexo. Por um lado, a ciclagem e reciclagem de elementos se mostra mais dinâmica quanto maior for a diversidade das plantas. Por outro lado, a comparação com a áreas sem cobertura vegetal e o tratamento com o consorcio de plantas permite supor que a presença de diversidade de plantas pode afetar a necessidade de cada uma destas plantas, quando isoladas. Além disso é importante destacar que a cobertura do solo é fundamental para a manutenção do equilíbrio e os níveis dos nutrientes do solo.

#### **4.3.2 Características físicas**

Analisando a tabela 4.8, que apresenta os valores médios da densidade do solo (Ds) nas profundidades deste estudo que foi de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m. Os valores de densidades do solo da área antes do experimento em 2016 apresentaram-se abaixo dos demais, com valores de  $1,54 \text{ g.cm}^{-3}$  em 2016 para  $1,41 \text{ g.cm}^{-3}$  em 2019 no perfil de 0,0-0,1 m, no tratamento AP, com o tratamento com Trigo verificou-se o mesmo comportamento onde a densidade caiu de  $1,47 \text{ g.cm}^{-3}$  em 2016, para  $1,38 \text{ g.cm}^{-3}$  em 2019. A maior variação ocorreu na área com cobertura usando TC, pois em 2016 a densidade era de  $1,66 \text{ g.cm}^{-3}$ , caindo para  $1,29 \text{ g.cm}^{-3}$  em 2019. Todas essas modificações que ocorreram com a Densidade se mostraram significativas ao nível de 5% pelo Teste de Tukey. Observa-se porém, que nos perfis mais profundos as variações não foram significativas ao longo dos anos nos três tratamentos avaliados. Este comportamento pode estar relacionado à não movimentação do solo e o uso de cobertura vegetal. E concentração de raízes.

Os dados obtidos neste trabalho, não se assemelham com os de Scariot et al. (2009), que em estudo de avaliação da qualidade física de um Latossolo no Sudoeste do Paraná, destacaram que os valores de densidade do solo da área de uma mata nativa foram menores na superfície do solo e não se diferenciaram estaticamente nas demais profundidades, enquanto em área com Sistema Plantio Direto com plantas de cobertura a densidade cresceu até a camada de 0,0-0,15 a 0,0-0,2 m.

Deve-se salientar que nessas condições, verificou-se que os tratamentos não se assemelharam com os dados obtidos na área em 2016, podendo se observar

uma melhoria na densidade do solo para esta camada de solo, comparado aos tratamentos estudados.

Os valores de Microporosidade (Mip) e Macroporosidade (Map), nas profundidades deste estudo que foi de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m, encontram-se na tabela 4.9 e 4.10 onde observa-se que em relação aos fatores apresentados, os dados obtidos, mostram diferenças estatísticas entre si ao nível de 5% de significância, pelo Teste de Tukey.

Nos dados relativos a microporosidade, observa-se variações de dados de no perfil de 0,0-0,1 m, onde verifica-se valores de 52,45 % em 2016 na área onde implantou o tratamento com Aveia Preta a 48,12 % em 2019, na área onde a cobertura foi realizada com o tratamento completo. Observa-se assim que a Aveia Preta se mostrou mais eficiente na melhoria das características associadas a microporosidade. Essas variações se mostram significativas ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey. Nos perfis mais profundos, esse comportamento não foi observado, o que sugere que as alterações ocorridas com a microporosidade nos perfis superiores, foram reflexos dos tratamentos realizados e seus efeitos na macroporosidade, alterando suas proporcionalidades. A redução porcentual da microporosidade pode ser devida ao aumento porcentual da macroporosidade.

Os dados associados a macroporosidade, apresentaram valores de 15,82, 11,23 e 9,72 % em 2016, antes dos experimentos para a área com Aveia Preta, Trigo e Tratamento Completo, respectivamente. Observa-se que com a implantação dos sistemas de cobertura vegetal ocorreu um incremento na macroporosidade das três áreas, chegando a valores de 20,02 % na área com Aveia Preta, 11,75 na área com Trigo e 17,50 nas áreas onde se fez a cobertura usando o Tratamento Completo. O maior incremento se deu na área onde foi instalado o tratamento completo, onde a variação chegou próximos aos 80%. Esses dados quando comparados mostram diferenças significativas entre o ano de 2016 a 2019, aumentando com isso de forma significativa a porosidade do solo.

Para Andrade e Stone (2009), 10% de macroporos é a porcentagem limite crítica restritiva para o desenvolvimento das culturas. Souza, Carneiro e Paulino (2005), também afirmam que a redução nos macroporos, tem grande efeito sobre o desenvolvimento radicular das plantas por imprimir ao solo condições de baixa aeração.

Os valores de macroporosidade demonstrados na tabela 4.10 para a cultura da Aveia Preta, convergem com os citados Sanchez (2012), que em estudo com plantas de cobertura, no município de Guarapuava, verificou que após o cultivo de Aveia e Azevém, estes, apresentaram para a profundidade de 0,1-0,2 m, 17% e 16% de macroporosidade e 50% e 52% de microporosidade respectivamente, sendo estes diferentes significativamente em relação ao percentual de macroporos apresentado pelos outros tratamentos estudados, demonstrando que estas culturas de inverno atuaram promovendo alterações neste atributo físico do solo.

Analisando a distribuição poral nas diferentes profundidades, constata-se que o tratamento com consórcio de plantas possui uma proporção de macro e microporos semelhante ao solo sem tratamento de 2016, antes de sua implantação, demonstrando que este tratamento exerce um efeito benéfico neste parâmetro, o que pode ser atribuído a preservação da estrutura do solo, apesar deste aspecto não ter sido avaliado neste trabalho.

#### **4.3.3 Produtividade da soja**

Em relação a produtividade da soja, na área em estudos, contidos na tabela 4.11, verificou-se que na safra 2016 / 2017 a produtividade na área com cobertura de Aveia Preta foi de 3.669 kg.ha<sup>-1</sup>, com cobertura de Trigo foi de 4.145 kg.ha<sup>-1</sup> e na área com cobertura com Tratamento Completo foi de 3.546 kg.ha<sup>-1</sup>. Percebe-se assim, que a maior produtividade na safra 2016 / 2017 foi na área com cobertura de trigo.

Na safra 2017 / 2018 observa-se que a produtividade na área com cobertura de Aveia Preta foi de 4.239 kg.ha<sup>-1</sup>, com cobertura de Trigo foi de 4.096 kg.ha<sup>-1</sup> e na área com cobertura com Tratamento Completo foi de 4.287 kg.ha<sup>-1</sup>. Observa-se que a maior produtividade na safra 2017 / 2018 foi na área com cobertura utilizando o Tratamento Completo.

Em relação a safra 2018 / 2019 a produtividade na área com cobertura de Aveia Preta foi de 4.440 kg.ha<sup>-1</sup>, com cobertura de Trigo foi de 3.880 kg.ha<sup>-1</sup> e na área com cobertura com Tratamento Completo foi de 4.425 kg.ha<sup>-1</sup>. Com esses resultados verifica-se que a maior produtividade na safra 2018 / 2019 foi na área com cobertura utilizando a Aveia Preta.

Assim, observa-se que as plantas de cobertura no período avaliado, embora observado diferenças na produtividade nas três safras, os valores quando analisados não apresentaram diferenças estatísticas em relação ao rendimento da soja. Embora, não apresente diferenças estatísticas significativas, a soja cultivada sobre plantas de cobertura apresentou um rendimento superior, de aproximadamente 18,5%, na área com cobertura de Aveia Preta; 5,0% no solo com cobertura de Trigo e 24,5% na área com Tratamento Completo.

O acréscimo sucessivo de matéria orgânica, por meio da cobertura com plantas de inverno, favorece sua agregação, mantendo uma estrutura estável e adequada para que haja um bom desenvolvimento das culturas (CUNHA et al. (2011). Kitamura et al. (2008) e Chioderoli et al. (2012), testaram diferentes plantas de cobertura em solo do cerrado e obtiveram resultados que comprovaram as melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas (macrofauna) do solo após a utilização dessas plantas.

Em trabalho semelhante, Nicoloso et al. (2008) atribuíram à maior cobertura do solo, obtida com o uso de plantas de cobertura no consórcio aveia mais nabo forrageiro, os maiores rendimentos de soja em relação à testemunha; resultados que corroboram com os encontrados neste trabalho. Entretanto, Debiasi et al. (2010) não verificaram diferenças de rendimento da soja em sucessão às plantas de cobertura quando comparado ao sistema de pousio.

#### **4.4 CONCLUSÕES**

O desenvolvimento do trabalho permite concluir que a tecnologia do uso de plantas de cobertura de inverno proporcionou melhorias em atributos físicos, químicos do solo em comparação tendo como parâmetro os dados obtidos em 2016, utilizados como referência.

Com relação às características químicas do solo, verificou-se que para os parâmetros de Potássio, Magnésio e Carbono Orgânico Total, o Tratamento com Aveia Preta e o Tratamento Completo (TC) formado com Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco apresentaram valores superiores aos obtidos com o Trigo.

Já para as características físicas os tratamentos com a Aveia Preta (AP) e o Tratamento Completo (TC) formado com Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca

+ Centeio + Tremoço Branco apresentaram valores de densidade do solo e distribuição poral superiores ao encontrados na área em 2016, antes dos tratamentos, sendo que nos perfil de 0,0-0,1 m os valores foram superiores.

A macroporosidade apresentou maiores valores nos tratamentos Aveia Preta e Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco.

Com relação a produtividade da soja na área em estudos, não se constatou um efeito dos tratamentos, no período avaliado, variando nas safras sucessivas, sendo necessário avaliar os efeitos por um período maior. A maior produtividade em 2017, se deu na área com cobertura de Trigo com  $4.145 \text{ kg.ha}^{-1}$ , seguido da área com Aveia Preta com  $4.280 \text{ kg.ha}^{-1}$  e  $4.425 \text{ kg.ha}^{-1}$  na área cuja cobertura de inverno foi o Tratamento Completo (TC). A partir desses dados ocorreu um crescimento na produtividade em valores que chegam a 24,5%.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R. et al. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, v.170, p.53-65, 2017.
- ANDRADE, R. S; STONE, L.F. Índices como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 382–388, 2009.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. DA S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.
- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.do N. **Experimentação agrícola**. 4.ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.
- BARBOSA, F. A.; COSTA, P. M.; ANDRADE, V. J. de; MAIA FILHO, G. H. B.; MACIEL, I. C. de F.; LOPES, S. Q. Avaliação econômica e produtiva dos sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 151-165, 2015.
- BASSO, C. J; CERETTA, C. A; VIEIRA, F. C. B; HERBES, M. G; MORREIRA, I. C. L; BERWANGER, A. L. Líquido de suínos: perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1305-1312, 2005.
- BORGES WLB et al. Plantas de cobertura para o noroeste do estado de São Paulo. **Ciência Rural**, v.45: 799-805, 2015.
- CALEGARI, A. Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema de plantio direto. **Informações Agronômicas**, v.122, p.18-21, 2008.

- CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. In: Workshop nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária, 1., 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. p. 141-153.
- CARVALHO, I. Q. et al. Espécies de cobertura de inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema plantio direto. **Scientia Agraria**, v.8, p.179-184, 2007.
- CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. D.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E.; SILVA, J. O. CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.
- CHIODEROLI, C. A.; SILVA, R. P.; NORONHA, R. H. F.; CASSIA, M. T.; SANTOS, E. P. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, v.71, p.112-121, 2012.
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26, n. 4, p 1055-1064, 2002.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **R. Bras. Ci. Solo**. v.35, p.589-602, 2011.
- 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. **P. Agrop. Bras.** v.45, p.603-612, 2010.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part 1. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.
- DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1714-1723, 2012.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.
- FAGERIA, N.K et al. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p. 2733-2757, 2005.
- FORTE, T.S et al. Coberturas vegetais do solo e manejo de cultivo e suas contribuições para as culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.13, p.1-10, 2018.
- HADAS, A. et al. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p.255-266, 2004.

KITAMURA, A.E.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; GONZALEZ, A.P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**. v.32, p.405-416, 2008.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente! **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1713–1721, 2013.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. O.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; 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**. v. 39, n. 4, p.1212-1224, 2015.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981.

MINEROPAR. **Atlas geomorfológicos do Estado do Paraná**. Curitiba. 2006.

MOREIRA, M. C. L. **Biological quality indicators of a clayey Oxisol under different management systems**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C. & BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **R. Bras. Ci. Solo**. v.32, p.1735-1742, 2008.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992.

PEREIRA, A. A; THOMAZ, E. L. Atributos químicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo no município de reserva – PR. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 55, p. 186-194, 2015.

REBELLO, C.; TURETTA A. P. D. **Ferramentas para avaliação do potencial à prestação de serviços ambientais pelo Sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 6p. (Comunicado técnico). 2017.

REDIN, M. et al. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixture decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v.78, p.65-75, 2014.

REEVES D. W. Cover crops and rotations. In: HATFIELD JL & STEWARD BA (Eds.). Crops Residue Management. **Advances in Soil Science**. Boca Raton: Lewis Publisher. p. 125-172, 1994.

SA, J. C. M. Adubação fosfatada no Sistema Plantio Direto. In YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 201-222.

SÁ, J. C. M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para a produção de grãos no sistema plantio direto. In: Seminário sobre o

sistema plantio direto na UFV, 1., Viçosa, 1998. **Resumo das palestras**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.19-61.

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

SANTOS, H.G.; ALMEIDA, J.A.; OLIVEIRA, J.B.; LUBRERAS, J.F.; ANJOS, L.H.C.; COELHO, M.R.; JACOMINE, P.K.T.; CUNHA, T.J.F; OLIVEIRA, V. A. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SCARIOT, J. J.; BRAIDA, J. A.; GASPARETTO, E. C.; CARNEIRO, M.; SCARIOT, A. V. Compressibilidade do Solo em um Latossolo Vermelho Sob Lavoura Anual e Mata Nativa. **Synergismus scientifica**. v. 4, n.1, p. 144-153. 2009.

SILVA, F; AZEVEDO, C. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**. v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

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

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.

SSSA - Soil Science Society of America. **Statement on soil quality**. Madison: Agronomy News, 1995. 200p.

STEINER, F.; MENDONÇA, C.; PIVETTA, L.; CASTOLDI, G. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and Technology**. v. 4, n.1, p. 1-28, 2011.

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

WRB/FAO - Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 25 de maio de 2019.

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

## 5 ARTIGO 2 (Submetido – ANEXO 2)

### PERFIL MICROBIOLÓGICO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SOLO COM SISTEMAS DE MANEJO COM PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO NO SUDOESTE DO PARANÁ - BRASIL

*Microbiological Profile of Soil Management Systems with Winter Cover Crops in the Southwest of Paraná - Brazil*

#### RESUMO

As práticas de manejo dos solos agrícolas devem preservar suas características naturais que afetam a produtividade e suas funções no ecossistema. Dentre as alternativas de manejo, destaca-se a adoção de culturas de cobertura do solo nos períodos entre safra, o que favorece a cobertura permanente do solo e a rotação de culturas. Visando melhor compreender os efeitos imediatos desta prática, para melhor orientar outras pesquisas complementares e, eventualmente, os produtores, este estudo objetivou avaliar o efeito do uso de plantas de cobertura de inverno em cultivo singular e consorciado, sobre parâmetros microbiológicos do solo nas camadas de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m de profundidade, em uma área experimental no município de São Jorge do Oeste – Paraná. O experimento foi conduzido nos meses de maio a outubro de 2016 a 2019 em um Latossolo Vermelho Eutroférico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial, com cinco repetições e parcelas com área de 150 m<sup>2</sup>. Os tratamentos utilizados foram Aveia Preta (AP), Tratamento Completo (TC) formado pelo consórcio de Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco e uma área de Trigo (T). Foram avaliados os efeitos no carbono da biomassa microbiana (C-BMS), na respiração basal do solo (RBS), no quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e no quociente microbiano do solo qMic, como forma de avaliar a fertilidade do solo. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O uso de plantas de cobertura de inverno proporcionou uma melhoria nos parâmetros microbiológicos do solo, com resultados semelhantes. Entre as plantas de cobertura de inverno utilizadas neste trabalho os tratamentos que utilizou o consórcio denominado Tratamento Completo (TC) e a área com Aveia Preta, apresentaram os melhores resultados quando comparados com a área em 2016, antes da instalação dos experimentos. Em relação a produtividade da soja na área em estudos, pode-se concluir que maior produtividade em 2017, se deu na área com cobertura de Trigo com 4.145 kg.ha<sup>-1</sup>, seguido da área com Aveia Preta com 4.280 kg.ha<sup>-1</sup> e 4.425 kg.ha<sup>-1</sup> na área cuja cobertura de inverno foi o Tratamento Completo (TC). A partir desses dados ocorreu um crescimento na produtividade em valores que chegam a 24,5%. Com os dados obtidos pode-se recomendar o uso de plantas de cobertura de inverno para a manutenção e melhoria dos parâmetros microbiológicos do solo.

**Palavras-chave:** Sistemas agrícolas, sustentabilidade, biomassa microbiana; práticas de manejo.

## ABSTRACT

Agricultural soil management practices must preserve the soil's natural characteristics that affect productivity and its functions in the ecosystem. Among these management alternatives, the adoption of soil cover crops in the periods between harvest stands out, which favors permanent soil cover and crop rotation. In order to better understand the immediate effects of this practice and to provide better guidance to other complementary research and, eventually, the producers, this study sought to evaluate the effect of the use of winter cover plants in single or intercrop cultivation regarding the microbiological parameters of the soil layers at depths of 0.0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3 and 0.3-0.4 m, using an experimental area in the municipality of São Jorge do Oeste - Paraná. The experiment was conducted between 2016 and 2019 on a Eutroferric Red Latosol. The experimental design used was that of random blocks, in a factorial scheme, with five repetitions and plots with an area of 150 m<sup>2</sup>. The treatments used were Black Oats (BO), Complete Treatment (CT) formed by the intercropping of Black Oats + Forage Turnip + Vetch + Rye + White Lupine and a Wheat area (W). We evaluated the effects on microbial biomass carbon (MBC), Soil Basal Respiration (RBS), Metabolic Quotient (qCO<sub>2</sub>) and Soil Microbial Quotient qMic, as a way of evaluating soil fertility. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Tukey Test, at 5% probability. The use of winter cover plants provided an improvement in the microbiological parameters of the soil, with similar results. Among the winter cover plants used in this work, the treatments that used intercropping called Complete Treatment (CT) and the area with Black Oats presented better results when compared to the area in 2016, before the installation of the experiments. Regarding the productivity of soybeans in the area under study, it can be concluded that a higher productivity was achieved in 2017 in the area with Wheat cover with 4,145 kg.ha<sup>-1</sup>, followed by the area with Black Oats with 4,280 kg.ha<sup>-1</sup> and 4,425 kg.ha<sup>-1</sup> in the area whose winter cover was the Complete Treatment (CT). Based on these data, there was a growth in productivity reaching 24.5%. Through the obtained data, it is possible to recommend the use of winter cover plants for the maintenance and improvement of the soil's microbiological parameters.

**Keywords:** Agricultural systems, sustainability, microbial biomass; management practices.

## 5.1 INTRODUÇÃO

O manejo agrícola é sustentável somente quando a qualidade dos recursos solo, ar e água é mantida ou melhorada, e, no caso do solo, a qualidade depende da manutenção e melhoria de seus atributos físicos, químicos e biológicos, bem como de sua contínua capacidade de produzir alimentos e fibras (DORAN; PARKIN 1994; LIU et al., 2014).

As recomendações de manejo direcionam para práticas que favoreçam a biologia do solo, pois os organismos são os responsáveis pelas grandes transformações no solo, que o habilitam a exercer suas funções na natureza. Técnicas de manejo como cobertura verde, que consiste no cultivo e corte de plantas em plena floração, sem incorporação da biomassa no solo, mantendo-o coberto, tem como finalidade aumentar, preservar e/ou restaurar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas (WUTKE et al. 2014; BRITO et al. 2017).

Essa cobertura do solo pode ser realizada com espécies adaptadas aos solos e ao clima, promovendo um incremento na qualidade desses atributos propiciando condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento organismos que habitam o solo. No solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. Assim, qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas (BARRETO et al. 2008).

Os microrganismos do solo atuam nos processos de decomposição da matéria orgânica, participando diretamente no ciclo biogeoquímico dos nutrientes e, conseqüentemente, mediando a sua disponibilidade no solo. Assim, a biomassa microbiana total do solo funciona como importante reservatório de vários nutrientes das plantas (BRITO et al. 2017), pois pertence ao componente lábil da matéria orgânica do solo, e possui atividade influenciada pelas condições bióticas e abióticas, o que permite que o seu acompanhamento reflita possíveis modificações no solo, podendo ser considerada como uma boa indicadora das alterações resultantes do manejo do solo.

Há relatos, inclusive, de que essas mudanças nas propriedades microbiológicas causadas pelo preparo do solo (BRITO et al. 2017), cobertura verde (CARNEIRO et al. 2009) e sucessão de culturas (SILVA et al. 2016), podem ser

detectadas, além da mudança nos teores de C e N total do solo e a biomassa microbiana (BM).

O interesse por indicadores do funcionamento do sistema solo, baseados na atividade microbiana tem sido incrementado nos últimos tempos (ARAGÃO et al. 2012). A biomassa microbiana é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo, podendo ter influência tanto na transformação da matéria orgânica, quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais (JENKINSON; LADD, 1981; CARNEIRO et al., 2009). Além disso, vem sendo utilizada como indicador de alterações e de qualidade do solo, uma vez que está associada às funções ecológicas do ambiente e são capazes de refletir rapidamente as mudanças de uso do solo (JACKSON et al. 2003), pois qualquer estresse no sistema afeta a densidade, a diversidade e a atividade da microbiota (MATOSO et al. 2012). Portanto, a avaliação da biomassa microbiana pode ajudar a orientar os produtores a manejarem seus solos de forma mais produtiva e sustentável (LIU et al., 2014).

Conhecer o comportamento de plantas utilizadas como cobertura de inverno em solos da região sudoeste do Paraná, torna-se importante, bem como os reflexos desses sobre a qualidade do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações na atividade microbiana e a sua produtividade, a partir das estimativas do carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e quociente microbiano do solo ( $qMIC$ ) em um solo submetido a cobertura vegetal de inverno em uma propriedade no município de São Jorge do Oeste – Paraná.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos anos de 2016 a 2019, sempre no período de inverno. A área do experimento está localizada no Município de São Jorge do Oeste, Sudoeste do Paraná, nas coordenadas geográficas 25°44'73" S e 52°53'57" E, 461 metros de altitude.

O clima da região, de acordo com a classificação de Koeppen, é caracterizado como Cfa subtropical úmido mesotérmico com verão quente, geadas poucos frequentes, apresentando temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C. A umidade relativa

do ar apresenta-se variando em média de 64 a 74%, e precipitação média anual de 1.800 a 2.200 mm, distribuída de maneira uniforme durante o ano (MAACK, 1981).

A área do experimento encontra-se no terceiro planalto paranaense, formado por rochas basálticas da Formação Serra Geral e o relevo apresenta-se suavemente ondulado a ondulado (MINEROPAR, 2006). O solo de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (SANTOS et al. 2013; WRB/FAO, 2019).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema fatorial, com cinco repetições, sendo três tratamentos e uma profundidade de solo analisadas. Os tratamentos foram constituídos por plantas de coberturas de inverno. As camadas de solo avaliadas foram nas profundidades de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m, sendo que a disposição e arranjo dos tratamentos experimentais foram elaborados de acordo com as recomendações de Banzatto e Kronka (2006).

Para implantação e condução das plantas de cobertura, vinte dias antes da semeadura realizou-se o controle químico de plantas daninhas através da aplicação de herbicida glifosato em toda a área experimental. As plantas de cobertura foram semeadas no início do mês de maio de cada ano. A densidade de semeadura foi de 60 Kg.ha<sup>-1</sup> para a Aveia Preta (AP), Tratamento Completo (TC), formado por Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco 40 + 5 + 15 + 15 + 25 Kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente 120 Kg.ha<sup>-1</sup> para o Trigo Mourisco, também chamado de trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench), neste trabalho chamado apenas de Trigo (T).

Para a incorporação das sementes no solo após sua semeadura a lanço, foi utilizado um trator agrícola e uma grade niveladora leve e fechada. As plantas de cobertura germinaram uniformemente, desenvolvendo-se naturalmente durante 120 dias de ciclo vegetativo e pleno florescimento. Após esse período, de maior concentração de nutrientes nos tecidos vegetais das plantas de cobertura, elas foram dessecadas com herbicida glifosato.

Após 180 dias de implantação e condução do experimento foram efetuadas coletas de solo para avaliação das características biológicas, sendo que cada análise foi realizada de acordo com o quadro 5.1.

**Quadro 5.1** – Características biológicas analisadas e metodologias utilizadas

Parâmetros	Método utilizado
Carbono da Biomassa Microbiana	Método de fumigação-extração (VANCE et al. 1987).
Respiração Basal	Método da quantificação de CO <sub>2</sub> liberado no processo de respiração microbiana (ALEF; NANNIPIERI, 1995).
Quociente Metabólico	Método da relação do carbono da respiração basal (RB) pelo carbono da biomassa microbiana (CBM) (ANDERSON; DOMOSCH, 1993).
Quociente Microbiano	Método da relação do carbono da biomassa microbiana (CMB) pelo carbono da orgânico total (COT), (ANDERSON; DOMOSCH, 1993).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa de Assistência Estatística - ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2016). Os requisitos necessários para a análise de variância (ANOVA) foram verificados.

Quando confirmado o valor P estaticamente significativo, o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) foi utilizado na comparação de médias, considerando um delineamento em blocos ao acaso fatorial com cinco repetições, três tratamentos e uma profundidade.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 5.1 a 5.5 apresentam os resultados da avaliação dos atributos biológicos das profundidades de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m do Latossolo Vermelho Eutroférico cultivado com soja e submetido a diferentes plantas de cobertura no período de 2016 a 2019.

Em análise dos dados contidos na tabela 5.1, observa-se que no ano de 2016, antes da implantação do experimento, verificou-se que CBM – Carbono da Biomassa Microbiana no perfil de 0,0 a 0,1 m, no tratamento com Aveia Preta foi de 426,6 mg.kg<sup>-1</sup> em 2016 a 461,3 mg.kg<sup>-1</sup> em 2019, obtendo com isso um incremento de 7,15%. Na área com cobertura realizada com Trigo, no perfil de 0,0 a 0,1 m, o CBM foi de 274,6 mg.kg<sup>-1</sup> em 2016 a 380,6 mg kg<sup>-1</sup> em 2019, observando com isso um incremento de 38,6%. Valores esses superiores ao observado na área com Aveia Preta, no mesmo perfil. Na análise da área com Tratamento Completo no mesmo perfil observou-se um CBM de 491,9 mg kg<sup>-1</sup> em 2016 a 529,8 mg kg<sup>-1</sup> em 2019, observando com isso um incremento de 7,6%. Dessa forma, analisando os dados do perfil de até 0,1 m observa-se que o melhor comportamento em relação ao

CBM, foi na área com tratamento Completo, mas o maior incremento foi obtido no tratamento Trigo. Dados esses que não foram significativos a 5%, quando analisados pelo Teste de Tukey, em função da variabilidade de dados obtidos.

Em análises relativos aos outros perfis, pode-se verificar que os valores de CBM – Carbono da Biomassa Microbiana foram inferiores aos verificados no perfil de 0,0 a 0,1 m, em função da importância desta camada superficial para a atividade microbiológica do solo. Nas demais profundidades, apenas o tratamento Aveia Preta demonstrou comportamento semelhante até a profundidade de 0,20-0,30m. Deve-se destacar que este parâmetro TC apresentou os maiores incrementos na maior profundidade, provavelmente devido ao enraizamento mais profundo..

Esse comportamento de incremento neste atributo demonstra uma incorporação da biomassa nas áreas do experimento, principalmente nos perfis superiores. Isso se confirma com Biesek (2015), onde ressalta que os materiais orgânicos adicionados nos sistemas são continuamente submetidos à decomposição por microrganismos, que buscam energia e carbono para a construção de sua biomassa, sendo que quanto maior for este aporte com melhor qualidade, maior será o aproveitamento pelos microrganismos do solo.

Deve-se destacar que os índices de CBM relacionam-se diretamente com uma maior imobilização de nutrientes, gerando uma menor perda nutricional do solo. Importante reafirmar que a matéria orgânica do solo representa o principal reservatório de energia para os microrganismos e de nutrientes para as plantas (MERCANTE et al. 2004; REIS et al. 2019). O declínio ou acréscimo da matéria orgânica do solo serve para mensurar a preservação dos ecossistemas naturais e os desequilíbrios dos agroecossistemas; (KAISER et al., 1995; REIS et al. 2019).

A RBS - Respiração basal do solo, de acordo com a tabela 5.2 demonstra que os dados apresentados, apresentam diferenças estatísticas entre os tratamentos realizados nas profundidades estudadas. De acordo com os dados para o tempo de amostragem de 24 horas, as médias em 2016, no tratamento com Aveia Preta, no perfil de 0,0 a 0,1m foi de 0,81, no perfil de 0,1 a 0,2 m foi de 0,73 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. No tratamento Trigo e o Tratamento Completo, verificou-se esse mesmo comportamento, apresentando valores que não diferem estatisticamente entre si. Observa-se também que em todos os tratamentos em todos os anos, não ocorreu um incremento nos níveis de respiração basal do solo em 2019 em relação aos anos anteriores, com índices não significativos ao nível de 5% pelo Teste de Tukey.

**Tabela 5.1** - Valores médios da CBM (Carbono da biomassa microbiana - mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	426,5aB	426,7aB	440,2aB	461,3aB	274,6cC	274,6cC	380,6aC	348,5aC	491,9aAB	491,9aAB	501,2aA	529,8aA
0,1 – 0,2	361,6bB	361,9bB	383,0bB	438,0aA	369,2aB	369,2aB	361,0bB	346,2aB	460,1bA	460,1bA	480,1bA	480,2bA
0,2 – 0,3	258,1cC	374,6bB	380,2bB	320,6bB	313,1bB	313,1bB	320,2bB	336,6b	470,1bA	470,1bA	478,2bA	470,7bA
0,3 – 0,4	374,6bC	258,1cD	262,0cD	316,4bC	280,3cC	280,3cC	300,1cC	300,4cC	465,4bB	465,4bB	470,2bB	520,9aA

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 5.2** - Valores médios da RBS (Respiração Basal do Solo - mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	0,81aA	0,74aC	0,75aB	0,80aA	0,80aA	0,79aB	0,74aB	0,71aC	0,70aC	0,75aB	0,76aB	0,81aA
0,1 – 0,2	0,73bB	0,65bC	0,68bC	0,70bC	0,72bB	0,68bC	0,69bC	0,78aA	0,64bC	0,71aB	0,68bC	0,79bA
0,2 – 0,3	0,63cB	0,54cC	0,50cC	0,59cC	0,69cB	0,59cC	0,57cC	0,62bB	0,62bB	0,67bB	0,65bB	0,80aA
0,3 – 0,4	0,57cC	0,50cC	0,40cD	0,52cC	0,54dC	0,61bC	0,58cC	0,59cC	0,54cC	0,65bB	0,66bB	0,82aA

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 5.3** - Valores médios da QMET (Quociente Metabólico - mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	2,84aA	2,62aA	1,49bC	1,60bC	2,45aA	2,83aA	2,01aB	1,92aC	1,95aC	1,80aC	1,89aC	2,01aB
0,1 – 0,2	1,79bB	1,91bA	1,44bC	1,68abC	1,80bB	1,82bB	1,52bC	1,89bB	1,67bC	1,69abC	1,80aB	1,80bB
0,2 – 0,3	1,53cB	1,54bcB	1,57aB	1,74aA	1,65cB	1,78bA	1,36bcC	1,56cB	1,28cC	1,37bC	1,36bC	1,60bcB
0,3 – 0,4	1,05dC	1,18cB	1,27cB	1,52cA	1,23dB	1,76bA	1,07cC	1,55cA	1,26cB	1,27cB	1,31bB	1,20cB

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 5.4** - Valores médios da QMIC (Quociente Microbiano mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) em diferentes profundidades, pela implantação de distintas plantas de cobertura.

Perfil (m)	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
	Período				Período				Período			
	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
0,0 – 0,1	1,39cC	1,39cC	1,47cC	1,33cC	1,78cB	1,78cB	1,91cB	2,81cA	1,96cB	1,96cB	1,77dB	1,59cC
0,1 – 0,2	1,94aC	1,94bC	1,83bC	1,61bcD	4,31bA	4,31bA	3,49bB	3,26bB	2,96bcC	2,96bC	2,55cC	2,07bcC
0,2 – 0,3	1,80bC	1,80bC	1,73bC	1,70bD	4,42bA	4,42bA	4,22aA	3,47bB	3,48bB	3,48aB	3,39bB	2,90bC
0,3 – 0,4	1,39cD	2,76aC	2,29aC	2,05aC	5,27aA	5,27aA	3,21bB	3,72aB	3,72aB	3,72aB	5,32aA	3,38aB

\* Em cada coluna, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si. Em cada linha, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 5.5** - Valores médios referentes à produtividade da soja na área em estudo, sob diferentes tratamentos – período de 2016 a 2019 – valores em kg/ha.

Atributos	Tratamentos											
	Aveia Preta (AP)				Trigo				Completo			
Ano	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19
Produção	-	3.669b	4.239a	4.440 <sup>a</sup>	-	4.145a	4.096a	3.880b	-	3.546b	4.287a	4.425a

\* Em cada linha, as médias seguidas pela mesma letra em minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Deve-se destacar que maiores teores de RBS estão relacionados à maior atividade biológica, que, por sua vez, está ligada diretamente com a quantidade de carbono lábil no solo. Entretanto, a consideração dos resultados da atividade biológica deve ser feita com critério, pois nem sempre teores elevados de RBS sugerem condições desejáveis no curto prazo, que pode significar liberação de nutrientes para as plantas e, no longo prazo, perda de C orgânico do solo para a atmosfera (CORDEIRO et al. 2015). Dessa forma, elevados valores de RBS podem indicar tanto situações de distúrbio quanto de alto nível de produtividade do sistema (ISLAM; WEIL, 2000; MAZZETTO et al. 2016; SILVA et al. 2016).

Santos et al. (2007), quando avaliaram a atividade microbiológica em diferentes tipos de manejo, encontraram maiores valores de respiração basal (RBS), em baixas profundidade. Esse comportamento coincide com os dados obtidos neste trabalho, porém resta analisar se este aumento se deve a uma perturbação da superfície ou aumento da atividade microbiológica. No caso em questão, não há uma perturbação aparente, portanto permite supor que um eventual aumento da RBS pode ser atribuída a intensificação da atividade e da produtividade do sistema. De qualquer forma os dados mostram uma estabilidade nas diferentes camadas avaliadas e nos tratamentos realizados, permitindo inferir que se os tratamentos não afetaram este parâmetro pela elevação da produtividade, também não provocaram distúrbios no sistema de produção.

Ainda, coincidem com os dados deste trabalho, as afirmações de Pôrto et al. (2009); Jakelaitis et al. (2008) e Carneiro et al. (2009) onde observaram maior valor de RBS na área em agrossistemas de rotação e de consorciação de cultivos nos perfis superiores e encontraram maiores valores em agrossistemas de Sistema Plantio Direto.

O quociente metabólico ( $qCO_2$  ou  $qMET$ ) é a razão entre RBS – respiração basal do solo, por unidade de carbono da BMS e é fornecido em  $mg\ C-CO_2\ kg^{-1}\ CBM\ h^{-1}$  e tem sido usado como indicador de estresse da biomassa microbiana, porque expressa a eficiência metabólica com que os microrganismos mantêm a sua biomassa (MONTEIRO; GAMA RODRIGUES, 2004; GOMES et al. 2015). Maiores valores de  $qCO_2$  indicam maiores perdas de C no sistema na forma de  $CO_2$  por unidade de C-microbiano (SANTOS et al., 2007; GLAESER et al. 2010; ALMEIDA et al. 2011).

A tabela 5.3 apresenta os valores de  $qCO_2 / qMET$ , no solo em análise e percebe que para este parâmetro estudado houve interação significativa entre os tratamentos na profundidade em estudo. No período avaliado neste estudo se constatou um efeito interessante e positivo dos tratamentos Aveia Preta e Trigo na camada superficial do solo. Nas demais camadas destes tratamentos os efeitos ainda não são visíveis, podendo estar relacionado com o tempo de adoção dos tratamentos, pois como verificado por Pereira Neto, (2008), as estruturas do solo, que são resultantes da sua atividade biológica, levam cerca de 8 anos para se recuperarem quando se adota um sistema de produção com rotação de culturas. Já o tratamento Completo apresentou um comportamento distinto dos demais tratamentos, elevando os valores nas três profundidades superiores e nas sucessivas safras, denotando um potencial elevação da emissão de Carbono para a atmosfera.

Destaca-se que os tratamentos estudados foram estatisticamente semelhantes dentro dos diferentes perfis estudados, se mostrando eficientes em utilizar o carbono do solo, assim como a área antes da implantação do experimento em 2016 nas profundidades analisadas (BARDGETT; SAGGAR, 1994; RUIVO et al. 2006; XAVIER et al. 2006; SILVA et al. 2016). Porém, o delineamento experimental adotado dificultou as avaliações isoladas dos tratamentos por analisar os dados de forma conjunta, aumentando a variabilidade dos dados e reduzindo a significância. Observando-se os dados isoladamente constata-se um efeito interessante do tratamento Tratamento Completo, inclusive em profundidade.

Em análise aos dados relativos ao coeficiente microbiano ( $qMIC$ ) nos mostra que a quantidade de carbono orgânico do solo que está imobilizado na biomassa microbiana. Esses dados podem ser observados na Tabela 5.4. Percebe-se que para esse parâmetro, verificou-se uma redução destes dados em todos os tratamentos na maioria das profundidades. As exceções estão nas camadas 0,30-0,40m do tratamento Aveia Preta e 00-0,10m do tratamento Trigo, dificultando analisar se estes efeitos podem representar uma melhoria na qualidade da matéria orgânica aportada ao solo com tais tratamentos. Da mesma forma, estudos de maior prazo, com efeitos acumulativos mais importantes podem confirmar estes comportamentos. Independente disto, novamente o Tratamento Completo apresenta dados intrigantes por apresentarem uma tendência de redução destes dados no período avaliado. Este estresse pode ser atribuído a uma perturbação momentânea

em função de um acréscimo de matéria orgânica aportada ao sistema, sem que tenha havido um reequilíbrio da atividade microbológica do solo. Considerando viável esta suposição, espera-se que este equilíbrio ocorra com o tempo e se trata de uma informação importante a ser obtida em novos estudos. Os maiores valores foram observados em 2017 na área com Trigo e no Tratamento Completo, nos anos de 2017 e 2018, nas perfis de 0,2 a 0,4 m com valores 5,27 a 5,32 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente.

Valores baixos de qMIC estão relacionados a baixa qualidade da matéria orgânica ou que a microbiota se encontra em uma situação de estresse (GAMA RODRIGUES et al., 2005; JACINTHE et al. 2010; SANTOS et al. 2015).

O quociente microbiano pode variar de 1% a 4%, sendo que valores inferiores a 1% indicam que existe algum fator limitante a atividade microbológica no solo e fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica. Segundo Wardle (1994), em circunstâncias em que a biomassa encontra-se sob algum fator de estresse (deficiência de um nutriente, acidez, etc.), a capacidade de utilização do C é diminuída.

Outro fator limitante é a relação carbono da biomassa e o carbono orgânico (CM:CO) diminui (< qMIC), já com a adição de matéria orgânica de boa qualidade ou com a mudança do fator limitante para uma condição favorável, a Biomassa Microbiana (BM) pode aumentar rapidamente (> qMIC), mesmo se os teores de carbono orgânico CO permanecerem inalterados (POWLSON et al., 1987; SANTOS et al. 2015).

Durante o desenvolvimento do solo, essa relação, inicialmente, é submetida a mudanças rápidas e, com o passar do tempo, converge para um valor de “equilíbrio” (INSAM; DOMSCH, 1988; WARDLE, 1994; MAZZETTO et al. 2016). Se este valor for conhecido, a determinação dessa relação pode fornecer uma indicação sobre o quanto um solo está distante de seu “estado de equilíbrio”.

As mudanças no qMIC podem refletir também os acréscimos de matéria orgânica ao solo, a eficiência de conversão do CO do solo para CM, as perdas de C do solo e a estabilização do CO pelas frações minerais do solo (SPARLING, 1992). Anderson e Domsch (1989) estudaram o relacionamento entre C da biomassa (CM) e C orgânico do solo (CO), ou qMIC, de comunidades microbianas de solos submetidos a monoculturas ou rotação de culturas por longos períodos, em regiões temperadas da Europa Central.

Os solos sob monocultura permanente apresentaram valores médios de qMIC de 2,3 %, os quais diferiram significativamente dos solos sob rotação de culturas, que apresentaram valores médios de 2,9% (JAKELAITIS et al., 2008) o que coincide com os dados deste trabalho onde o qMIC foi de 2,76%.

Em relação a produtividade da soja, na área em estudos, contidos na tabela 5.5, verificou-se que na safra 2016 / 2017 a produtividade na área com cobertura de Aveia Preta foi de 3.669 kg.ha<sup>-1</sup>, com cobertura de Trigo foi de 4.145 kg.ha<sup>-1</sup> e na área com cobertura com Tratamento Completo foi de 3.546 kg.ha<sup>-1</sup>. Percebe-se assim, que a maior produtividade na safra 2016 / 2017 foi na área com tratamento Trigo.

Na safra 2017 / 2018 observa-se que a produtividade na área com cobertura de Aveia Preta foi de 4.239 kg.ha<sup>-1</sup>, com cobertura de Trigo foi de 4.096 kg.ha<sup>-1</sup> e na área com cobertura com Tratamento Completo foi de 4.287 kg.ha<sup>-1</sup>. Observa-se que a maior produtividade na safra 2017 / 2018 foi na área com cobertura utilizando o Tratamento Completo.

Em relação a safra 2018 / 2019 a produtividade na área com cobertura de Aveia Preta foi de 4.440 kg.ha<sup>-1</sup>, com cobertura de Trigo foi de 3.880 kg.ha<sup>-1</sup> e na área com cobertura com Tratamento Completo foi de 4.425 kg.ha<sup>-1</sup>. Com esses resultados verifica-se que a maior produtividade na safra 2018 / 2019 foi na área com cobertura utilizando a Aveia Preta.

Assim, observa-se que as plantas de cobertura no período avaliado, embora observado diferenças na produtividade nas três safras, os valores quando analisados não apresentaram diferenças estatísticas em relação ao rendimento da soja. Embora, não apresente diferenças estatísticas significativas, a soja cultivada sobre plantas de cobertura apresentou um rendimento superior, de aproximadamente 18,5%, na área com cobertura de Aveia Preta; 5,0% no solo com cobertura de Trigo e 24,5% na área com Tratamento Completo. Neste ensaio, o tratamento Trigo contribuiu com a melhora de alguns parâmetros microbiológicos, podendo ser efeito da alteração da sucessão de culturas empregadas até então na área.

O acréscimo sucessivo de matéria orgânica, por meio da cobertura com plantas de inverno, favorece sua agregação, mantendo uma estrutura estável e adequada para que haja um bom desenvolvimento das culturas (CUNHA et al. (2011). Kitamura et al. (2008) testaram diferentes plantas de cobertura em solo do

cerrado e obtiveram resultados que comprovaram as melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas (macrofauna) do solo após a utilização dessas plantas.

Em trabalho semelhante, Nicoloso et al. (2008) atribuíram à maior cobertura do solo, obtida com o uso de plantas de cobertura no consórcio aveia mais nabo forrageiro, os maiores rendimentos de soja em relação à testemunha; resultados que corroboram com os encontrados neste trabalho. Entretanto, Debiasi et al. (2010) não verificaram diferenças de rendimento da soja em sucessão às plantas de cobertura quando comparado ao sistema de pousio.

#### **5.4 CONCLUSÕES**

Após o desenvolvimento da pesquisa a coleta de dados e suas interpretações, pode-se concluir que:

A biomassa microbiana do solo e sua atividade mostraram-se sensíveis as modificações decorrentes do sistema de tratamentos das espécies estudadas.

Os tratamentos contribuem com o aumento do carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente microbiano, com valores semelhantes ao do solo em condição natural nas profundidades de 0,0 a 0,4 m.

A biomassa microbiana apresenta atividade intensa na camada superficial em relação às camadas mais profundas.

Com relação a produtividade da soja na área em estudos, pode-se concluir que maior produtividade em 2017, se deu na área com cobertura de Trigo com 4.145 kg.ha<sup>-1</sup>, seguido da área com Aveia Preta com 4.280 kg.ha<sup>-1</sup> e 4.425 kg.ha<sup>-1</sup> na área cuja cobertura de inverno foi o Tratamento Completo (TC). A partir desses dados ocorreu um crescimento na produtividade em valores que chegam a 24,5%. Estudos de maior duração são imprescindíveis para se verificar o comportamento destes tratamentos no comportamento microbiológico do solo.

## 5.5 REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.
- ALMEIDA, D. D. O.; KLAUBERG FILHO, O.; ALMEIDA, H. C.; GEBLER, L. E FELIPE, A. F. Soil microbial biomass under mulch types in an integrated apple orchard from Southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 2, p. 217-222, 2011.
- ANDERSON, T.H; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R.; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M.; SANTOS, M. T. P.; MOURÃO JUNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 1, p. 11-18, 2012.
- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.do N. **Experimentação agrícola**. 4.ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.
- BARDGETT, R. D.; SAGGAR, S. Effects of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labeled glucose in a pasture soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, n. 6, p. 727-733, 1994.
- BARRETO, P. A. B. et al. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 611-619, 2008.
- BIESEK, M. F. **Indicadores químicos e microbiológicos da qualidade do solo em agrossistemas e sistemas nativos na região dos Campos Gerais, Castro, PR**. 2012. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BRITO, M. F.; TSUJIGUSHI, B. P.; ROCHA, D. P.; SILVA, R. F. Reciclagem de nutrientes de adubos verdes e produtividade de milho cultivado em sucessão em agroecossistema de transição agroecológica. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 3, p. 11-21, 2017.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.1, p. 147-157, 2009.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; 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 & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2015.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **R. Bras. Ci. Solo**. v.35, p.589-602, 2011.

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. **P. Agrop. Bras.** v.45, p.603-612, 2010.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-22.

GAMA RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana em solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 9, n. 6, p. 893-901, 2005.

GLAESER, D. F.; MERCANTE, F. M.; ALVES, M. A. M.; SILVA, R. F. E KOMORI, O. M. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo orgânico em cultivos de café. **Ensaio e Ciência**, v. 14, n. 2, p. 103-114, 2010.

GOMES, S.S; GOMES, M.S.; GALLO, A.S.; MERCANTE, F.M.; BATISTOTE, M. E SILVA, R.F. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Revista de La Facultad de Agronomia**. v. 114, n. 3, p. 30-37. 2015.

INSAM, H.; DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microb. Ecol.**, v.15, p.177-188, 1988.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

JACINTHE, P.; BILLS, J.S; TEDESCO, L.P. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass in a wetland complex invaded by reed canary grass. **Plant and Soil**, v.329, p.227-238, 2010.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**, v. 114, n. 3-4, p. 305-317, 2003.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A. & Ladd, J.N. (Eds.) – **Soil Biology and Biochemistry**. New York, Marcel Decker, p. 415-471, 1981.

KAISER, E.A.; MARTENS, R.; HEINEMEYER, O. Temporal changes in soil microbial biomass carbon in an arable soil. **Plant and Soil**, v.170, p.287-295, 1995.

KITAMURA, A.E.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; GONZALEZ, A.P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**. v.32, p.405-416, 2008.

LIU, Z.; FU, B.; ZHENG, X.; LIU, G. Plant biomass, soil water content and soil N: Pratio regulating soil microbial functional diversity in a temperate steppe: a regional scale study. **Soil Biology and Biochemistry**. v.42, n.3, p. 445–450, 2014.

- MAACK, Reinhard. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981.
- MATOSO, S. C. G.; SILVA, A. N.; FIORELLI-PEREIRA, E. C.; COLETA, Q. P.; SOUZA, E. F. M. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.
- MAZZETTO, A. M.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016.
- MERCANTE, F. M.; FABRICIO, A. C; MACHADO, L. A. Z; SILVA, W. M. **Parâmetros Microbiológicos Como Indicadores de Qualidade do Solo sob Sistemas Integrados de Produção Agropecuária**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004.
- MINEROPAR. **Atlas geomorfológicos do Estado do Paraná**. Curitiba. 2006.
- MIYASAKA, S. **Histórico do estudo de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características**. Campinas: Fundação Cargill, 1984.
- MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, n. 5, p. 819-826, 2004.
- NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **R. Bras. Ci. Solo**. v.32, p.1735-1742, 2008.
- PÔRTO, M.L; ALVES, J.C; DINIZ, A.A; SOUZA, A.P; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. **Ciência Agrotecnologia**., v. 33, n. 4, p.1011-1017, 2009.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, n.2, p.159-164, 1987.
- REIS, D.A.; PORTELLA, R. B.; FAGUNDES, M. O.; FEITOSA JÚNIOR, F. R.; SANTOS, J. R. S.; BOGIANI, J. C.; PERINA, F. J. Grau de dispersão, biomassa microbiana e carbono orgânico de um latossolo cultivado com soja sob plantio convencional e direto no cerrado (savana) do oeste da Bahia, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**. v.10, n. 1, p.1-9, 2019.
- RUIVO, M. L. P.; BARROS, N. F.; SCHAEFER, C. E. Relações da biomassa microbiana do solo com características químicas de frações orgânicas e minerais do solo após exploração mineral na Amazônia Oriental. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. v. 1, n. 2, p. 121-131, 2006
- SANTOS, F. L.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SOUZA, E. D. Atributos bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no sudoeste goiano. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 74-86, 2015.
- SANTOS, H.G.; ALMEIDA, J.A.; OLIVEIRA, J.B.; LUBRERAS, J.F.; ANJOS, L.H.C.; COELHO, M.R.; JACOMINE, P.K.T.; CUNHA, T.J.F; OLIVEIRA, V. A. **Sistema**

**brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SANTOS, T.E.B.; NAKAYAMA, F.T.; ARF, O. CASSIOLATO, A.M.R. Variáveis microbiológicas e produtividade do arroz sob diferentes manejos do solo e água. **Acta Scientiarum Agronomy.** v. 29, n. 3, p. 355-366, 2007.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Agropecuária Técnica,** v. 37, n. 1, p. 96-104, 2016.

SILVA, F; AZEVEDO, C. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research.** v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Aust. J. Soil Res.,** v.30, p.195-207, 1992.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry.** v. 19,n.6, p. 703-707, 1987.

WARDLE, D.A. **Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo.** Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p.419-436.1994.

WRB/FAO - Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 25 de maio de 2019.

WUTKE, E.B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do 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, 2014. v.1, p.59. 168.

XAVIER, F. A. Z.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas, orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba - CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.30, n.1, p.247-258, 2006.

6 ARTIGO 3 (Publicado - <https://doi.org/10.5539/jsd.v12n5p40> - ANEXO 3)

## PRODUTIVIDADE DA SOJA E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO NO SUDOESTE DO PARANÁ - BRASIL

*Soybean yields and biomass production of winter cover crops in the southwest of Paraná – Brazil*

### RESUMO

O uso de plantas de cobertura de inverno é uma prática importante de manejo e conservação do solo e da água importante no sul do Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar o acúmulo de massa verde e massa seca na parte aérea de plantas de cobertura de inverno em cultivo solteiro e consorciado no sudoeste do Paraná, nos anos de 2016 e 2017. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas de 50 m<sup>2</sup> com cinco repetições. As plantas de cobertura utilizadas em cultivo solteiro foram Aveia Preta e Trigo, em consórcio foram Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Centeio + Tremoço Branco (AP+NF+C+TB), Aveia Preta + Nabo Forrageiro (AP+NF) e Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Centeio + Ervilhaca + Tremoço Branco + Trigo Mourisco (AP+NF+C+E+TB+TM). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O consórcio de plantas de cobertura composto por Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Centeio + Ervilhaca + Tremoço Branco + Trigo Mourisco apresentou maior produção de massa verde, com valor médio de 50.880 kg.ha<sup>-1</sup>. Para a produção de massa seca, o cultivo solteiro de Aveia Preta apresentou maior produção, com valor médio de 5.168 kg.ha<sup>-1</sup>. Com relação a produtividade, se deu na área com cobertura com aveia preta, nabo forrageiro, centeio, ervilhaca, tremoço branco e trigo morisco, apresentando uma produtividade em 2017 de 4.487 kg.ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Cobertura vegetal, massa verde, massa seca, consórcio.

## ABSTRACT

The use of winter cover crops is an important practice for the management and conservation of soil and water in southern Brazil. The objective of this work was to evaluate the accumulation of green mass and dry mass in the aerial part of winter cover crops in monocropping and intercropping in southwestern Paraná, in the years 2016 and 2017. Randomized blocks were used as experimental design with a subdivided plot scheme of 50 m<sup>2</sup> with five replications. The cover crops used in monocropping were black oats and wheat, while for the intercropping black oats + turnips + rye + white lupin (AP+NF+C+TB), black oats + turnips (AP+NF), and black oats + turnips + rye + vetches + white lupin + buckwheat (AP+NF+C+E+TB+TM) were used. The data were subjected to analysis of variance and the means were compared by the Tukey test at 5 % probability. The intercrop composed of black oats + turnips + rye + vetches + white lupin + buckwheat had a higher production of green mass, with an average value of 50.880 kg ha<sup>-1</sup>. For the production of dry mass, the monocrop of black oats had higher yields, with an average value of 5.168 kg ha<sup>-1</sup>. The highest yields were obtained in the coverage area with black oats, turnips, rye, vetches, white lupin and buckwheat, presenting a yield in 2017 of 4.487 kg ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Plant cover, green mass, dry mass, intercrop.

## 6.1 INTRODUÇÃO

Plantas de cobertura são vegetais que tem a finalidade de proteger o solo contra processos de erosão e a lixiviação de nutrientes, sendo amplamente difundido a partir da introdução e consolidação do Sistema Plantio Direto (SPD). Além da proteção da superfície do solo estas plantas melhoram as condições físicas, químicas e biológicas do solo (DERPSCH; SIDIRAS; HEINZNANN, 1985; GIACOMINI; AITA; RHEINHEIMER, 2000; PÉREZ-BERMÚDEZ et al. 2016; ROSSETO et al. 2017).

Segundo Calegari e Donizeti, (2014), na região Sul do Brasil, o uso de plantas de cobertura de inverno é facilitado, devido às condições edafoclimáticas, aos sistemas de cultivos e também pelo fato de que durante o período de inverno, existem menores extensões de áreas ocupadas com culturas de interesse econômico. Ainda segundo o autor, as plantas de cobertura podem ser cultivadas isoladamente ou em consórcio com diversas espécies, sendo o uso em consórcio de plantas de cobertura uma solução indicada em razão de reunir benefícios de diversas plantas ao mesmo tempo.

A consorciação de espécies vegetais, em comparação aos cultivos solteiros, propicia a formação de uma cobertura do solo mais próxima do ideal, quanto à quantidade e à qualidade dos resíduos, o que traz benefícios às culturas em sucessão e ao SPD (CALEGARI; DONIZETTI, 2014; PIERRI et al. 2016).

Lima Filho et al., (2014) também destacam que as plantas de cobertura, isoladas ou consorciadas podem absorver nutrientes em camadas profundas do solo e acumulá-los nas raízes ou na parte aérea, quando depositados na superfície do solo, podem liberar parte dos nutrientes contidos no tecido, alterando o teor de nutrientes nas camadas mais superficiais ao longo do ciclo da próxima cultura.

Entre as espécies de plantas de cobertura de inverno mais utilizadas no sul do Brasil, destacam-se as gramíneas, crucíferas e leguminosas. As gramíneas produzem grandes quantidades de massa seca e possuem elevada relação carbono/nitrogênio, o que aumenta a persistência dos seus resíduos sobre a superfície do solo. As crucíferas possuem crescimento rápido e promovem rápida cobertura do solo (OKELLO et al. 2013). As leguminosas são importantes por fixarem nitrogênio atmosférico por associação com bactérias fixadoras de N, aumentando o aporte deste elemento no sistema de forma mais ágil devido a

decomposição de sua palhada ser rápida, quando fragmentada e depositada na superfície do solo (LIMA FILHO et al. 2014)).

Ressalta-se que no planejamento do cultivo de plantas a serem usadas como cobertura do solo é de fundamental importância conhecer a espécie a ser utilizado, o histórico da área cultivada, as condições edafoclimáticas, o sistema de produção, bem como as finalidades propostas (PENHA et al. 2017).

Souza e Guimarães, (2014) citam que a produção de biomassa das espécies utilizadas como cobertura é decorrente das condições climáticas, edáficas e fitossanitárias, e principalmente do seu desenvolvimento radicular em profundidade, sendo estes fatores importantes para o correto estabelecimento das plantas de cobertura de inverno.

Deste modo, destaca-se que a produção de fitomassa pelas plantas de cobertura de inverno utilizadas nos sistemas de rotação de culturas é importante para manutenção e melhoria do equilíbrio físico, químico e biológico do solo e pode ser o melhor indicador para o setor de produção para a escolha das melhores alternativas em função das condições edafoclimáticas.

Nesse contexto, este trabalho teve o objetivo de avaliar a produção de massa verde e massa seca de diferentes plantas de cobertura de inverno, em cultivo solteiro e consorciado e a produtividade da cultura da soja cultivada em sucessão aos cultivos de inverno em uma área localizada na região sudoeste do Paraná - Brasil.

## **6.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2016 e 2017, em área experimental localizado no Município de São Jorge do Oeste – PR. A área está localizada na latitude 25°44' Sul, longitude 52°53' Oeste, a 461 metros acima do nível do mar. De acordo com a classificação de Köppen, o clima do local é caracterizado como Cfa subtropical úmido mesotérmico com verão quente, geadas poucos frequentes, apresentando temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C.

O solo do local do experimento foi descrito como latossolo vermelho eutroférico (SANTOS et al. 2013). A Tabela 6.1 apresenta as características químicas do solo da área do experimento na profundidade de 0,00-0,20 m.

**Tabela 6.1** - Caracterização química do solo na camada de 0,00-0,20 M

pH CaCl <sub>2</sub>	M.O g.dm <sup>-3</sup>	P (Resina) mg.dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H <sup>+</sup> Al	SB	CTC	V
--			-----cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----						%
5,0	28,4	4,6	0,5	5,60	2,20	3,6	8,3	11,90	69,70

Fonte: Autor, (2018).

O delineamento experimental utilizado no experimento foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas de 50 m<sup>2</sup>, com cinco repetições. As plantas de cobertura utilizadas e suas respectivas densidades de semeadura estão descritas na Tabela 6.2.

**Tabela 6.2** - Plantas de coberturas de inverno utilizadas e densidade de semeadura

Plantas de cobertura	Densidade de semeadura (kg.ha <sup>-1</sup> )
AP	60
AP+NF+C+TB	40 + 6 + 15 + 20
AP+NF	40 + 6
AP+NF+C+E+TB+TM	40 + 6 + 15 + 15 + 20 + 40
TM	120

AP: aveia preta. AP+NF+C+TB: consórcio entre aveia preta, nabo forrageiro, centeio e tremoço branco. AP+NF: Aveia Preta + Nabo Forrageiro. AP+NF+C+E+TB+TM: Aveia Preta, Nabo Forrageiro, Centeio, Ervilhaca, Tremoço Branco, Trigo Mourisco. TM: Trigo Mourisco.

Fonte: Autor, (2018).

O experimento foi conduzido em área utilizada com cultivo de soja (*Glycine max* L.), no período do verão. Para implantação e condução das plantas de cobertura, antes da semeadura realizou-se o controle químico de plantas daninhas através da aplicação de herbicida glifosato (1,5 l.ha<sup>-1</sup> do produto comercial), na área experimental. As plantas de cobertura foram semeadas no início do mês de maio dos anos de 2016 e 2017, sendo distribuídas uniformemente com auxílio de um distribuidor manual de sementes e incorporadas ao solo com auxílio de uma grade niveladora leve e fechada.

Após 120 dias de desenvolvimento vegetativo foram coletadas amostras da parte aérea das plantas de cobertura para determinação da massa verde e massa seca. Para determinação da massa verde as amostras foram coletadas manualmente rentes ao solo com auxílio de uma faca, em uma área de 0,25 m<sup>2</sup>, sendo pesadas em uma balança digital e o valor obtido extrapolado para kg por hectare. Para determinação da massa seca das plantas de cobertura, as amostras de massa verde foram secas em estufa de circulação fechada de ar, a 65°C, até

atingir peso constante, em seguida foram pesadas e o valor obtido extrapolado para kg por hectare.

A avaliação do comportamento da produtividade da soja nas áreas em estudo, foram realizados em dois anos consecutivos, nas mesmas áreas nas safras de verão de 2016 e 2017. Para isso, após a dessecação e manejo dos resíduos vegetais das plantas de cobertura, a cultura da soja foi semeada mecanicamente, com uso de semeadora-adubadora com mecanismo sulcador do tipo haste (facão) para SPD no mesmo delineamento experimental, aproveitando-se da cobertura da matéria seca remanescente das plantas.

A semeadura da cultura da soja foi realizada utilizando-se do espaçamento utilizado de 0,45 m, com 26 sementes  $m^{-1}$ , utilizando-se a cultivar Monsoy 7908 RR. Como adubação de semeadura foram aplicados 250  $kg\ ha^{-1}$  do formulado 8-28-16 (20  $kg\ ha^{-1}$  de N, 70  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  e 40  $kg\ ha^{-1}$  de  $K_2O$ , respectivamente) conforme a avaliação da fertilidade do solo e seguindo as recomendações de Mascarenhas et al. (1997). Momentos antes da semeadura da cultura realizou-se a inoculação das sementes de soja com *Bradyrhizobium japonicum* turfoso ( $6 \times 10^6$  células viáveis semente $^{-1}$ ).

Durante o desenvolvimento da cultura foram realizados todos os tratamentos fitossanitários necessários para o desenvolvimento adequado da soja, para isso, durante o desenvolvimento, foram efetuadas três aplicações do inseticida 50  $g\ L^{-1}$  Lambda-cyhalothrim, na dose de 150  $mL\ ha^{-1}$ , aos 30, 45 e 65 dias após a emergência da soja, para o controle da largata-da-soja [*Anticarsia gemmatalis* (L.)] e percevejo-da-soja [*Nezara viridula* (L.)].

A colheita manual da cultura da soja foi realizada de todas as plantas contidas em 4 linhas centrais da parcela experimental desprezando-se 1 m em cada extremidade. Para a estimativa da produtividade, foram mensurados os grãos contidos na área útil de cada parcela, mediante pesagem, expressa em toneladas por hectare, ajustada para 13% de teor de água.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, para verificar a diferenças entre os tratamentos. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste Tukey a 5% de significância, utilizando-se o aplicativo estatístico Assistat, versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produções de massa verde das diferentes plantas de cobertura no ano de 2016 e 2017, bem como suas médias, encontram-se descritas na Tabela 6.3.

Verifica-se que para a produção de massa verde das distintas espécies de plantas de cobertura de inverno, ocorreu diferença estatística significativa somente para as médias de produção, não apresentando diferença estatística significativa entre os diferentes anos de cultivo.

**Tabela 6.3** - Produção de massa verde na parte aérea de diferentes plantas de cobertura de inverno no Sudoeste do Paraná. Dados relativos a média de cinco repetições

Plantas de Cobertura	Massa Verde (kg.ha <sup>-1</sup> )		
	2016*	2017*	Média*
AP	26.920±3.211Da	26.560±3.423Da	26.740±3.317Da
AP+NF+C+TB	35.856±4.122Ca	35.268±5.178Ca	35.562±4.650Ca
AP+NF	42.848±3.564Ba	41.212±3.876Ba	42.030±3.720Ba
AP+NF+C+E+TB+TM	50.488±5.312Aa	51.272±4.867Aa	50.880±5.089Aa
TM	27.736±2.189Da	25.344±1.895Da	26.540±2.042Da

AP: aveia preta. AP+NF+C+TB: consórcio entre aveia preta, nabo forrageiro, centeio e tremoço branco. AP+NF: Aveia Preta + Nabo Forrageiro. AP+NF+C+E+TB+TM: Aveia Preta, Nabo Forrageiro, Centeio, Ervilhaca, Tremoço Branco, Trigo Mourisco. TM: Trigo Mourisco.

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com a tabela 6.3, destaca-se que a produção de massa verde do consórcio de plantas de cobertura composto por AP+NF+C+E+TB+TM apresentou valor médio de 50.880 kg.ha<sup>-1</sup>, sendo este tratamento estatisticamente superior. O tratamento composto por AP+NF apresentou valor médio de 42.030 kg.ha<sup>-1</sup>, apresentando-se como a segunda maior média entre os tratamentos. O consórcio composto por AP+NF+C+TB obteve a terceira maior média com produção de 35.562±4.650 kg.ha<sup>-1</sup>.

Os tratamentos formados por cultivo individualizados de Aveia Preta e Trigo apresentaram valores de produção de massa verde de 26.740±3.317 kg.ha<sup>-1</sup> e 26.540±2.042 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente, sendo suas médias estatisticamente iguais entre si, porém estatisticamente inferiores aos demais tratamentos.

Balbinot et al. (2004), em estudo realizado em Canoinhas – SC sobre plantas de cobertura de inverno com Aveia Preta, Azevem, Centeio, Nabo Forrageiro,

Ervilhaca Comum, em cultivos solteiros e consorciados, observaram que os consórcios de plantas de cobertura apresentaram maiores valores de massa verde que os cultivos solteiros. Estes dados se assemelham com os encontrados neste trabalho.

Vieira (1999) destaca que os sistemas de consórcio entre espécies que apresentam diferentes arquiteturas e distintos padrões de crescimento do sistema radicular melhoraram o aproveitamento dos recursos do meio, proporcionando maior acúmulo de massa por área em um determinado tempo.

Os dados quanto à produção de massa seca das diferentes plantas de cobertura de inverno são apresentados na Tabela 6.4, com valores obtidos nos anos de 2016 e 2017 e a média de produção para este período.

**Tabela 6.4** – Produção de massa seca na parte aérea de diferentes plantas de cobertura de inverno no sudoeste do Paraná. Dados relativos a cinco repetições

Plantas de Cobertura	Massa Seca (kg.ha <sup>-1</sup> )		
	2016*	2017*	Média*
AP	5.160±545Aa	5.176±238Aa	5.168±291Aa
AP+NF+C+TB	3.784±267Ba	3.692±276Ba	3.738±271Ba
AP+NF	3.040±356BCa	3.132±472BCa	3.086±414BCa
AP+NF+C+E+TB+TM	2.952±179Ca	2.984±211Ca	2.968±195Ca
TM	3.176±412BCa	3.084±254BCa	3.130±222BCa

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

AP: aveia preta. AP+NF+C+TB: consórcio entre aveia preta, nabo forrageiro, centeio e tremoço branco. AP+NF: Aveia Preta + Nabo Forrageiro. AP+NF+C+E+TB+TM: Aveia Preta, Nabo Forrageiro, Centeio, Ervilhaca, Tremoço Branco, Trigo Mourisco. TM: Trigo Mourisco.

Para a produção de massa seca dos distintos tipos de plantas de cobertura de inverno, apresentou diferença estatística significativa somente para as médias de produção, não apresentando diferença estatística significativa entre os diferentes anos de cultivo.

De acordo com a Tabela 6.4, o tratamento contendo Aveia Preta apresentou maior média de produção de massa seca, com valor de 5.168±291 kg.ha<sup>-1</sup>, sendo este estatisticamente superior aos demais. O tratamento contendo AP+NF+C+TB apresentou produção de massa seca de 3.738±271 kg.ha<sup>-1</sup>, sendo este valor a segunda maior média entre os tratamentos.

Já os tratamentos contendo AP+NF e Trigo apresentaram valores de produção de massa seca correspondentes a 3.086±414 kg.ha<sup>-1</sup> e 3.130±222 kg.ha<sup>-1</sup>

respectivamente, sendo estes estatisticamente iguais ao tratamento com AP+NF+C+TB que apresentou a segunda melhor média e também estatisticamente igual ao tratamento contendo AP+NF+C+E+TB+TM que apresentou a menor média de produção de massa seca, com valor de  $2.968 \pm 195 \text{ kg.ha}^{-1}$ .

Ziech et al. (2015), em trabalho realizado no município de Dois Vizinhos – PR, encontraram valores de produção de massa seca em cultivo singular de Aveia Preta e cultivo consorciado de Aveia Preta + Ervilhaca + Nabo Forrageiro correspondentes a  $4.073 \text{ kg.ha}^{-1}$  e  $2.600 \text{ kg.ha}^{-1}$ , resultados semelhantes ao encontrado no presente estudo.

Em estudos realizados por Giacomini et al. (2003) e Doneda, (2010) o consórcio de Aveia Preta + Ervilhaca, proporcionou produção de massa seca equivalente àquela da aveia isolada, porém superior ao resultado da ervilhaca solteira, porém Ceretta et al. (2002), observaram que o cultivo da ervilhaca consorciada com aveia preta não gerou incrementos em produção de massa seca quando comparado aos cultivos solteiros. Contudo, segundo esses autores o consórcio possibilitou o aumento do aporte de nitrogênio ao solo.

Destaca-se que as variações no rendimento de fitomassa para as espécies de cobertura são comuns, uma vez que essa característica é dependente das condições climáticas, edáficas e fitossanitárias (WOLSCHICK, 2014).

Na tabela 6.5, são apresentados os dados relativos a produtividade da soja nas áreas de cultivos obtidos nos anos de 2016 e 2017.

**Tabela 6.5** – Dados referente à produtividade da soja nos anos de 2016 e 2017

Plantas de Cobertura	Produtividade de soja ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )		
	2016	2017	Média
AP	$3.669 \pm 213 \text{ Ab}$	$4.239 \pm 346 \text{ Aa}$	$3.954 \pm 279 \text{ A}$
AP+NF+C+TB	$3.668 \pm 321 \text{ Ab}$	$4.287 \pm 452 \text{ Aa}$	$3.977 \pm 386 \text{ A}$
AP+NF	$3.619 \pm 145 \text{ Aa}$	$3.919 \pm 521 \text{ Aa}$	$3.769 \pm 333 \text{ B}$
AP+NF+C+E+TB+TM	$3.768 \pm 278 \text{ Ab}$	$4.487 \pm 374 \text{ Aa}$	$4.127 \pm 326 \text{ A}$
TM	$3.410 \pm 543 \text{ Bb}$	$4.101 \pm 451 \text{ Aa}$	$3.755 \pm 497 \text{ B}$

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

AP: aveia preta. AP+NF+C+TB: consórcio entre aveia preta, nabo forrageiro, centeio e tremoço branco. AP+NF: Aveia Preta + Nabo Forrageiro. AP+NF+C+E+TB+TM: Aveia Preta, Nabo Forrageiro, Centeio, Ervilhaca, Tremoço Branco, Trigo Mourisco. TM: Trigo Mourisco.

Em análise aos dados contidos na tabela 6.5, observa-se que a existe diferenças significativas ao nível de 5% de significância em relação a produtividade da soja obtidas nos anos de 2106 e 2017. Na área com cobertura de aveia preta (AP) a produtividade em 2016 foi de  $3.669 \pm 213 \text{ kg.ha}^{-1}$ , já em 2017 na mesma área essa produtividade foi de  $4.239 \pm 346 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Nas outras áreas seguiram-se esse mesmo comportamento, com exceção da área com aveia preta, mais nabo forrageiro (AP + NF), onde não houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre os dois períodos avaliados, pois em 2016 produziu  $3.619 \pm 145 \text{ kg.ha}^{-1}$ , dados esses semelhantes a produtividade de 2017, onde produziu  $3.919 \pm 521 \text{ kg.ha}^{-1}$ .

Verifica-se que a maior produtividade no ano de 2016 e 2017, foi obtido na área com cobertura vegetal contendo aveia preta, nabo forrageiro, centeio, ervilhaca, tremoço branco e trigo morisco (AP+NF+C+E+TB+TM), com produtividade de  $3.768 \pm 278$  e  $4.487 \pm 374 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Em análise a esses dados observa-se que diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Esses dados mostram que ocorreu um incremento em produtividade na ordem de 19,1% na produtividade. Esses dados são significativos, pois representa uma produtividade superior a da 2016 de  $719 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Com isso também pode-se verificar que o melhor consórcio de plantas de cobertura de solo no inverno deve ser feita com aveia preta, nabo forrageiro, centeio, ervilhaca, tremoço branco e trigo morisco.

De posse das informações dos dados que relataram os componentes de produção na planta, já se esperava a semelhança da produção de grãos da cultura da soja entre as áreas avaliadas. Em avaliação dos componentes produtivos e produtividade da soja quando implantada em sistema plantio direto sob distintas coberturas vegetais (MURAISHI et al. 2005).

Com o acréscimo da produtividade da soja nas áreas avaliadas, sugere-se que o sucessivo incremento de de matéria orgânica, liberada ao solo, por meio da adubação verde, favorece sua agregação, mantendo uma estrutura estável e adequada para que haja um bom desenvolvimento das culturas (CUNHA et al. (2011). Kitamura et al. (2008) testaram diferentes plantas de cobertura em solo do cerrado e obtiveram resultados que comprovaram as melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas (macrofauna) do solo após a utilização dessas plantas.

Em trabalho semelhante, Nicoloso et al. (2008) atribuíram à maior cobertura do solo, obtida com o uso de plantas de cobertura no consórcio aveia mais nabo

forageiro, os maiores rendimentos de soja em relação à testemunha; resultados que corroboram com os encontrados neste trabalho. Entretanto Debiasi et al. (2010) não verificaram diferenças de rendimento da soja em sucessão às plantas de cobertura quando comparado ao sistema de pousio.

De acordo com Cruz Portela et al. (2010), constataram expressiva melhoria na qualidade dos atributos físicos do solo com o contínuo aporte de material vegetal em sua superfície, mas principalmente por meio das raízes das culturas e pelo não revolvimento do solo. A menor agregação do solo sob cultivo convencional está relacionada ao menor acúmulo de matéria orgânica na superfície (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

Portanto, o uso de plantas de cobertura possibilita vantagens estruturais refletindo no rendimento das culturas posteriores, o que garante a sustentabilidade dos sistemas agrícolas ao longo do tempo (LLANILLO et al. 2006).

#### 6.4 CONCLUSÃO

O consórcio de plantas de cobertura composto por Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Centeio + Ervilhaca + Tremoço Branco + Trigo Mourisco apresentou maior produção de massa verde, com valor médio de 50.880 kg.ha<sup>-1</sup>.

Para a massa seca, o cultivo solteiro de Aveia Preta apresentou maior produção, com valor médio de 5.168 kg.ha<sup>-1</sup>.

Por fim destaca-se que as gramíneas apresentam maior produção de massa seca devido a sua maior relação C/N e menor teor de água.

A maior produtividade de soja se deu na área com cobertura com aveia preta, nabo forrageiro, centeio, ervilhaca, tremoço branco e trigo morisco, apresentando uma produtividade em 2017 de 4.487 kg.ha<sup>-1</sup>.

#### 6.5 REFERÊNCIAS

BALBINOT JUNIOR, A. A.; BACKES, R. L.; TÔRRES, A. N. L. Desempenho de plantas invernais na produção de massa e cobertura do solo sob cultivos isolado e em consórcios. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.3, p.38-42, 2004

CALEGARI, A.; DONIZETI, C. J. A. Recomendações de plantio e informações sobre o uso de espécies para adubação verde no Brasil. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciencia Rural**, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.
- CRUZ PORTELA, J.; COGO, N. P.; BAGATINI, T.; CHAGAS, J. P.; PORTZ, G. Restauração da estrutura do solo por sequências culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. **R. Bras. Ci. Solo**. v.34, p.1353-1364, 2010
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 35, p.589-602, 2011.
- 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. **P. Agrop. Bras.** v.45, p.603-612, 2010.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZNANN, F. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 7, p.761-773, 1985.
- DONEDA, A. **Plantas de cobertura de solo consorciadas e em cultivo solteiro: decomposição e fornecimento de nitrogênio ao milho**. Dissertações. Santa Maria, RS, Brasil. 2010.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; RHEINHEIMER, D. S. **Consortiação de plantas de cobertura: I. Produção e composição da fitomassa**. Santa Maria, RS, 2000.
- 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
- KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**. v.32, p. 405-416, 2008.
- LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ci. Agr.** v.27, p.205-220, 2006.
- MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T. SOJA. IN: RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p.202-203.
- MURAISHI, C. T.; LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E. Manejo de espécies vegetais de cobertura de solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 2, p.199-207, 2005.
- NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **R. Bras. Ci. Solo**. v.32, p. 1735-1742, 2008.

OKELLO, C.; PINDOZZI, S.; FAUGNO, S.; BOCCIA, L. Bioenergy potential of agricultural and forest residues in Uganda. **Biomass and Bioenergy**, 56, p. 515-525, 2013.

PENHA, L. A. O.; PASSINI, T.; GOMES, H. L. L. **Consórcio de canola com aveia-preta em sistema plantio direto orgânico para produção de grãos e palha e manejo de plantas daninhas**. In: Anais do VI Congresso Latino Americano de Sustentabilidade. Brasília, 2017.

PÉREZ-BERMÚDEZ, P. O.; OLMO, M.; GIL, J.; GARCÍA-FERRÍZ, L.; OLMO, C.; BOLUDA, R.; GAVIDIA, I. Cover crops and pruning in Bobal and Tempranillo vineyards have little influence on grapevine nutrition. **Scientia Agricola**, v.73, p.260-265, 2016.

PIERRI, L.; PAULETTI, V.; SILVA, D. A.; SCHERAIBER, C.F.; SOUZA, J.L.M.; MUNARO, F.C. Sazonalidade e potencial energético da biomassa residual agrícola na região dos Campos Gerais do Paraná. **Rev. Ceres**, v. 63, n.2, p. 129-137, 2016.

ROSSETO, R. E.; SANTOS, R. F.; SECCO, D.; CHANG, P. Temperatura do Solo e desenvolvimento de cultivos agrícolas. **Journal of Agronomic Sciences**, v.6, n. especial, p.95-103, 2017.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SILVA, F.; AZEVEDO, C. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**. v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SIMEPAR. Contato. 2018. Disponível em: < [www.simepar.br](http://www.simepar.br)>. Acesso em: 05 ago 2018.

SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Alterações químicas promovidas pelo pré-cultivo de *Crotalaria juncea*, associada à adubação com compostos orgânicos de diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.3, p.1-6, 2013.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **R. Bras. Ci. Solo**, v.35, p.213-223, 2011.

VIEIRA, C. **Estudo monográfico do consórcio milho-feijão no Brasil**. Viçosa: UFV, 1999. 183p

WOLSCHICK, N.H. **Desempenho de plantas de cobertura e influência nos atributos do solo e na produtividade de culturas em sucessão**. Lages, 2014. 93 p.

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.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do trabalho permite concluir que a tecnologia do uso de plantas de cobertura de inverno proporcionou melhorias em atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo em comparação com a área de Mata Nativa utilizada como tratamento de controle local.

Com relação às características químicas do solo, verificou-se que para os parâmetros de Potássio, Magnésio e Carbono Orgânico Total, os tratamentos com Aveia Preta e Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco apresentaram valores superiores que os demais tratamentos.

Já para as características físicas os tratamentos com a Aveia Preta e Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco apresentaram valores de densidade do solo semelhantes ao encontrados na área de Mata Nativa.

A utilização dos tratamentos propostos de maneira geral resultou em benefícios à porosidade do solo, pois a microporosidade apresentou um aumento significativo com destaque para o cultivo de Aveia Preta indicando uma possibilidade de maior disponibilidade de água para as plantas já que os microporos são os principais responsáveis pela retenção de água no perfil do solo e pelo aumento a disponibilidade de água para as plantas.

A macroporosidade apresentou maiores valores nos tratamentos Aveia Preta e Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco, sendo estes semelhantes aos encontrados na Mata Nativa. A macroporosidade afeta diretamente a percolação de água no perfil do solo, auxiliando assim no melhor abastecimento dos lenções freáticos.

Na comparação entre os tratamentos verificou-se que o tratamento Aveia Preta + Nabo Forrageiro + Ervilhaca + Centeio + Tremoço Branco foi o que apresentou os melhores resultados de carbono de biomassa do solo e quociente microbiano.

Neste estudo foi possível concluir que o uso de plantas de cobertura em áreas tradicionalmente não cultivadas durante o período de inverno, apresenta grande potencial de contribuição para melhoria do manejo e conservação do solo e da água.

A importância do tema de conservação do solo em áreas cultivadas e os resultados obtidos nos tratamentos estudados permitem sugerir que a metodologia

utilizada no estudo possa ser reproduzida em diferentes condições edafológicas e edafoclimáticas contribuindo para o aperfeiçoamento e maior divulgação da tecnologia em diferentes regiões.

Por fim, destaca-se também que a avaliação do efeito do uso de plantas de cobertura por mais de um ciclo de cultivo deve ser testado para que seja possível a avaliação dos efeitos da tecnologia a longo prazo.


## **ANEXOS**

## ANEXOS 1



[RESUMO](#) [AVALIAÇÃO](#) [EDIÇÃO](#)

## Submissão


Autores	Amarildo Antonio Tessaro, Sideney Becker Onofre, Mauricio Antonio Pereira, Ademir Calegari, Ricardo Ralisch	
Título	Caracterização físico química e produtividade da soja em solo com sistemas de manejo com plantas de cobertura de inverno no sudoeste do Paraná - Brasil	
Documento original	<a href="#">11110-36748-2-SM.DOCX</a>	2021-10-07
Docs. sup.	<a href="#">11110-36749-1-SP.PDF</a>	2021-10-07
		<a href="#">INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR</a>
Submetido por	Prof. Amarildo Antonio Tessaro 	
Data de submissão	outubro 7, 2021 - 03:37	
Seção	Artigos Científicos	
Editor	Nenhum(a) designado(a)	
Comentários do Autor	Encaminhado artigo para avaliação e posterior publicação.	

## ANEXOS 2



[RESUMO](#) [AVALIAÇÃO](#) [EDIÇÃO](#)

## Submissão

Autores	Amarildo Antonio Tessaro, Sideney Becker Onofre, Maurício Antonio Pereira, Ademir Calegari, Ricardo Ralisch	
Título	Perfil microbiológico e produtividade da soja em solo com sistemas de manejo com plantas de cobertura de inverno no sudoeste do Paraná - Brasil	
Documento original	<a href="#">11112-36753-2-SM.DOCX</a>	2021-10-07
Docs. sup.	<a href="#">11112-36758-1-SP.PDF</a>	2021-10-07
		<a href="#">INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR</a>
Submetido por	Prof. Amarildo Antonio Tessaro 	
Data de submissão	outubro 7, 2021 - 04:01	
Seção	Artigos Científicos	
Editor	Nenhum(a) designado(a)	
Comentários do Autor	Encaminho artigo para avaliação e posterior publicação.	

## ANEXOS 3

Journal of Sustainable Development: Vol. 12, No. 5; 2019  
 ISSN 1913-9063 E-ISSN 1913-9071  
 Published by Canadian Center of Science and Education

### Soybean Yields and Biomass Production of Winter Cover Crops in the Southwest of Paraná – Brazil

Amarildo Antônio Tessaro<sup>1</sup>, Mauricio Antônio Pereira<sup>2</sup>, Ademir Calegari<sup>3</sup>, Sideney Becker Onofre<sup>4</sup> & Ricardo Ralisch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Londrina – UEL - Centro de Ciências Agrárias, Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445 Km 380, Campus Universitário, Londrina - PR, 86055-900, Brazil

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná – UFPR - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê, Curitiba - PR, 80035-050, Curitiba, Brazil

<sup>3</sup> Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR - Rodovia Celso Garcia Cid, km 375 - 86047-902 - Londrina-PR, Brazil

<sup>4</sup> Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão da Inovação - PPGTI - Universidade Comunitária da Região de Chapecó - UNOCHAPECÓ - Chapecó - Santa Catarina, Brazil

Correspondence: Sideney Becker Onofre, Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão da Inovação - PPGTI - Universidade Comunitária da Região de Chapecó - UNOCHAPECÓ - Chapecó - Santa Catarina, Brazil.  
 E-mail: beckerside@unochapeco.edu.br

Received: July 21, 2019

Accepted: August 28, 2019

Online Published: September 29, 2019

doi:10.5539/jsd.v12n5p40

URL: <https://doi.org/10.5539/jsd.v12n5p40>

#### Abstract

The use of winter cover crops is an important practice for the management and conservation of soil and water in southern Brazil. The objective of this work was to evaluate the accumulation of green mass and dry mass in the aerial part of winter cover crops in monocropping and intercropping in southwestern Paraná, in the years 2016 and 2017. Randomized blocks were used as experimental design with a subdivided plot scheme of 50 m<sup>2</sup> with five replications. The cover crops used in monocropping were black oats and wheat, while for the intercropping black oats + turnips + rye + white lupin (AP+NF+C+TB), black oats + turnips (AP+NF) and black oats + turnips + rye + vetches + white lupin + buckwheat (AP+NF+C+E+TB+TM) were used. The data were subjected to analysis of variance and the means were compared by the Tukey test at 5 % probability. The intercrop composed of black oats + turnips + rye + vetches + white lupin + buckwheat had a higher production of green mass, with an average value of 50.880 kg ha<sup>-1</sup>. For the production of dry mass, the monocrop of black oats had higher yields, with an average value of 5.168 kg ha<sup>-1</sup>. The highest yields were obtained in the coverage area with black oats, turnips, rye, vetches, white lupin and buckwheat, presenting a yield in 2017 of 4.487 kg ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** winter cover crops, green mass, dry mass, intercrop, conservative agriculture