

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

TATIANE OHLAND

**FRACIONAMENTO DO FÓSFORO E DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM
FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E ADUBAÇÃO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2019

TATIANE OHLAND

**FRACIONAMENTO DO FÓSFORO E DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM
FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E ADUBAÇÃO**

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

Orientadora: Dr.^a Maria do Carmo Lana

Coorientadores: Dr. Jean Sérgio Rosset

Dr. Jucenei Fernando Frandoloso

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2019

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

Ohland, Tatiane

Fracionamento do fósforo e da matéria orgânica do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e adubação / Tatiane Ohland; orientador(a), Maria do Carmo Lana; coorientador(a), Jean Sérgio Rosset, coorientador(a)II, Jucenei Fernando Frandoloso, 2019.

123 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.

1. Carbono orgânico total. 2. Substâncias húmicas. 3. P orgânico. 4. P inorgânico. I. Lana, Maria do Carmo. II. Rosset, Jean Sérgio. III. Frandoloso, Jucenei Fernando. IV. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

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

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

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

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

TATIANE OHLAND

Fracionamento do fósforo e da matéria orgânica do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e adubação

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Maria do Carmo Lana

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

Edleusa Pereira Seidel

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

Edmar Soares de Vasconcelos

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

Alfredo Richart

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

Jean Sergio Rosset

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)

Marechal Cândido Rondon, 15 de fevereiro de 2019

*Dedico o presente trabalho a minha mãe,
que foi meu maior apoio nesta
caminhada. Ao meu pai, irmãos e
namorado que não mediram esforços
para me ajudar nessa etapa tão
importante da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada seria possível e não estaríamos aqui reunidos, desfrutando, juntos, destes momentos que nos são tão importantes.

Nada na vida conquistamos sozinhos. Sempre precisamos de outras pessoas para alcançar os nossos objetivos. Muitas vezes um simples gesto pode mudar a nossa vida e contribuir para o nosso sucesso.

Por isso agradeço aos meus pais, Carlos e Albertina, pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

Ao meu namorado John Drisner, pelo carinho, amor e apoio em todos os momentos. Aos meus irmãos Leandro e Evandro, que são e serão sempre os meus melhores amigos e a todos os familiares que depositaram em mim confiança.

Agradeço a minha orientadora, professora Dr.^a Maria do Carmo Lana, por gentilmente ter me ajudado e me guiar no decorrer deste trabalho, me dando todo suporte necessário.

Ao meu coorientador Dr. Jucenei F. Frandoloso por todo o seu conhecimento e auxílio técnico transmitido durante a realização das análises laboratoriais.

Ao meu coorientador Dr. Jean S. Rosset, por seu apoio e sugestões na área de estudo.

Ao engenheiro agrônomo Tiago Madalosso, pela colaboração na realização do trabalho e ao Centro de Pesquisa Agrícola da Cooperativa Agroindustrial Consolata - Copacol, pela concessão da área utilizada no experimento.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia e a Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pelo acolhimento e disponibilidade de infraestrutura para a realização do curso de Pós-graduação.

A minha amiga e vizinha, Ramony Dafne Sbaraini, pela sua amizade, pelos seus conselhos e motivação nesta etapa.

Muito Obrigada!

RESUMO

OHLAND, Tatiane. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2019. **Fracionamento do fósforo e da matéria orgânica do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e adubação.** Orientadora: Maria do Carmo Lana. Coorientadores: Jean Sérgio Rosset e Jucenei Fernando Frandoloso.

O presente trabalho teve por objetivo verificar alterações nas frações da matéria orgânica (MO) e nas frações de fósforo (P) do solo (inorgânico e orgânico), sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, em dois anos de avaliação (2015 e 2016), em área experimental localizada no município de Cafelândia, PR. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Na safra de verão todas as parcelas foram cultivadas com soja. No cultivo de inverno foram instaladas nas parcelas as diferentes culturas (5): milho, milho+braquiária, crotalária, aveia preta e trigo. Nas subparcelas foram aplicadas as três fontes de fertilizantes: orgânico, organomineral e mineral. O fertilizante orgânico utilizado foi a cama de frango, o fertilizante organomineral foi produzido a partir da peletização da cama de frango e fertilizante mineral granulado. As frações ácido fúlvico (AF) e ácido húmico (AH) da MO e os teores de P inorgânico e orgânico lábeis foram sensíveis aos diferentes cultivos de inverno. Já a fração húmica (HUM) foi pouco influenciada pelo manejo de inverno. O fertilizante orgânico aumenta os teores de carbono (C) das frações húmicas da MO e os teores de P inorgânico e orgânico na camada superficial do solo e não altera os teores de C orgânico total e as frações oxidáveis do solo. O fertilizante mineral aumenta o teor de C nas frações húmicas da MO e o teor de P orgânico lábil e moderadamente resistente, na camada de 0,20-0,40 m. O cultivo de trigo, milho e milho + braquiária em sucessão à soja aumentam os níveis de P inorgânico lábil na camada de 0,00-0,10 m, sob fertilizante organomineral e mineral. A supressão da adubação organomineral e mineral de semeadura em plantas de cobertura reduz os teores de P_i do solo.

Palavras-chave: carbono orgânico total; substâncias húmicas; P orgânico, P inorgânico.

ABSTRACT

OHLAND, Tatiane. State University of Western Paraná, in February 2019. **Fractionation of phosphorus and soil organic matter in function of different cropping systems and fertilization.** Advisor: Maria do Carmo Lana. Co-Advisors: Jean Sérgio Rosset and Jucenei Fernando Frandoloso.

The aim of the present research was to verify changes in organic matter fractions and soil phosphorus fractions (inorganic and organic) under different winter crops and fertilizer sources in grain production systems. The soil samples were collected at 0.00-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m depths, in 2015 and 2016. A randomized complete block design was used in a split-plot scheme with four replications. In the summer crop all plots were cultivated with soybean. In the winter period, the plots received different crops (5): black oats, *Crotalaria spectabilis*, corn, corn + *Brachiaria ruziziensis* and wheat. In the subplots the three fertilizer sources were applied: organic, organomineral and mineral. The organic fertilizer used was the poultry litter, organomineral fertilizer was produced from the pelletizing of poultry litter and granular mineral fertilizer. The fulvic acid and humic acid fractions of the organic matter and the inorganic and organic phosphorus (P) levels were sensitive to the different winter crops. The humin fraction was little influenced by winter management. The organic fertilizer increases the carbon (C) level of the humic fractions of the organic matter and the inorganic and organic phosphorus level in the soil surface layer and does not alter the total organic carbon and oxidizable fractions of the soil. Mineral fertilizer increases the carbon level in the humic fractions of organic matter and the level of labile and moderately resistant organic phosphorus in the layer of 0.20-0.40 m. Cultures of wheat, corn and corn + *Brachiaria* in succession with soybean increase the levels of labile inorganic P in the layer 0.00-0.10 m, under organomineral and mineral fertilizer. The suppression of organomineral and mineral fertilization of sowing in the cover crops reduces the soil Pi levels.

Keywords: total organic carbon; humic substances; organic P, inorganic P.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2 REFERÊNCIAS.....	16
3 CAPÍTULO 1 - CARBONO ORGÂNICO TOTAL E FRAÇÕES OXIDÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E FONTES DE FERTILIZANTES.....	20
3.1 RESUMO.....	20
3.2 ABSTRACT	21
3.3 INTRODUÇÃO	22
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.4.1 Caracterização da Área Experimental.....	23
3.4.2 Delineamento Experimental	25
3.4.3 Condução do Experimento.....	26
3.4.4 Coleta das Amostras de Solo.....	29
3.4.5 Análises Realizadas	29
3.4.6 Análises Estatísticas	30
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
3.6 CONCLUSÕES	40
3.7 REFERÊNCIAS.....	40
4 CAPÍTULO 2 – FRAÇÕES HÚMICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E FONTES DE FERTILIZANTES	44
4.1 RESUMO.....	44
4.2 ABSTRACT	45
4.3 INTRODUÇÃO	46
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
4.4.1 Caracterização da Área Experimental.....	48
4.4.2 Delineamento Experimental	48
4.4.3 Condução do Experimento.....	48
4.4.4 Coleta das Amostras de Solo.....	48
4.4.5 Análises Realizadas	48
4.4.6 Análises Estatísticas	49

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.6 CONCLUSÕES	60
4.7 REFERÊNCIAS.....	61
5 CAPÍTULO 3 - FRAÇÕES LÁBIL, MODERADAMENTE LÁBIL E MODERADAMENTE RESISTENTE DE FÓSFORO INORGÂNICO E ORGÂNICO DO SOLO INFLUENCIADAS POR SISTEMAS DE CULTIVOS E ADUBAÇÃO	65
5.1 RESUMO.....	65
5.2 ABSTRACT	66
5.3 INTRODUÇÃO	67
5.4 MATERIAL E MÉTODOS	69
5.4.1 Caracterização da Área Experimental.....	69
5.4.2 Delineamento Experimental	69
5.4.3 Condução do Experimento	69
5.4.4 Coleta das Amostras de Solo	69
5.4.5 Análises Realizadas	69
5.4.6 Análises Estatísticas	70
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
5.6 CONCLUSÕES	90
5.7 REFERÊNCIAS.....	90
6 CAPÍTULO 4 - FRAÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E FONTES DE FERTILIZANTES	95
6.1 RESUMO.....	95
6.2 ABSTRACT	96
6.3 INTRODUÇÃO	97
6.4 MATERIAL E MÉTODOS	98
6.4.1 Caracterização da Área Experimental.....	98
6.4.2 Delineamento Experimental	98
6.4.3 Condução do Experimento	99
6.4.4 Coleta das Amostras de Solo	99
6.4.5 Análises Realizadas	99
6.4.6 Análises Estatísticas	100
6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
6.6 CONCLUSÕES	116
6.7 REFERÊNCIAS.....	116

7 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	121
ANEXO	122

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é destaque mundial na produção de grãos. Na safra 2017/2018, a área cultivada foi de 61,7 milhões de hectares e a produção de grãos chegou a 227,8 milhões de toneladas (CONAB, 2018). A soja e o milho são as principais culturas da safra brasileira e devem responder por cerca de 89% dos grãos produzidos no país. Para safra 2018/2019, a expectativa é de que a produção de soja alcance 120,1 milhões de toneladas e a do milho 91,1 milhões (CONAB, 2018).

Dentre as regiões produtoras de grãos, o Oeste do Paraná, tem-se destacado pelo seu potencial agrícola, devido principalmente pelas características de solo, topografia e condições climáticas. Nesta região predomina o cultivo em sucessão soja (verão) e milho/trigo (inverno), em semeadura direta.

A adoção de mecanização intensiva e o uso de práticas de manejo inadequadas alteram os atributos edáficos, os quais levam à degradação, reduzindo a fertilidade do solo, principalmente devido à erosão, perda de nutrientes e matéria orgânica (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2013).

A reversão da degradação do solo pode ser realizada por meio de práticas conservacionistas do solo, como o Sistema Plantio Direto (SPD). Neste sistema ocorre a manutenção de resíduos vegetais na superfície, somada à ausência de revolvimento do solo e o uso de rotação de culturas (GAZOLLA et al., 2015).

O SPD em culturas anuais promove diversos benefícios ao solo, tais como o aumento do teor de carbono (C) e nitrogênio (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN., 2012; PEREIRA et al., 2013; ROSSET; SCHIAVO; ATANÁZIO, 2014; ROSSET et al., 2016a), bem como melhorias dos atributos físicos e químicos (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012; BEUTLER et al., 2015) e biológicos (LEITE et al., 2010; PEREIRA et al., 2013) em função do tempo de adoção do sistema (ANGHINONI, 2007).

A substituição de áreas nativas por sistemas agrícolas resulta num rápido decréscimo do conteúdo de carbono orgânico do solo (COT) em virtude da combinação de fatores climáticos, tais como elevada temperatura e umidade, associados às práticas de manejo agrícola, aumentando a emissão de C em forma de gases para atmosfera, a exemplo do dióxido de carbono (CO₂) (STÜRMER et al., 2011; SMITH, 2012). Nestes sistemas, a dinâmica da matéria orgânica do solo

(MOS) pode ser influenciada pelo manejo, preparo do solo, fertilizantes minerais, e materiais orgânicos que podem ser adicionados ao solo com emprego de plantas de cobertura (ROSSI et al., 2012).

A MOS é constituída por cerca de 58% de C e a entrada de C no solo está relacionada, principalmente, com o aporte de resíduos da biomassa aérea e radicular das plantas e liberação de exsudatos radiculares. A MOS compreende a matéria orgânica viva que esta associada às células de organismos vivos, temporariamente imobilizados, e raramente ultrapassam 4% do COT. Outra parte da MOS é a fração não-vivente, representada especialmente pelas frações orgânicas estabilizadas na forma de substâncias húmicas (SHs) (SILVA; MENDONÇA, 2007).

A MOS não-vivente contribui em média, com 98% do C em formas orgânicas do solo, podendo ser subdividida em matéria macrororgânica e húmus. O húmus, por sua vez, é um compartimento que consiste de SHs (70%) e não-húmicas (30%) (SILVA; MENDONÇA, 2007). As SHs têm capacidade de interagir com a fração coloidal do solo e alterar os atributos físicos, químicos e biológicos do ambiente edáfico, exercendo papel importante na fertilidade e estrutura do solo (SILVA et al., 2017; RAMOS et al. 2018; WOLSCHICK et al., 2018), além de imobilizar metais pesados (ZHANG et al., 2013; YU et al., 2018).

A avaliação dos teores de COT auxilia na identificação dos efeitos de diferentes manejos sobre a MOS, porém, em determinadas situações, a sensibilidade deste indicador quantitativo de identificar modificações não ocorre (BARRETO et al., 2011). Neste caso, é importante que se conheça a forma de distribuição dos diferentes compartimentos que compõem a MOS, como o carbono das frações húmicas (BEZERRA et al., 2013; GAZOLLA et al., 2015; ROSA et al., 2017) e das frações oxidáveis (BIELUCZYK et al., 2017; SILVA et al., 2017; LIU et al., 2018).

As diferentes frações do COT apresentam características químicas, físicas e morfológicas distintas, e a distribuição destas pode indicar a qualidade da MOS (CANELLAS et al., 2003; COELHO et al., 2013). As frações húmicas são consideradas indicativas dos processos e do grau de humificação da MOS, sendo subdivididas nas frações: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM) (NASCIMENTO et al., 2010).

A fração AF apresenta coloração amarelo-amarronzada; a fração AH, de coloração preta ou amarronzada, representam a porção solúvel em meio alcalino, já a fração HUM permanece ligada à fase mineral do solo e sendo insolúvel em meio alcalino (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Estudos realizados demonstram que a fração HUM é a mais abundante em solos de textura argilosa, enquanto as frações AF e AH variam de acordo com o manejo adotado e a camada do solo (PINHEIRO et al., 2003; ROSSET et al., 2016a). Assim, variações na distribuição destas frações podem indicar o impacto do sistema de manejo na qualidade do solo.

As frações oxidáveis da MOS são obtidas por meio de diferentes concentrações de ácido sulfúrico, conforme método estabelecido por Chan, Bowman e Oates (2001), separando o carbono orgânico em quatro frações com graus decrescentes de oxidação (F1, F2, F3 e F4). As frações F1 e F2 estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e com a formação de macroagregados (CHAN; BOWMAN; OATES, 2001), sendo a fração F1 a de maior labilidade no solo (LOSS et al., 2009; BARRETO et al., 2011). Já as frações F3 e F4 estão relacionadas aos compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (STEVENSON, 1994; RANGEL et al., 2008).

Através do C oriundo das frações oxidáveis é possível verificar mudanças ocasionadas no solo por meio de diferentes sistemas de uso (LOSS et al., 2014; LIU et al., 2018). A maior proporção do C orgânico das frações F1 e F2 ocorre nas camadas superficiais, devido a adição e deposição dos resíduos vegetais nesta camada em SPD (LOSS et al., 2009). Segundo Rosset et al. (2016a) em áreas sob SPD manejadas ao longo do tempo, a fração F1 predomina em comparação à F4.

Os sistemas de manejos, além de alterar a dinâmica da MOS, também podem influenciar nos teores de nutrientes no solo e no teor de fósforo (P). Os solos tropicais apresentam baixos teores de P disponível para as plantas e necessitam de adequado manejo da adubação para se manterem a capacidade de suporte do sistema de produção agrícola. Nestes solos, parte do P fornecido na adubação fica retido na superfície das argilas devido ao fenômeno de adsorção, requerendo maiores doses de fosfatos nas adubações (SOUSA et al., 2004).

No caso do SPD, há o acúmulo de P a partir da superfície do solo, decorrente da aplicação dos adubos fosfados na camada superficial, do não-revolvimento do solo e da deposição dos resíduos das culturas na superfície,

evoluindo no perfil com o tempo de cultivo. A intensidade deste processo depende do tipo de solo, do manejo e sistema de cultivo (ANGHIONONI, 2007).

O P é encontrado no solo na forma inorgânica e orgânica. O P inorgânico compreende o íon fosfato, P estrutural dos minerais fosfatados do solo e todas as formas de fosfato precipitadas com compostos inorgânicos ou adsorvidos a eles. A forma orgânica do P abrange os compostos orgânicos, como o P na biomassa microbiana do solo e o P estrutural ou adsorvido aos resíduos orgânicos e MOS. Em relação ao P total do solo, o P orgânico pode representar de 20 a 80% (GATIBONI et al., 2013).

Para a melhor compreensão da disponibilidade de P, vários métodos têm sido desenvolvidos para fracionar suas formas no solo e, com isto estudar suas transformações. Os métodos de fracionamento do P têm como pressuposto a extração sequencial em uma amostra de solo com uma série de reagentes ou soluções extratoras com seletividade para dissolver diferentes formas de P, com base na natureza do composto fosfato e da energia de ligação (GATIBONI et al., 2013). As técnicas de fracionamento de P permitem entender melhor a dinâmica deste elemento no solo e identificar as formas preferenciais com que o P é retido no solo, podendo então, determinar como estas formas contribuem para o suprimento de P às plantas (TELES, 2014).

Em estudo com fracionamento de P, Rodrigues et al. (2009), verificaram que a aplicação de superfosfato triplo proporcionou maior acúmulo de P inorgânico e orgânico na fração lábil e pouco lábil, e a aplicação de fosfato reativo de Arad incrementou os teores das frações de P ligado ao Ca.

O P adicionado ao solo na forma de superfosfato triplo incrementa principalmente a fração moderadamente lábil e, em menor proporção, as frações que compõem o P lábil do solo (GONÇALVES; MEURER, 2009). Ceretta et al. (2010), analisando frações de P após sucessivas aplicações de dejetos de suínos, verificaram aumento no teor de P até 0,25 m de profundidade, principalmente nas frações inorgânicas.

Em solos cultivados, Silva et al. (2003), verificaram menores teores de P nas frações orgânicas do que solos não cultivados. Estes autores também observaram menores teores de P nas frações pouco lábeis e maiores nas frações mais lábeis em solos cultivados com braquiária. Já Rosset et al. (2016b) evidenciaram que o manejo da adubação fosfatada e da MOS em função do tempo de adoção do SPD (6 para

22 anos), aumentou os teores de todas as frações de P inorgânico (0,00-0,10 m), bem como, as frações de P orgânico lábil (0,05-0,10 m), moderadamente lábil (0,00-0,10 m) e moderadamente resistente (0,05-0,10 m). Além disso, observaram interações entre as frações de P inorgânico e os AF e AH, e entre o P orgânico moderadamente resistente e a fração HUM.

Estudos visando melhor compreensão da dinâmica das frações da MOS em áreas com diferentes sistemas de produção de grãos não ficam restritos apenas a avaliação dos teores de COT. Bem como, para compreender melhor a dinâmica do P em solos, é necessário conhecer as diferentes frações do elemento. Desta forma, há necessidade de avaliar o efeito dos diferentes sistemas de cultivos e de fontes de fertilizantes sobre as frações da MOS e nas frações de P do solo.

O presente trabalho desenvolvido no Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) da Copacol e na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, teve como hipótese que a utilização de diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes promovem alterações nas frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica e nos teores de P nas frações inorgânicas e orgânicas do solo. Para avaliar essa hipótese, a tese foi dividida em quatro capítulos com diferentes objetivos.

O capítulo 1 intitulado “Carbono orgânico total e frações oxidáveis da matéria orgânica do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e fontes de fertilizantes”, teve por objetivo avaliar as alterações no teor de carbono orgânico do solo e nas frações oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção de grãos.

O capítulo 2 intitulado “Frações húmicas da matéria orgânica do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e fontes de fertilizantes”, teve por objetivo verificar alterações nas frações húmicas da matéria orgânica do solo sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção de grãos.

O capítulo 3 intitulado “Frações lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente de fósforo inorgânico e orgânico do solo influenciadas por sistemas de cultivo e adubação”, teve por objetivo avaliar as alterações nas frações de fósforo inorgânico e orgânico do solo sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção de grãos.

O capítulo 4 intitulado “Frações de fósforo inorgânico do solo em função de diferentes sistemas de cultivo e fontes de fertilizantes”, teve por objetivo avaliar as alterações nas frações de fósforo inorgânico do solo sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção de grãos.

2 REFERÊNCIAS

- ANGHIONONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, Cap. 15, 2007. p. 873-928.
- BARRETO, P.A.B. et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v.81, n.3, p.213-220, 2011.
- BEUTLER, S.J. et al. Humic substances and phosphorus fractions in areas with crop-livestock integration, pasture and natural cerrado vegetation in Goiás, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Yucatán, v.18, p.11-25, 2015.
- BIELUCZYK, W. et al. Granulometric and oxidizable carbon fractions of soil organic matter in crop-livestock integration systems. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.38, n.2, p.607-622, 2017.
- BEZERRA, R.P.M. et al. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, p.2637-2654, 2013.
- CANELLAS, L.P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.935-944, 2003.
- CERETTA, C.A. et al. Frações de fósforo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.593-602, 2010.
- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in a oxic paleustalf under different pastureley. **Soil Science**, New Brunswick, v.166, n.1, p.61-67, 2001.
- COELHO, M.S. et al. Qualidade da matéria orgânica do solos sob cultivo de café consorciado com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1576-1586, 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grão: safra 2018/2019**. v.6, n.3, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/gaos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 18 dez. 2018.
- GATIBONI, L.C. et al. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. In: ARAÚJO, A.P.; AVELAR, B.J.R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.8, p.141-187, 2013.
- GAZOLLA, P.R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.36, n.2, p.693-704, 2015.

GONÇALVES, G.K.; MEURER, E.J. Frações de fósforo no solo e sua relação com a absorção pelas plantas de arroz irrigado por alagamento em solos de Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.357-362, 2009.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.909-920, 2012.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do Estado de Goiás. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina, v.34, p.2615-2628, 2013.

LEITE, L.F.C. et al. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no Cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.1273-1280, 2010.

LIU, H. et al. 16-Year fertilization changes the dynamics of soil oxidizable organic carbon fractions and the stability of soil organic carbon in soybean-corn agroecosystem. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.265, p.320-330, 2018.

LOSS, A. et al. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.30, n.1, p. 43-54, 2014.

LOSS, A. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aléias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.4, p.867-874, 2009.

NASCIMENTO, P.C. et al. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, p. 339-348, 2010.

PEREIRA, M.F.S. et al. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v.9, p.21-32, 2013.

PINHEIRO, E.F.M. et al. Matéria orgânica em Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas, v.9, n.1; p.53-56, 2003.

RAMOS, F.T. et al. Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil. **Journal Science Food Agriculture**, v.98, p.3595-3602, 2018.

RANGEL, O.J.P. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.2, p.429-437, 2008.

RODRIGUES, C.R. et al. Crescimento e acúmulo de fósforo pela soja cultivada em sucessão a diferentes gramíneas forrageiras adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de Arad. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.6, p.1486-1494, 2009.

ROSA, D.M. et al. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.48, n.2, p. 221-230, 2017.

ROSSET, J.S. et al. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1529-1538, 2016 a.

ROSSET, J.S. et al. Phosphorus fractions and correlation with soil attributes in a chronosequence of agricultural under no-tillage. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.37, n.6, p.3915-3926, 2016 b.

ROSSET, J.S.; SCHIAVO, J.A.; ATANÁZIO, R.A.R. Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v.35, n.5, p.2351-2366, 2014.

ROSSI, C.Q. et al. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.1, p.38-46, 2012.

SILVA, C.F. et al. Soil organic matter fractions, chemical attributes and aggregation under forestry and agricultural systems. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.8, n.3, p.459-468, 2017.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, Cap. 6, 2007.p.275-374.

SILVA, M.A. et al. (Eds.). Frações de fósforo em Latossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n.10, p.1197-1207, 2003.

SMITH, P. Soils and climate change. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v.4, p.539-544, 2012.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S., (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, Potafos, p.157-196, 2004.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**: Genesis, composition, reactions. John Wileyand Sons: New York. 1994. 345p.

STÜRMER, S.L.K. et al. Variações nos teores de carbono orgânico em função do desmatamento e revegetação natural do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.21, n.2, p.241-250, 2011.

TELES, A.P.B. **Influência de plantas de cobertura e fertilizantes fosfatados nas frações de fósforo e nos atributos químicos do solo**. 2014, 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2014.

YU, Y. et al. Effects of the addition and aging of humic acid-based amendments on the solubility of Cd in soil solution and its accumulation in rice. **Chemosphere**, Amsterdam, v.196, p. 303-310, 2018.

WOLSCHICK, N.H. et al. Long-term effect of soil use and management on organic carbon and aggregate stability. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.42, 2018.

ZHANG, Y. et al. The influence of humic acids on the accumulation of lead (Pb) and cadmium (Cd) in tobacco leaves grown in different soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v.13, n.1, p.43-53, 2013.

3 CAPÍTULO 1 - CARBONO ORGÂNICO TOTAL E FRAÇÕES OXIDÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E FONTES DE FERTILIZANTES

3.1 RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar alterações no teor de carbono orgânico total (COT) e nas frações oxidáveis da matéria orgânica do solo (MOS) sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção de grãos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas safras de verão todas as parcelas foram cultivadas com soja. No período de inverno as parcelas receberam diferentes culturas (5): milho, milho+braquiária, crotalária, aveia preta e trigo. Nas subparcelas foram aplicadas as três fontes de fertilizantes: orgânico, organomineral e mineral. O fertilizante orgânico utilizado foi a cama de frango, o fertilizante organomineral foi produzido a partir da peletização da cama de frango e fertilizante mineral granulado. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, em 2015 e 2016. Foram avaliados os teores de COT e suas frações oxidáveis (F1, F2, F3 e F4). Verificou-se que a adoção de plantas de coberturas no cultivo de inverno, tais como aveia preta e crotalária, proporcionaram manutenção dos teores de COT e das frações oxidáveis de C do solo e a sucessão soja/crotalária incrementa a fração F3. O uso de diferentes fontes de fertilizantes (orgânico, organomineral e mineral) não altera as frações de carbono oxidáveis do solo, na sessão de 0,00- 0,20 m.

Palavras-chave: fração lábil, fração recalcitrante, COT, fertilizante orgânico e organomineral

3.2 ABSTRACT

TOTAL ORGANIC CARBON AND OXIDIZABLE FRACTIONS OF SOIL ORGANIC MATTER IN THE FUNCTION OF DIFFERENT CROPPING SYSTEMS AND FERTILIZER SOURCES

The aim this research was to verify changes in the total organic carbon content and in the oxidizable fractions of organic matter of soil under different winter crops and fertilizers sources in grain production systems in the western region of Paraná. The soil samples were collected at 0.00-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m depths, in 2015 and 2016. A randomized complete block design was used in a split-plot scheme with four replications. In the summer crop all plots were cultivated with soybean. In the winter period, the plots received different crops (5): black oats, *Crotalaria spectabilis*, corn, corn + *Brachiaria ruziziensis* and wheat. In the subplots the three fertilizer sources were applied: organic, organomineral and mineral. The organic fertilizer used was the poultry litter, organomineral fertilizer was produced from the pelletizing of poultry litter and granular mineral fertilizer. The values of total organic carbon and its oxidizable fractions (F1, F2, F3 and F4) were determined. The adoption of winter cover crops, such as black oats and *C. spectabilis*, allowed the maintenance of total organic carbon levels and the oxidizable fractions of soil C and the soybean / *C. spectabilis* succession increases the fraction F3. The use of different sources of fertilizers (organic, organomineral and mineral) does not alter the oxidizable carbon fractions of the soil, in the session of 0.00-0.20 m.

Key words: labile fraction, recalcitrant fraction, TOC, organic and organomineral fertilizers

3.3 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é o componente chave da qualidade do ambiente edáfico, atuando nos processos que permitem a manutenção da capacidade produtiva, devido a sua influência nos atributos edáficos (LOSS et al., 2014). Assim, a compreensão da dinâmica da MOS em sistemas de produção permite subsidiar o estabelecimento de estratégias de manejo visando melhorar a qualidade do solo (ROSSI et al., 2012).

A conversão de áreas de floresta em áreas destinadas à agricultura resulta no declínio expressivo do conteúdo de carbono (C) dos compartimentos de MOS, acelerando o processo de mineralização e prejudicando os processos de humificação da MOS (GIÁCOMO et al., 2015; SILVA et al., 2017). Desta forma, as alterações no carbono orgânico total (COT) são mais estudadas em sistemas de produção agrícola, em virtude da sua grande extensão, histórico de uso e importância econômica nacional (RANGEL et al., 2008; CAMPOS et al., 2016; COUTINHO et al., 2017).

A avaliação dos teores de COT auxiliam na identificação dos efeitos de diferentes sistemas manejo sobre a MOS, porém, em determinadas situações isto não ocorre (BARRETO et al., 2011; LIU et al., 2018). Neste caso, é importante que se conheça a forma de distribuição dos diferentes compartimentos que compõem a MOS, como o C das frações húmicas (BEZERRA et al., 2013; GAZOLLA et al., 2015; ROSA et al., 2017;) e das frações oxidáveis (BIELUCZYK et al., 2017; SILVA et al., 2017; LIU et al., 2018).

As frações oxidáveis da MOS são obtidas por meio de diferentes concentrações de ácido sulfúrico, conforme método estabelecido por Chan, Bowman e Oates (2001), separando o C orgânico em quatro frações com graus decrescentes de oxidação, por meio da utilização de quantidades crescentes de ácido sulfúrico, sendo denominadas de frações F1, F2, F3 e F4, correspondendo, respectivamente, às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L⁻¹ de ácido sulfúrico (BATISTA et al., 2014).

As frações F1 e F2 estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e com a formação de macroagregados (CHAN; BOWMAN; OATES, 2001), sendo a fração F1 a de maior labilidade no solo (LOSS et al., 2009; BARRETO et al., 2011). Já as frações F3 e F4, são consideradas mais resistentes e estão relacionadas aos

compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (RANGEL et al., 2008; LOSS et al., 2010).

Rosset et al. (2016) estudando Latossolos, também da região oeste do Paraná, verificaram que o teor de COT e o C das frações de maior labilidade da matéria orgânica aumentam em função do tempo de implantação do sistema plantio direto (SPD), com predomínio das frações lábeis da MOS em superfície, e das recalcitrantes nas camadas mais profundas. Loss et al. (2014) observaram que o SPD aumenta os teores de COT e das frações de C oxidável (frações F1 e F4) na camada superficial do solo, quando comparado com o sistema de preparo convencional do solo. Para estes autores as frações oxidáveis da MOS são eficientes para identificar mudanças ocasionadas no solo pelo manejo.

Portanto, os estudos visando melhor compreensão da dinâmica das frações da MOS em áreas com diferentes sistemas de produção de grãos não ficam restritos apenas a avaliação dos teores de COT. Dessa forma, busca-se estudar os compartimentos da MOS, a fim de criar estratégias de manejo do solo que reduzam o impacto da agricultura sobre o ambiente e beneficiem as frações da MOS (LOSS et al., 2011; ROSSI et al., 2012). Diante deste contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar alterações no teor de carbono orgânico total e nas frações oxidáveis de matéria orgânica do solo sob diferentes fontes de fertilizantes e cultivos de inverno, em sistemas de produção grãos.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização da Área Experimental

A pesquisa foi conduzida na área experimental do Centro de Pesquisa Agrícola da Cooperativa Agroindustrial Consolata (CPA Copacol), no município de Cafelândia, PR. A área está localizada a 24°37'18" S de latitude e 53°18'20" W de longitude, a 580 m de altitude. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (SANTOS et al., 2013), com 720, 150 e 130 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente. Na camada de 0,00-0,20 m, realizou-se a análise mineralógica de uma amostra do solo, enviada ao Laboratório de Mineralogia do Solo - ESALQ, sendo verificado o seguinte resultado: SiO₂ = 28,20%, Al₂O₃ = 20,76%, Fe₂O₃ = 19,16%, TiO₂ = 9,04%, MnO = 0,20%, Ki = 2,31% e Kr = 1,53%. O Ki deste solo permite classificá-lo como caulinítico.

Inicialmente realizou-se a amostragem de solo, para fim de recomendação de adubação e calagem. Para análise química, foram amostradas três profundidades: 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m conforme descrito na Tabela 1. As amostras foram compostas de 10 subamostras, coletadas com pá-de-corte.

Tabela 1 - Resultados da análise inicial do solo para as diferentes profundidades

Prof.	P	M.O	pH	Ca	Mg	K	H + Al	Al ³⁺	CTC	SB	Ca/Mg
m	mg dm ⁻³	%		-----cmol _c dm ⁻³ -----							
0,00-0,10	21,10	3,60	4,60	5,15	1,44	0,50	7,20	0,08	14,29	7,09	3,58
0,10-0,20	13,00	2,90	4,50	4,48	1,21	0,34	7,20	0,19	13,23	6,03	3,70
0,20-0,40	2,50	1,80	4,70	3,71	0,96	0,21	5,35	0,10	10,23	4,88	3,86
0,00 - 20	17,05	3,25	4,55	4,82	1,33	0,42	7,20	0,14	13,76	5,06	3,64

Prof.	V	Al	Ca	Mg	K	S-(SO ₄) ⁻²	B	Mn	Zn	Cu	Fe
m	-----%-----					-----mg dm ⁻³ -----					
0,00-0,10	49,62	1,12	36,04	10,08	3,50	3,75	0,60	101	13,34	13,47	15
0,10-0,20	45,58	3,05	33,86	9,15	2,57	5,15	0,55	93	8,64	15,58	22
0,20-0,40	47,70	2,01	36,27	9,38	2,05	17,81	0,47	28	4,38	15,34	23
0,00 - 20	47,60	2,08	34,95	9,61	3,03	4,45	0,57	97	10,99	14,38	18,50

pH = Cloreto de cálcio; B = Cloreto de Bário; S-(SO₄)⁻² = Fosfato monocálcico; Ca, Mg e Al = KCl; C = Bicromato; H+Al = Tampão SMP; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn = Mehlich-1

Visando a elevação da saturação por bases para o valor de 70%, realizou-se a calagem. Foi aplicado calcário dolomítico, PRNT 80%, na dose de 2 Mg ha⁻¹. A calagem foi realizada em agosto de 2013, em superfície, sem revolvimento do solo. Adicionou-se apenas metade da dose calculada pelo método, em função do sistema de cultivo implantado (sistema plantio direto).

A área de condução do experimento apresentava-se sob SPD em sucessão soja – milho segunda safra há três anos. A condução do experimento teve início em agosto de 2013 e término em setembro 2016, totalizando seis cultivos e duas coletas de solo (em 2015 e 2016). Na tabela 1 são apresentados os dados meteorológicos da área experimental para o período de 2014 a 2016.

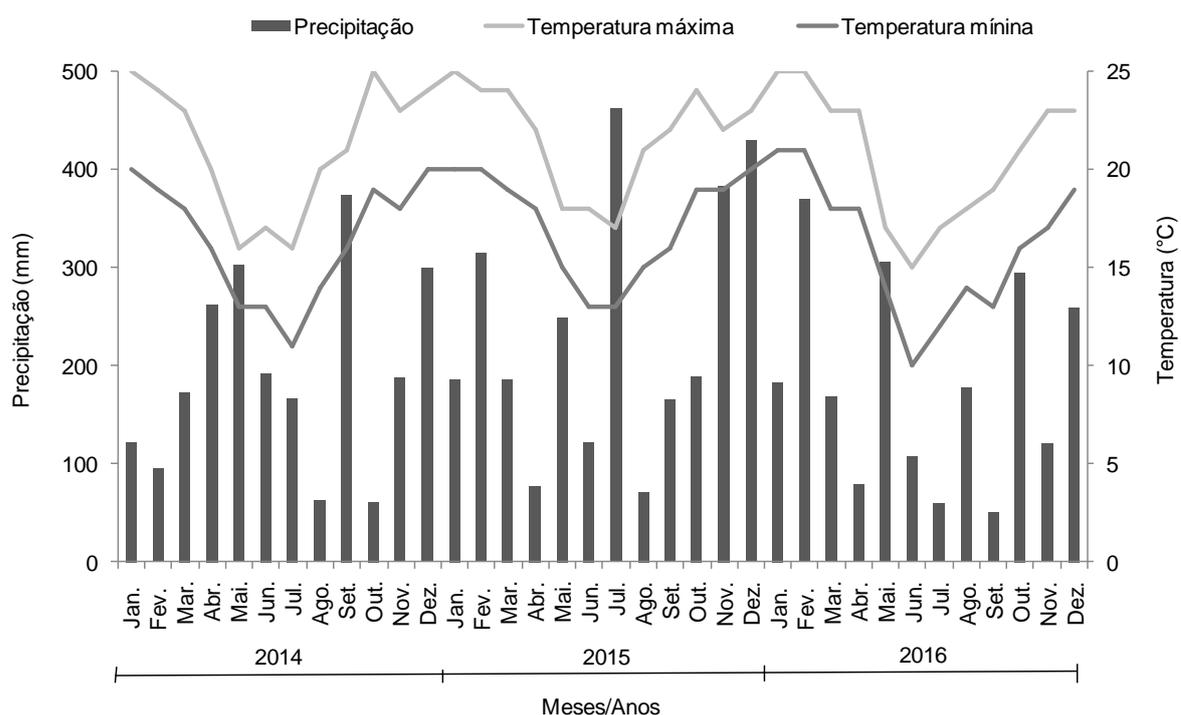


Figura 1 - Dados meteorológicos para o período de 2014 a 2016 na estação meteorológica do Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) da Copacol, em Cafelândia – PR.

3.4.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Na safra de verão todas as parcelas foram cultivadas com soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. No cultivo de inverno foram instaladas nas parcelas as diferentes culturas (5): milho (*Zea mays* L.), milho + braquiária (*Brachiaria ruziziensis* Germain e Evrard), crotalária (*Crotalaria spectabilis* R.), aveia preta (*Avena strigosa* S.) e trigo (*Triticum aestivum* L.). Nas subparcelas foram aplicadas as fontes de fertilizantes (3): orgânico, organomineral e mineral, totalizando 60 subparcelas experimentais. Cada subparcela possuía 65 m² de área total, com 13 m de comprimento por 5 m de largura.

3.4.3 Condução do Experimento

Para o primeiro cultivo de soja (safra 2013/2014) utilizou-se o cultivar Syn 1059 RR, densidade populacional de 22 sementes por m². No segundo (safra 2014/2015) e no terceiro cultivo (safra 2015/2016) utilizou-se a cultivar NA 5909 RR, densidade populacional de 28 sementes por m². O espaçamento entre linhas foi de 0,50 m, sendo a parcela constituída por 10 linhas.

Para a adubação orgânica, a dose de cama de frango utilizada foi de acordo com Fávero (2012), que verificou doses máximas de cama de frango sob rendimento de grãos de soja variou entre 4,1 a 4,3 t ha⁻¹. Nas parcelas com fertilizante orgânico do primeiro e segundo cultivo de soja, a cama de frango foi aplicada à lanço na superfície, dez dias antes da semeadura em dose correspondente 4 t ha⁻¹, utilizou-se cama de frango com 25 g kg⁻¹ de N, 32 g kg⁻¹ de P₂O₅, 31 g kg⁻¹ de K₂O e matéria seca de 80%. Para o terceiro cultivo de soja aplicou-se a cama de frango na dose correspondente 4,5 t ha⁻¹, com 22 g kg⁻¹ de N, 28 g kg⁻¹ de P₂O₅, 27 g kg⁻¹ de K₂O e matéria seca de 78%.

Levando em consideração a porcentagem de matéria seca, os teores de nutrientes e o índice de eficiência de liberação do fertilizante orgânico, chega-se à dose aproximada de 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ e K₂O. Estes 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O foram aplicados somente antes da cultura da soja, sendo que nas culturas de inverno as parcelas com fertilizante orgânico não receberam adubação. Assim, dividindo por dois cultivos, esta adubação representa 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O por cultivo. O demonstrativo dos tratamentos, datas de semeadura dos cultivos, fertilizantes, doses e quantidade de N, P₂O₅ e K₂O aplicados em cada cultivo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Demonstrativo dos tratamentos, fertilizantes, doses e quantidade de N, P₂O₅ e K₂O aplicados em cada cultivo

Cultivo	Safr	Culturas	O	OM	M	O	OM	M			
			----- Fórmula (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) -----			----- Dose -----					
			----- % -----			----- kg ha ⁻¹ -----					
1°	13/14	Soja	2,5-3,2-3,1	3-13-13	5-25-25	4.000	385	200			
		Milho	-	5-10-10	10-15-15	-	500	333			
		Milho+braquiária	-	5-10-10	10-15-15	-	500	333			
2°	14/14	Crotalária	-	-	-	-	-	-			
		Aveia preta	-	-	-	-	-	-			
		Trigo	-	5-10-10	10-15-15	-	500	333			
3°	14/15	Soja	2,5-3,2-3,1	3-13-13	5-25-25	4.000	385	200			
		Milho	-	5-10-10	10-15-15	-	500	333			
		Milho+braquiária	-	5-10-10	10-15-15	-	500	333			
4°	15/15	Crotalária	-	-	-	-	-	-			
		Aveia preta	-	-	-	-	-	-			
		Trigo	-	5-10-10	10-15-15	-	500	333			
5°	15/16	Soja	2,2-2,8-2,7	2-10-10	2-20-18	4.500	500	250			
		Milho	-	7-7-7	10-15-15	-	645	300			
		Milho+braquiária	-	7-7-7	10-15-15	-	645	300			
6°	16/16	Crotalária	-	-	-	-	-	-			
		Aveia preta	-	-	-	-	-	-			
		Trigo	-	7-7-7	10-15-15	-	645	300			
Cultivo	Data de semeadura	Culturas	O	OM	M	O	OM	M			
			----- N -----			----- P ₂ O ₅ -----			----- K ₂ O -----		
			----- kg ha ⁻¹ -----								
1°	06/10/2013	Soja	40	12	10	82	50	50	99	50	50
	19/04/2014	Milho	16*	25	33	21*	50	50	0	50	50
	19/04/2014	Milho+braquiária	16*	25	33	21*	50	50	0	50	50
2°	15/03/2014	Crotalária	16*	0	0	21*	0	0	0	0	0
	15/04/2014	Aveia preta	16*	0	0	21*	0	0	0	0	0
	30/04/2014	Trigo	16*	25	33	21*	50	50	0	50	50
3°	04/10/2014	Soja	40	12	10	82	50	50	99	50	50
	27/02/2015	Milho	16*	25	33	21*	50	50	0	50	50
	27/02/2015	Milho+braquiária	16*	25	33	21*	50	50	0	50	50
4°	11/03/2015	Crotalária	16*	0	0	21*	0	0	0	0	0
	14/04/2015	Aveia preta	16*	0	0	21*	0	0	0	0	0
	29/04/2015	Trigo	16*	25	33	21*	50	50	0	50	50
5°	24/09/2015	Soja	38	10	5	78	50	50	97	50	45
	04/03/2016	Milho	15*	45	30	19*	45	45	0	45	45
	04/03/2016	Milho+braquiária	15*	45	30	19*	45	45	0	45	45
6°	04/03/2016	Crotalária	15*	0	0	19*	0	0	0	0	0
	02/05/2016	Aveia preta	15*	0	0	19*	0	0	0	0	0
	02/05/2016	Trigo	15*	45	30	19*	45	45	0	45	45

*Efeito residual da fertilização de verão. Índice médio de eficiência: N: 0,5 no primeiro cultivo e 0,2 segundo cultivo; P₂O₅: 0,8 no primeiro cultivo e 0,2 no segundo cultivo; K₂O: 1,0 no primeiro cultivo. Fertilizantes: O= orgânico, OM= organomineral e M= mineral.

Os fertilizantes mineral e organomineral do primeiro e segundo cultivo de soja, foram aplicados no sulco de semeadura. O fertilizante mineral utilizado foi o formulado 5-25-25 N-P₂O₅-K₂O, na dose de 200 kg ha⁻¹. O fertilizante organomineral utilizado foi o formulado 3-13-13 N-P₂O₅-K₂O, na dose de 385 kg ha⁻¹, produzido a partir da peletização da cama de frango e fertilizante mineral granulado. Para adubação mineral do terceiro cultivo foi utilizado o formulado 2-20-18 N-P₂O₅-K₂O, na dose de 250 kg ha⁻¹ e o fertilizante organomineral 2-10-10 N-P₂O₅-K₂O, na dose de 500 kg ha⁻¹.

Após a semeadura da cultura da soja, conduziu-se o ensaio, seguindo as indicações técnicas para manejo de plantas daninhas, doenças e insetos praga, conforme recomendações da Embrapa (2013).

Os cultivos de inverno referem-se ao período de 2014 a 2016, totalizando três cultivos. Em todos os períodos utilizou-se a espécie *Crotalaria spectabilis*, com densidade populacional de 100 sementes por m² e espaçamento entre linhas de 0,50 m.

A aveia preta utilizada em todos os cultivos de inverno foi o cultivar BRS 139, em espaçamento de 0,17 m e densidade populacional de 300, 400 e 380 sementes por m² no primeiro, segundo e terceiro cultivo, respectivamente. As culturas de cobertura (aveia preta e crotalária) não foram fertilizadas, assim como os demais tratamentos que receberam fertilizante orgânico no cultivo de verão.

Para a cultura do trigo utilizou-se a cultivar CD 150 nos dois primeiros cultivos, com densidade populacional de 380 sementes por m² e espaçamento entre linhas de 0,17 m. No terceiro cultivo utilizou-se o cultivar OR25, com densidade populacional de 360 sementes por m² e espaçamento entre linhas de 0,17 m.

No primeiro cultivo de milho de inverno utilizou-se o híbrido P 3161 H, com densidade populacional de semeadura de 60.000 sementes ha⁻¹ e espaçamento entre linhas de 0,50 m. Para o segundo e terceiro cultivo de inverno utilizou-se o híbrido de milho AG 910 PRO, com densidade populacional de semeadura de 60.000 e 57.000 sementes ha⁻¹ respectivamente, em espaçamento entre linhas de 0,68 m.

Para os cultivos de inverno, os fertilizantes mineral e organomineral foram aplicados no sulco de semeadura, somente nos tratamentos milho, milho+braquiária e trigo. No primeiro e segundo cultivo de inverno utilizou-se o fertilizante mineral 10-15-15 N-P₂O₅-K₂O, na dose de 333 kg ha⁻¹ e o fertilizante organomineral 5-10-10 N-

P₂O₅-K₂O, na dose de 500 kg ha⁻¹. Para o terceiro cultivo de inverno utilizou-se o fertilizante mineral 10-15-15 N-P₂O₅-K₂O, na dose de 300 kg ha⁻¹ e o fertilizante organomineral 7-7-7 N-P₂O₅-K₂O, na dose de 645 kg ha⁻¹.

Nos tratamentos milho+braquiária, a semeadura da espécie *Brachiaria ruziziensis* foi realizada na mesma data da semadura do milho, sendo efetuada manualmente nas entre linhas do milho, com auxílio de equipamento do tipo “matraca”, com população de 30 sementes por m² de braquiária.

Após a semeadura, conduziu-se o ensaio, seguindo as indicações técnicas para as culturas do milho e trigo, quanto ao manejo de plantas daninhas, doenças e insetos praga. Na cultura da crotalária, realizou-se capina manual para o controle de plantas daninhas. Não foram realizadas aplicações de inseticidas e/ou herbicidas na cultura da aveia preta e crotalária.

3.4.4 Coleta das Amostras de Solo

As amostras de solo foram coletadas em setembro de 2015 e 2016, nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, sendo cinco amostras simples em cada parcela, coletadas de forma aleatória para formar uma amostra composta. Na camada de 0,00-0,20 m, as amostras de solo foram coletas com pá de corte e, na camada de 0,20-0,40 m, as amostras foram coletadas com trado holandês. Após a coleta, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de dois milímetros. As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon - PR.

3.4.5 Análises Realizadas

O COT foi determinado por oxidação via úmida com dicromato de potássio, através do método de Yeomans e Bremner (1988), adaptado por Mendonça e Matos (2005). As frações de carbono orgânico oxidáveis foram determinadas pelo método de Chan et al. (2001), adaptado por Mendonça e Matos (2005) para solos tropicais, utilizando diferentes quantidades de ácido sulfúrico para separar as frações labéis e recalcitrantes em função da variação da proporção de ácido utilizada. As frações foram quantificadas em: Fração 1 (muito facilmente lábil): carbono orgânico oxidado

por K_2CrO_7 em 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 . Fração 2 (facilmente lábil): diferença do carbono orgânico oxidável extraído em 6 mol L^{-1} e 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 . Fração 3 (moderadamente lábil): diferença do carbono orgânico oxidável extraído entre 9 mol L^{-1} e 6 mol L^{-1} de H_2SO_4 . Fração 4 (resistente): diferença do COT e o carbono oxidável extraído com 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 . Os teores iniciais de COT e de C das frações oxidáveis para as diferentes camadas do solo são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Teores iniciais de carbono orgânico total (COT) e teores de carbono nas frações F1, F2, F3 e F4 em diferentes camadas do solo

Camada do solo	COT	F1	F2	F3	F4
	g kg^{-1}				
0,00-0,05 m	27,07	11,46	2,04	9,14	4,43
0,05-0,10 m	21,92	9,35	1,86	6,67	4,03
0,10-0,20 m	18,00	8,76	0,34	3,93	4,98
0,20-0,40 m	10,20	2,86	0,87	2,12	4,34

3.4.6 Análises Estatísticas

Os resultados foram analisados quanto à distribuição normal dos dados e homogeneidade das variâncias. As análises de variâncias foram realizadas para cada camada do solo avaliada, por meio do programa SAEG e os dados das frações F1, F2, F3 e F4 passaram por transformação ($\sqrt{x+1}$). Realizou-se a análise conjunta dos resultados considerando o fatorial Ano x Cultivo de inverno. Para proceder a análise conjunta, inicialmente verificou-se a relação dos quadrados médios residuais das análises individuais. De acordo com Banzatto e Kronka (2006), para realizar a análise conjunta, esta relação não deve ultrapassar o valor de 7/1. O efeito das subparcelas (fontes de fertilizantes) também foi considerado na análise de variância, uma vez que as subparcelas foram condições de campo. A Tabela 4 apresenta o esquema de análise de variância conjunta para parcelas subdivididas e no anexo A (p.122) está apresentado um modelo da análise de variância para a variável COT.

Os graus de liberdade dos tratamentos foram decompostos em contrastes ortogonais entre si, dentro de cada camada do solo. A significância dos contrastes foi testada pelo teste F até 5% de probabilidade. A comparação dos resultados através de contrastes ortogonais demonstra qual o componente teve efeito significativo quando associado com outro componente e é uma alternativa que permite maior grau de detalhamento da análise, tornando possível testar vários

efeitos envolvidos e de interesse (CORRENTE; NOGUEIRA; COSTA, 2001; BERTOLDO et al., 2008). Assim, os contrastes testados foram: $C_1= 2015$ vs 2016 ; $C_2= (Mi+MiB+T)$ vs $(AP+T)$; $C_3= (Mi+MiB)$ vs T ; $C_4= Mi$ vs MiB ; $C_5= C$ vs AP ; $C_6= (O+OM)$ vs M ; $C_7= O$ vs OM ; sendo: Mi = milho; MiB = milho+braquiária; C = crotalária; AP = aveia preta; T = trigo; O = fertilizante orgânico; OM = fertilizante organomineral; M = fertilizante mineral.

Tabela 4 – Esquema de análise de variância conjunta para parcelas subdivididas

Causa de Variação	GL
Blocos/Períodos	$p(r-1)$
Períodos	$p - 1$
Tratamento A	$a - 1$
Tratamento A x Períodos	$(p-1)(a-1)$
Erro a	$p(r-1)(a-1)$
Tratamento B	$b-1$
Tratamento B x Período	$(b-1)(p-1)$
Tratamento B x Tratamento A	$(b-1)(a-1)$
Tratamento B x Tratamento A x Períodos	$(b-1)(a-1)(p-1)$
Erro b	
Total	$p a b r - 1$

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de C da fração F1 na sessão de 0,05-0,40 m e da fração F2 na sessão de 0,00-0,10 m foram superiores no ano de 2015 em comparação com 2016 (Tabela 5), o que evidencia que as condições climáticas tiveram efeito sobre estas frações oxidáveis da MOS. Neste caso, a precipitação acumulada em 2015 foi maior do que em 2016 e esta maior disponibilidade hídrica favorece o desenvolvimento das culturas e o acúmulo de biomassa vegetal (COSTA et al., 2013), bem como aumenta a biomassa microbiana (FRAZÃO et al., 2010; BATISTA et al., 2014), que responde intensamente às flutuações sazonais de umidade, influenciando na ciclagem C do solo.

Estes resultados corroboram com Batista et al. (2014), que constataram maiores proporções do COT nas frações F1 e F2, em época chuvosa e, a maior proporção nas frações mais recalcitrantes (F3 e F4), em época seca. O maior crescimento radicular em época chuvosa promove adições de C no perfil do solo, contribuindo para o aumento das frações F1 e F2, em detrimento das frações F3 e

F4. Assim, as condições de umidade do solo podem ter influenciado na redução das frações F1 e F2 do ano de 2015 para 2016. No entanto, para Liu et al. (2018), a longo prazo, há redução da fração de C muito lábil (F1) e aumento da estabilidade do carbono orgânico do solo (F3 e F4).

Tabela 5 - Teores de carbono orgânico total (COT) e carbono das frações F1, F2, F3 e F4 para os anos de 2015 e 2016 em diferentes camadas do solo

Tratamento	COT	F1	F2	F3	F4
	g kg ⁻¹				
0,00-0,05 m					
2015	28,97	9,27	9,25	5,98	4,47
2016	28,36	8,66	5,70	7,24	6,76
Contraste ⁽¹⁾					
C ₁	- ⁽²⁾	0,61 ^{ns}	3,55 ^{**}	-	-
0,05-0,10 m					
2015	21,90	7,56	6,89	4,38	3,07
2016	21,88	6,06	4,66	5,66	5,49
Contraste ⁽¹⁾					
C ₁	0,02 ^{ns}	1,50 ^{**}	2,23 ^{**}	-	-
0,10-0,20 m					
2015	17,73	5,75	5,00	3,73	3,24
2016	17,97	4,63	3,90	4,84	4,59
Contraste ⁽¹⁾					
C ₁	-0,24 ^{ns}	1,12 ^{**}	1,10 ^{ns}	-	-
0,20-0,40 m					
2015	12,66	3,82	2,98	2,72	3,13
2016	12,29	2,66	2,64	3,35	3,65
Contraste ⁽¹⁾					
C ₁	-	1,16 ^{**}	0,34 ^{ns}	-	-

⁽¹⁾ Contraste: C₁ = 2015 vs 2016. ⁽²⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Os cultivos de inverno alteraram os teores de C da fração F1 na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 6) e das frações F3 e F4 em todas as camadas do solo, com interação entre anos e cultivos de inverno (Tabelas 7 e 8). Para a fração F1 observa-se o cultivo o trigo incrementou (0,59 g kg⁻¹) o teor desta fração em comparação aos cultivos do milho e milho+braquiária, e o cultivo do milho e da crotalária também apresentaram teores de F1 superiores quando comparados aos cultivos de milho+braquiária (C₄) e aveia preta (C₅), respectivamente.

Tabela 6 - Teores de carbono orgânico total (COT) e carbono das frações F1, F2, F3 e F4 em função de diferentes cultivos de inverno e camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	COT	F1	F2	F3	F4
	g kg ⁻¹				
0,00-0,05 m					
Mi	28,23	9,40	7,84	6,14	4,85
MiB	29,42	8,05	7,81	7,39	6,17
T	27,58	9,04	7,03	5,43	6,08
C	29,47	9,41	6,88	7,96	5,22
AP	28,63	8,94	7,81	6,13	5,75
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	- ⁽³⁾	-0,35 ^{ns}	0,22 ^{ns}	-	-
C ₃	-	-0,31 ^{ns}	0,79 ^{ns}	-	-
C ₄	-	1,35 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-	-
C ₅	-	0,47 ^{ns}	-0,93 ^{ns}	-	-
0,05-0,10 m					
Mi	21,99	7,24	5,70	4,75	4,30
MiB	22,65	5,98	5,76	6,17	4,73
T	21,09	7,20	5,71	3,83	4,35
C	21,73	7,31	5,36	5,70	3,36
AP	21,99	6,34	6,35	4,65	4,65
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	0,05 ^{ns}	-0,02	-0,13 ^{ns}	-	-
C ₃	1,23 ^{ns}	-0,59*	0,02 ^{ns}	-	-
C ₄	-0,66 ^{ns}	1,26**	-0,06 ^{ns}	-	-
C ₅	-0,26 ^{ns}	0,97**	-0,99 ^{ns}	-	-
0,10-0,20 m					
Mi	17,00	5,25	3,54	4,59	3,62
MiB	17,75	4,86	4,20	5,00	3,69
T	18,00	5,48	4,49	3,55	4,48
C	18,34	5,28	4,90	5,03	3,13
AP	18,14	5,09	5,12	3,26	4,67
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-0,66 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,93 ^{ns}	-	-
C ₃	-0,63 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	-	-
C ₄	-0,75 ^{ns}	0,39 ^{ns}	-0,66 ^{ns}	-	-
C ₅	0,20 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-	-
0,20-0,40 m					
Mi	11,97	3,05	2,45	3,21	3,26
MiB	11,67	2,70	2,56	2,91	3,49
T	13,15	3,86	2,95	2,69	3,65
C	12,65	3,28	2,75	3,82	2,80
AP	12,93	3,29	3,33	2,56	3,75
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-	-0,08 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-	-
C ₃	-	-0,99 ^{ns}	-0,45 ^{ns}	-	-
C ₄	-	0,35 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-	-
C ₅	-	-0,01 ^{ns}	-0,58 ^{ns}	-	-

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C= crotalaria; AP= aveia preta.

⁽²⁾ Contrastes: C₂= (Mi+MiB+T) vs (C+AP); C₃ = (Mi+MiB) vs T; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP.

⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Tabela 7 - Teor de carbono na fração F3 em função de anos e cultivos de inverno em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	Mi	MiB	T	C	AP	Contraste ⁽²⁾			
	g kg ⁻¹					C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
0,00-0,05 m									
2015	3,86	7,17	4,16	8,91	5,80	-2,29**	1,36 ^{ns}	-3,31**	3,11**
2016	8,42	7,62	6,69	7,00	6,46	0,85 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	-4,56**	-0,45 ^{ns}	-2,53*	1,91 ^{ns}	-0,66 ^{ns}				
0,05-0,10 m									
2015	3,15	6,29	2,30	5,90	4,29	-1,18**	2,40**	-3,14**	1,61*
2016	6,35	6,06	5,36	5,51	5,01	0,66 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	-3,20**	0,22 ^{ns}	-3,06**	0,39 ^{ns}	-0,72 ^{ns}				
0,10-0,20 m									
2015	3,48	4,58	2,89	5,56	2,13	-0,19 ^{ns}	1,14 ^{ns}	-1,10 ^{ns}	3,43**
2016	5,70	5,42	4,21	4,49	4,40	0,67 ^{ns}	1,35*	0,28 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	-2,22**	-0,84 ^{ns}	-1,33 ^{ns}	1,07 ^{ns}	-2,27**				
0,20-0,40 m									
2015	1,79	2,68	2,15	4,71	2,29	-1,29**	0,09 ^{ns}	-0,89 ^{ns}	2,42**
2016	4,63	3,15	3,23	2,93	2,83	0,79 ^{ns}	0,66*	1,48 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	-2,83**	-0,48 ^{ns}	-1,08 ^{ns}	1,78*	-0,54 ^{ns}				

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C= crotalária; AP= aveia preta.

⁽²⁾ Contrastes: C₁= 2015 vs 2016; C₂= (Mi+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Em 2015, os teores de C na fração F3 foram superiores para os cultivos de crotalária e aveia preta nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m em comparação aos demais cultivos (C₂ - Tabela 6). No entanto, na sessão de 0,00-0,10 m, estes cultivos apresentaram teores de F4 inferiores os cultivos de milho, milho+braquiária e trigo (C₂ - Tabela 7). Para este mesmo ano, observou-se que a crotalária incrementou os teores de F3 (C₅ – Tabela 6) e o cultivo da aveia preta incrementou os teores de F4 (C₅ – Tabela 7). O cultivo do milho+braquiária incrementou os teores de F3 e F4 (C₄ – Tabelas 6 e 7). Bieluczyk et al. (2017) e Guareschi et al. (2018) também verificaram efeito da deposição de resíduos orgânicos vegetais com as formas mais recalcitrantes de C e Loss et al. (2013), verificaram que a braquiária incrementa a fração de C oxidável mais recalcitrante.

As leguminosas, como a crotalária, por fixarem o nitrogênio atmosférico, possuem altos teores de N na matéria vegetal, e os restos vegetais geralmente têm baixa relação C/N, com decomposição relativamente acelerada (PERIN et al., 2004). Por outro lado, as gramíneas contribuem com quantidades relativamente elevadas

de fitomassa, caracterizadas pela alta relação C/N, o que aumenta a persistência da cobertura do solo ao longo do tempo (ANDREOLA et al., 2000).

Tabela 8 - Teor de carbono na fração F4 em função de anos e cultivos de inverno em diferentes camadas do solo

Tratamentos ⁽¹⁾	Mi	MiB	T	C	AP	Contrastes ⁽²⁾				
	g kg ⁻¹					C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	
	0,00-0,05 m									
2015	2,81	5,89	5,97	3,21	4,47	1,05**	-1,62**	-3,08**	-1,26 ^{ns}	
2016	6,89	6,45	6,19	7,24	7,04	-0,63 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,20 ^{ns}	
Contraste ⁽²⁾										
C ₁	-4,08**	-0,56 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-4,03**	-2,57 ^{ns}					
	0,05-0,10 m									
2015	2,51	4,32	3,96	1,18	3,36	1,33**	-0,55 ^{ns}	-1,81**	-2,18**	
2016	6,10	5,15	4,74	5,55	5,93	-0,41 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,95 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	
Contraste ⁽²⁾										
C ₁	-3,59**	-0,83 ^{ns}	-0,78 ^{ns}	-4,36**	-2,57**					
	0,10-0,20 m									
2015	2,51	3,34	4,45	1,44	4,49	0,47 ^{ns}	-1,53**	-0,83 ^{ns}	-3,05**	
2016	4,73	4,03	4,51	4,81	4,84	-0,40 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,70 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	
Contraste ⁽²⁾										
C ₁	-2,23**	-0,69 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-3,38**	-0,35 ^{ns}					
	0,20-0,40 m									
2015	2,94	3,44	4,01	1,46	3,83	0,82 ^{ns}	-0,82*	-0,50 ^{ns}	-2,37**	
2016	3,59	3,54	3,29	4,13	3,67	-0,43 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,46 ^{ns}	
Contraste ⁽²⁾										
C ₁	-0,66 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,72 ^{ns}	-2,67**	0,16 ^{ns}					

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C= crotalária; AP= aveia preta.

⁽²⁾ Contrastes: C₁= 2015 vs 2016; C₂= (Mi+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

A maior proporção do C orgânico ocorreu nas frações F1 e F2, destacando-se a camada de 0,00-0,05 m, devido a adição e deposição dos resíduos vegetais nesta camada (BIELUCZYK et al., 2017; GUARESCHI et al., 2018). Assim, houve diminuição da participação destas frações com o aumento da profundidade do solo, com participação média de 58% na camada de 0,00-0,05 m, e de 48% para a camada de 0,20-0,40 m. Enquanto que as frações F3 e F4 aumentaram sua participação nas camadas subsuperficiais do solo. Fato também constatado por Loss et al. (2009), Oliveira, Oliveira e Xavier (2016) e Rosset et al. (2016). Freitas et al. (2004), avaliando a MOS em sistemas de adubação orgânica e mineral, verificaram que mais da metade do COT ocorre nas frações mais lábeis (F1 e F2) independente do tipo de adubação empregada.

Em um sistema conservacionista é interessante ter balanço de C nas frações oxidáveis, com as mesmas proporções de C entre as frações, sendo parte de matéria orgânica facilmente degradada para mineralização dos nutrientes e outra parte mais resistente no solo para sua melhoria e/ou a manutenção dos atributos físicos do solo. Entretanto, em regiões tropicais úmidas, seria desejável um aumento do teor de C das frações oxidáveis mais resistentes (F3 e F4) para liberação mais lenta de nutrientes associada à melhoria das características físicas do solo (LOSS et al., 2009).

Não houve efeito dos cultivos de inverno para teor de COT na sessão de 0,05-0,20 m (Tabela 6), porém, houve interação entre anos e cultivos de inverno na camada superficial (0,00-0,05 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m) (Tabela 9).

Tabela 9 - Teores de carbono orgânico total (COT) em função anos e cultivos de inverno para as camadas de 0,00-0,05 m e 0,20-0,40 m

Tratamento ⁽¹⁾	Mi	MiB	T	C	AP	Contraste ⁽²⁾			
	g kg ⁻¹								
0,00-0,05 m						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	26,81	30,50	27,70	30,30	29,56	-1,59*	0,96*	-3,69**	-0,74 ^{ns}
2016	29,65	28,35	27,46	28,64	27,71	0,31 ^{ns}	1,54*	1,30 ^{ns}	-0,93 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	-2,84**	2,15*	0,24 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1,85 ^{ns}				
0,20-0,40 m						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	11,19	12,22	12,88	13,24	13,76	-1,40*	-1,18*	-1,03 ^{ns}	0,52 ^{ns}
2016	12,76	11,12	13,43	12,06	12,10	0,36 ^{ns}	-1,49**	1,64**	0,04 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	-1,57*	1,10 ^{ns}	-0,55 ^{ns}	1,18 ^{ns}	1,66*				

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C= crotalária; AP= aveia preta.

⁽²⁾ Contrastes: C₁= 2015 vs 2016; C₂= (Mi+MiB+T) vs (C+AP); C₃ = (Mi+MiB) vs T; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Os teores de COT para o cultivo de milho aumentaram de 2015 para 2016 nas duas camadas avaliadas. No entanto, o cultivo de milho+braquiária apresentou redução de 2,15 g kg⁻¹ no teor de COT na camada de 0,00-0,05 m. Houve efeito de ano sobre o cultivo de aveia preta na camada de 0,20-0,40 m, com redução do COT de 2015 para 2016. Esta diminuição do COT de 2015 para 2016, pode estar relacionado à precipitação no período de março a junho. Em 2014, a precipitação acumulada neste período foi de 233 mm, e em 2015 de 159 mm, com diferença marcante para abril de 2015, o que pode ter promovido menor desenvolvimento,

principalmente dos cultivos de crotária, aveia preta e a braquiária, e influenciando nos teores de COT em 2016.

O cultivo de milho e milho+braquiária incrementaram o teor de COT na camada de 0,00-0,05 m, enquanto que o cultivo do trigo incrementou o teor COT na camada de 0,20-0,40 m (C₃ - Tabela 9) .

O uso das plantas de coberturas, crotária e aveia preta, não promoveram redução do COT na sessão de 0,00-0,40 m (Tabelas 6 e 9), ressaltando assim que ausência de adubação de semeadura destas culturas não afetou os teores de COT em comparação aos cultivos comerciais (milho, milho+braquiária e trigo) que receberam adubação de semeadura. Assim, o cultivo destas plantas de cobertura é uma alternativa para a prática de rotação de culturas sem prejuízos nos teores de COT.

As fontes de fertilizantes não alteraram os teores de C das frações F1 e F2 na sessão de 0,00-0,40 m e as frações F3 e F4 para a sessão de 0,00-0,20 m (Tabela 10). No entanto, houve interação entre cultivos de inverno e fontes de fertilizantes para as frações F3 e F4 para a camada de 0,20-0,40 m (Tabela 11). Bieluczyk et al. (2017) e Rosset et al. (2016) também verificaram que o fracionamento oxidável da MOS se mostrou sensível na diferenciação dos manejos estudados.

Na interação entre anos e fontes de fertilizantes verifica-se que o fertilizante organomineral, em 2015, proporcionou maior teor de COT na camada superficial do solo em comparação ao fertilizante orgânico (C₇ – Tabela 11). Porém, para a fração F4 na camada de 0,20-0,40 m observa-se o contrário, ou seja, houve redução do teor de C da fração F4 em 2015 com a aplicação do organomineral em comparação ao adubo orgânico. Em relação ao efeito do ano de cultivo apenas o fertilizante organomineral proporcionou incremento de C da fração F4 na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 11).

A aplicação de fertilizante organomineral e mineral, em longo prazo, incrementam o teor de COT (GE; ZHU; JIANG, 2018). A aplicação de fertilizante orgânico ou associado a fonte mineral proporciona rendimento mais estáveis das culturas a longo prazo, melhorando a qualidade do solo, pelo manejo sustentável da MOS (ZHANG et al., 2017; MENŠÍK et al., 2018).

Tabela 10 - Teores de carbono orgânico total (COT) e carbono das frações oxidáveis sob diferentes fontes de fertilizantes em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	COT	F1	F2	F3	F4
	g kg ⁻¹				
0,00-0,05 m					
O	28,38	8,96	7,48	6,38	5,55
OM	29,30	9,17	7,70	6,81	5,62
M	28,33	8,76	7,24	6,65	5,68
Contraste ⁽²⁾					
C ₆	- ⁽³⁾	0,31 ^{ns}	0,35 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
C ₇	-	-0,21 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,07 ^{ns}
0,05-0,10 m					
O	21,79	6,70	5,90	4,81	4,38
OM	22,39	7,04	5,70	5,40	4,25
M	21,49	6,69	5,73	4,85	4,21
Contraste ⁽²⁾					
C ₆	0,60 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,11 ^{ns}
C ₇	-0,60 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,20 ^{ns}	-0,59 ^{ns}	0,13 ^{ns}
0,10-0,20 m					
O	18,24	5,52	4,43	4,35	3,93
OM	17,65	4,88	4,79	4,28	3,70
M	17,65	5,18	4,13	4,23	4,11
Contraste ⁽²⁾					
C ₆	-0,30 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,30 ^{ns}
C ₇	0,59 ^{ns}	0,64 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,23 ^{ns}
0,20-0,40 m					
O	12,46	3,18	2,65	3,05	3,57
OM	11,87	3,16	2,57	3,08	3,05
M	13,10	3,37	3,21	2,98	3,55
Contraste ⁽²⁾					
C ₆	-0,94 ^{**}	-0,20 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	-	-
C ₇	0,59 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-	-

⁽¹⁾ Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM.

⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Na camada de 0,20-0,40 m, as plantas de cobertura (crotalária e aveia preta) incrementaram o teor de C na fração F3, enquanto que os demais cultivos (milho, milho+braquiária e trigo) incrementaram o teor de C da fração F4, sob adubação orgânica (Tabela 12). Esta reposta está relacionada principalmente ao fato da crotalária apresentar teor de C maior na fração F3 e menor teor de C na fração F4 quando comparada ao cultivo da aveia preta, sob adubação orgânica e organomineral (Tabela 12).

O uso de fertilizante mineral (C₆) incrementou em torno de 0,64 g kg⁻¹ o teor de C da fração F4, e o fertilizante orgânico (C₇), incrementou em 1,61 g kg⁻¹ para os cultivos de milho e milho+braquiária (Tabela 12).

Tabela 11 - Teores de carbono orgânico total (COT) e carbono na fração F4 em função de anos e fontes de fertilizantes

Tratamento ⁽¹⁾	O	OM	M	Contraste ⁽²⁾	
	g kg ⁻¹			C ₆	C ₇
COT - 0,00-0,05 m					
2015	28,06	30,05	28,80	0,26 ^{ns}	-1,99 ^{**}
2016	28,69	28,54	27,85	0,77 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾					
C ₁	-0,63 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,95 ^{ns}		
F4 - 0,20-0,40 m					
2015	3,55	2,54	3,30	-0,26 ^{ns}	1,01 ^{**}
2016	3,60	3,55	3,79	-0,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Contraste					
C ₁	-0,04 ^{ns}	-1,00 ^{**}	-0,49 ^{ns}		

⁽¹⁾ Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₁ = 2015 vs 2016; C₆ = (O+OM) vs M; C₇ = O vs OM. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Tabela 12 - Teores de carbono nas frações F3 e F4 em função de cultivos de inverno e fontes de fertilizantes para a camada de 0,20-0,40 m

Tratamento ⁽¹⁾	Mi	MiB	T	C	AP	Contraste ⁽²⁾			
	g kg ⁻¹					C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
F3									
O	2,60	2,14	2,92	4,51	3,11	-1,26 ^{**}	-0,55 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,40 ^{**}
OM	4,70	2,85	2,53	3,46	1,89	0,69 ^s	1,25 ^{ns}	1,85 [*]	1,57 ^{**}
M	2,33	3,76	2,62	3,49	2,69	-0,19 ^{ns}	0,43 ^{ns}	-1,43 ^{ns}	0,80 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₆	1,32 ^{**}	-1,27 [*]	0,11 ^{ns}	0,50 ^{ns}	-0,19 ^{ns}				
C ₇	-2,10 ^{**}	-0,71 ^{ns}	0,39 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,22 ^{ns}				
F4									
O	3,86	4,08	3,82	2,68	3,44	0,86 [*]	0,15 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,76 [*]
OM	2,25	2,47	3,77	2,67	4,06	-0,54 ^{ns}	-1,41 [*]	-0,22 ^{ns}	-1,39 ^{**}
M	3,69	3,92	3,36	3,03	3,75	0,27 ^{ns}	0,45 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,72 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₆	-0,64 ^{**}	-0,65 [*]	0,44 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,00 ^{ns}				
C ₇	1,61 ^{**}	1,61 ^{**}	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,62 ^{ns}				

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C= crotalaria; AP= aveia preta. Fertilizantes: O= orgânico; OM= organomineral; M= mineral. ⁽²⁾ Contraste: C₂= (Mi+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

3.6 CONCLUSÕES

A adoção de plantas de coberturas no cultivo de inverno, tais como aveia preta e crotalária, proporcionaram manutenção dos teores de COT e das frações oxidáveis de C do solo e a sucessão soja/crotalária incrementa a fração F3.

O uso de diferentes fontes de fertilizantes (orgânico, organomineral e mineral) não altera as frações de carbono oxidáveis do solo, na sessão de 0,00-0,20 m.

3.7 REFERÊNCIAS

ANDREOLA, F. et al. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.867-874, 2000.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.

BARRETO, P.A.B. et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v.81, n.3, p.213-220, 2011.

BATISTA, I. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 797-809, 2014.

BERTOLDO, J.G. et al. Problemas relacionados com o uso de testes de comparação de médias em artigos científicos. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v.21, n.2, jun. 2008.

BEZERRA, R.P.M. et al. de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, p.2637-2654, 2013.

BIELUCZYK, W. et al. Granulometric and oxidizable carbon fractions of soil organic matter in crop-livestock integration systems. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.38, n.2, p.607-622, 2017.

CAMPOS, M.C.C. et al. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.11, n.2, 2016.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, New Brunswick, v.166, n.1, p.61-67, 2001.

CORRENTE, J.E.; NOGUEIRA, M.C.S.; COSTA, B.M. Contrastes ortogonais na análise do controle de volatilização de amônia em compostagem. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.407-412, 2001.

COSTA, A.R. et al. Microbiological properties and oxidizable organic carbon fractions of an oxisol under coffee with split phosphorus applications and irrigation regimes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 55-65, 2013.

COUTINHO, F. S. et al. Atributos edáficos em áreas de agricultura, pastagem e três estágios sucessionais de floresta. **Floresta e Ambiente**, v.24, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2014**. 21. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p.

FÁVERO, F. **Uso da cama de frango associada à adubação mineral no sistema de produção de grãos da região oeste do Paraná**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon, 2012.

FRAZÃO, L.A. et al. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy brazilian Cerrado soil under different land uses. **Agriculture Ecosystems Environment**, v.135, p.161-167, 2010.

FREITAS, A.G.; MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica e estabilidade de agregados em diferentes sistemas de adubação. In: FERTBIO, Lages, 2004. **Anais...** Lages, UDESC/SBCS, 2004. CD-ROM.

GAZOLLA, P.R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.36, n.2, p.693-704, 2015.

GE, S.; ZHU, Z.; JIANG, Y. Long-term impact of fertilization on soil pH and fertility in an apple production system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v.18, n.1, p. 282-293.2018

GIÁCOMO, R.G. et al. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 617-631, 2015.

GUARESCHI, R.F. et al. Compartments of organic matter in an Oxisol under different types of no-tillage systems. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.39, n.2, p.533-548, 2018

LIU, H. et al. 16-Year fertilization changes the dynamics of soil oxidizable organic carbon fractions and the stability of soil organic carbon in soybean-corn agroecosystem. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.265, p.320-330, 2018.

LOSS, A. et al. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.30, n.1, p.43-54, 2014.

LOSS, A. et al. Oxidizable carbon and humic substances in rotation systems with brachiaria/livestock and pearl millet/no livestock in the Brazilian Cerrado. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.11, p.217-231, 2013.

LOSS, A. et al. Oxidizable organic carbono fractions and soil aggregation in áreas under diferent organic production systems in Rio de Janeiro, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v.14, n.2, p.699-708, 2011.

LOSS, A. et al. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.1, n.1, p.57-64, 2010.

LOSS, A. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aléias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.4, p.867-874, 2009.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

MENŠÍK, L. et al. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. **Journal of Soils and Sediments**, v.18, p. 2813-2822, 2018.

OLIVEIRA, F.E.R.; OLIVEIRA, J.M.; XAVIER, F.A.S. Changes in soil organic carbon fractions in response to cover crops in an orange orchard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.40, 2016.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.35-40, 2004.

RANGEL, O.J.P. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.2, p.429-437, 2008.

ROSA, D.M. et al. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.48, n.2, p. 221-230, 2017.

ROSSET, J.S. et al. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1529-1538, 2016.

ROSSI, C.Q. et al. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.1, p.38-46, 2012.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SILVA, C.F. et al. Soil organic matter fractions, chemical attributes and aggregation under forestry and agricultural systems. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.8, n.3, p.459-468, 2017.

ZHANG, J. et al. Effects of long-term fertilization on soil humic acid composition and structure in Black Soil. **Plos One**, v.12, n.11, 2017.

4 CAPÍTULO 2 – FRAÇÕES HÚMICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E FONTES DE FERTILIZANTES

4.1 RESUMO

O estudo das frações húmicas auxilia na elaboração de estratégias de manejo do solo, priorizando a adoção de sistemas que melhorem a qualidade ambiente edáfico. Este trabalho teve por objetivo verificar alterações nas frações húmicas da matéria orgânica do solo (MOS) sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, em 2015 e 2016. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Na safra de verão todas as parcelas foram cultivadas com soja. No período de inverno as parcelas receberam diferentes culturas (5): aveia preta, crotalária, milho, milho+braquiária e trigo. Nas subparcelas foram aplicadas as três fontes de fertilizantes: orgânico, organomineral e mineral. Foram determinados os teores de carbono (C) das frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HUM), extrato alcalino (EA) e os valores das relações AH/AF e EA/HUM. Os teores de C nas frações húmicas da MOS apresentaram alterações em relação aos diferentes cultivos de inverno utilizados e, foram pouco influenciados pelas diferentes fontes de fertilizantes. As frações AF e AH foram sensíveis aos diferentes cultivos de inverno, com redução dos teores de 2015 para 2016. Já a fração HUM, foi pouca influenciada pelo manejo de inverno. O cultivo do trigo incrementa as frações HUM e AH na camada de 0,20-0,40 m em relação aos cultivos do milho e milho+braquiária. A ausência de adubação de semeadura no cultivo da crotalária ou da aveia preta no período do inverno em sucessão a cultura da soja não reduz os teores de C das frações húmicas da MOS. As fontes orgânica e organomineral incrementaram os teores de C das frações húmicas da MOS na camada superficial do solo e a fonte mineral incrementou as frações em profundidade maior que 0,20 m.

Palavras-chave: carbono orgânico do solo, fertilizante orgânico e organomineral, plantas de cobertura, substâncias húmicas.

4.2 ABSTRACT

HUMIC FRACTIONS OF SOIL ORGANIC MATTER IN THE FUNCTION OF DIFFERENT CROPPING SYSTEMS AND FERTILIZERS SOURCES

The study of humic fractions assists in the elaboration of soil management strategies, prioritizing the adoption of systems that improve soil quality. The aim this research was to verify changes in the humic fractions of soil organic matter (SOM) under different winter crops and fertilizer sources. The soil samples were collected at 0.00-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m depths, in 2015 and 2016. A randomized complete block design was used in a split-plot scheme with four replications. In the summer crop all plots were cultivated with soybean. In the winter period, the plots received different crops (5): black oats, *Crotalaria spectabilis*, corn, corn + *Brachiaria ruziziensis* and wheat. In the subplots the three fertilizer sources were applied: organic, organomineral and mineral. The levels of carbon (C) of the fulvic acid (FA), humic acid (HA), humin (HUM), alkaline extract (AE), and HA/FA and AE/HUM ratios were determined. The levels of C in the humic fractions of SOM presented alterations in relation to the different winter crops used and were little influenced by the different sources of fertilizers. The fractions FA and HA were sensitive to the different winter crops, with a reduction of the levels from 2015 to 2016. The HUM fraction was little influenced by winter management. The cultivation of wheat increases the HUM and HA fractions in the 0.20-0.40 m layer in relation to maize and maize + *Brachiaria*. The absence of planting fertilization in the cultivation of crotalaria or black oats in the winter period in succession to the soybean crop does not reduce the C contents of the humic fractions of MOS. Organic and organomineral fertilizers increase the humic fractions of the SOM in the superficial layer of the soil and the mineral fertilizer increases the fractions in depths above 0.20 m.

Keywords: soil organic carbon, organic and organomineral fertilizer, cover crops, humic substances.

4.3 INTRODUÇÃO

A conversão de áreas nativas em agricultáveis é normalmente acompanhada pelo declínio dos teores de matéria orgânica do solo (MOS), degradação da estrutura do solo e perdas na qualidade biológica do ambiente edáfico (BEZERRA et al., 2013; BARBOSA et al., 2018; SALES et al., 2018; SOUZA et al., 2018; OLIVEIRA FILHO et al., 2018). Apesar da MOS aumentar em sistema de plantio direto (SPD) (NUNES et al., 2018), e apresentar elevado aporte de resíduos na superfície do solo, deve-se considerar que comportamento da MOS é alterado em função da temperatura, precipitação, textura e mineralogia do solo (ALVAREZ; LAVADO, 1998; EBELING et al., 2011).

As substâncias húmicas (SHs) presentes na MOS contribuem com cerca de 85 a 90% do carbono orgânico total (COT) dos solos minerais (SILVA; MENDONÇA, 2007) e são classificadas em humina (HUM), ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF) (PINHEIRO et al., 2003). A quantificação do teor de carbono (C) presente nas SHs é uma forma de avaliação da qualidade da MOS (CUNHA et al., 2000), principalmente onde não é possível identificar o impacto do manejo do solo somente com análise da variação dos teores de COT (BARRETO et al., 2011).

A HUM é a fração do C que está mais intimamente associada aos coloides minerais do solo (CANELLAS et al., 2000, LI et al., 2015). A predominância da fração HUM, em relação às demais SHs, deve-se às suas características de alta massa molecular e à forte interação com a fração mineral do solo (STEVENSON, 1994), conferindo resistência à degradação microbiana (EBELING et al., 2011). Ainda em termos de sequestro de C, a HUM deve ser considerada a fração mais significativa como reserva de carbono orgânico no solo (FERREIRA et al., 2004).

Os AH, em SPD, são responsáveis pela maior capacidade de troca catiônica de origem orgânica nas camadas superficiais do solo, onde estão concentrados os resíduos culturais (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003; PFLEGER; CASSOL; MAFRA, 2017). Já, os AF, são constituídos por polissacarídeos, aminoácidos e compostos fenólicos, que são mais reativos do que as outras duas frações pela maior quantidade de grupos carboxílicos e fenólicos. Esta fração humificada é considerada de menor massa molecular e maior solubilidade e mobilidade no solo, e são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo

(STEVENSON, 1994; SILVA; MENDONÇA, 2007; PFLEGER; CASSOL; MAFRA, 2017).

A avaliação da dinâmica da MOS em sistemas de produção por meio do fracionamento químico, auxilia no estabelecimento de estratégias de recomendação de uso e de manejo que garantam incremento no conteúdo de MOS, beneficiando as suas frações, reduzindo o impacto da agricultura sobre o ambiente, através do conhecimento do potencial de captura e armazenamento de C nos diferentes sistemas, contribuindo assim, para a qualidade do solo ao longo do tempo de cultivo (LOSS et al., 2011; ROSSI et al., 2011; JHA et al., 2017).

Em Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo, a fração HUM correspondeu a maior parte do COT (ROSSET et al., 2016; ROSA et al., 2017). Por outro lado, Bertechini (2017) verificou que os teores de C nas frações húmicas do solo foram influenciados pela utilização de diferentes fontes de fertilizantes em sucessão milho-soja. Rosa et al. (2017), constataram que plantas de cobertura proporcionaram mais C na fração AF, contribuindo com aspectos relacionados à fertilidade do solo.

A região Oeste do Paraná tem-se destacado pelo seu potencial agrícola, principalmente pelas características de solo, topografia e condições climáticas, com predomínio do cultivo em sucessão soja (verão) e milho/trigo (inverno) em semeadura direta. No entanto, a utilização de plantas de cobertura no período do inverno, pode ser uma alternativa para aumentar o teor de MOS e os estoques de C no solo. Porém, trabalhos de médio e longo prazo são importantes para uma compreensão mais abrangente e consistente do tema.

Assim, a utilização de sistemas de manejo que promovam diferentes aportes de biomassa vegetal, e a aplicação de diferentes fontes de fertilizantes podem promover alterações nas frações da MOS. Diante deste contexto, este trabalho teve por objetivo verificar alterações nas frações húmicas da matéria orgânica do solo, sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção de grãos.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Caracterização da Área Experimental

A descrição da caracterização da área experimental está apresentada no item 3.4.1 do Capítulo 1 (p. 23).

4.4.2 Delineamento Experimental

A descrição do delineamento experimental está apresentada no item 3.4.2 do Capítulo 1 (p.25).

4.4.3 Condução do Experimento

A descrição da condução do experimento está apresentada no item 3.4.3 do Capítulo 1 (p.26).

4.4.4 Coleta das Amostras de Solo

A descrição da coleta do solo está apresentada no item 3.4.4 do Capítulo 1 (p.29).

4.4.5 Análises Realizadas

O fracionamento químico da MOS foi determinado pelo método de Swift (1996), adaptado por Benites, Madari e Machado (2003), com posterior determinação dos teores de carbono das frações AF, AH e HUM. A partir destas análises foi possível calcular o extrato alcalino ($EA=AF+AH$) e as relações AH/AF e EA/HUM para verificação da dinâmica dos processos de humificação da MOS. Os teores iniciais de C das frações húmicas e suas relações nas diferentes camadas do solo são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Teores iniciais de carbono na fração humina (HUM), ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e valores das relações AH/AF e EA/HUM em diferentes camadas do solo

Camada do solo	HUM	AH	AF	EA	AH/AF	EA/HUM
	----- g kg ⁻¹ -----					
0,00-0,05 m	14,59	4,7	4,69	9,39	1,00	0,64
0,05-0,10 m	10,37	3,75	4,18	7,93	0,89	0,59
0,10-0,20 m	7,76	2,54	3,63	6,17	0,7	0,79
0,10-0,20 m	5,69	0,84	2,27	3,11	0,37	0,55

4.4.6 Análises Estatísticas

A descrição das análises estatísticas está apresentada no item 3.4.6 do Capítulo 1 (p.30), sendo que para os dados deste capítulo não houve necessidade de transformação de dados.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fração HUM predominou em todas as camadas de solo em comparação aos teores de C orgânico das frações de AH e AF (Tabelas 2 e 3). Este indicativo corrobora com estudos já realizados, onde a maior representatividade do carbono orgânico total (COT) é encontrado na fração HUM em diferentes camadas do solo e áreas de cultivo (ROSSET et al., 2016; MENEZES et al., 2017; PFLEGER; CASSOL; MAFRA, 2017). O predomínio da fração HUM deve-se a resistência desta fração à decomposição microbiana e a elevada interação desta fração com a porção mineral do solo (STEVENSON, 1994; EBELING et al., 2011), fatores estes que auxiliaram na manutenção dos teores de C da fração HUM para as diferentes camadas do solo em 2015 e 2016 (Tabela 2).

As frações AF e AH diferiram em relação aos cultivos de inverno e anos, principalmente na camada de 0,00-0,05 m. No geral, houve redução dos teores de C para a fração AF em todas as camadas do solo nos períodos avaliados (Tabelas 2, 3 e 4). De acordo com Silva e Mendonça (2007), os AF são o grupo de SHs de menor peso molecular e maior densidade de grupamentos carboxílicos, revelando maior solubilidade e polaridade, em relação às frações AH e HUM, conseqüentemente, maior mobilidade no solo. Para Rosset et al. (2016), a fração AF apresentou

movimentação mais evidente no solo, e sua representatividade aumentou em profundidade, com valores médios de 13%, 15%, 17% e 22% para as camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente.

Tabela 2 - Teores de carbono das frações humina (HUM), ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF), extrato alcalino (EA) e relações AH/AF e EA/HUM em diferentes anos e camadas do solo

Tratamento	HUM	AH	AF	EA	AH/AF	EA/HUM
	----- g kg ⁻¹ -----					
0,00-0,05 m						
2015	15,98	4,13	4,59	8,72	0,90	0,55
2016	16,48	3,88	4,18	8,04	0,92	0,49
Contraste ⁽²⁾						
C ₁	-0,50 ^{ns}	- ⁽³⁾	-	-	-	-
0,05-0,10 m						
2015	11,73	3,58	4,25	7,83	0,85	0,67
2016	12,15	3,35	3,86	7,21	0,87	0,62
Contraste ⁽²⁾						
C ₁	-0,42 ^{ns}	0,23 ^{**}	-	-	-0,02 ^{ns}	-
0,10-0,20 m						
2015	9,21	2,80	3,73	6,53	0,75	0,70
2016	9,23	2,78	3,44	6,22	0,81	0,67
Contraste ⁽²⁾						
C ₁	-0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,29 ^{**}	-	-0,06 ^{**}	0,03 ^{ns}
0,20-0,40m						
2015	6,89	1,29	2,79	4,10	0,45	0,58
2016	7,01	1,15	2,59	3,76	0,44	0,55
Contraste ⁽²⁾						
C ₁	-0,12 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,20 ^{**}	0,33 [*]	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}

⁽¹⁾ Anos: 2015; 2016. ⁽²⁾ Contraste: C₁= 2015 vs 2016. ⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

A fração AF demonstrou-se mais sensível ao manejo com diferentes cultivos de inverno, seguida da fração AH (Tabelas 3 e 4). Neste caso, os cultivos da crotalária e da aveia preta incrementaram os teores de C da fração AF na sessão de 0,10-0,40 m e de EA na camada de 0,20-40 m em relação aos demais cultivos. Desta forma, observa-se que a supressão da adubação de semeadura em plantas de cobertura no período de inverno não reduziu o teor de C das frações húmicas da MOS. Comparando as plantas de cobertura, observa-se que o cultivo da aveia preta foi superior ao cultivo da crotalária em relação os teores de C da fração AF na sessão de 0,10-0,40 m e de AH e EA na camada de 0,20-0,40 m.

Tabela 3 - Teores de carbono das frações humina (HUM), ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF), extrato alcalino (EA) e relações AH/AF e EA/HUM em diferentes cultivos de inverno e camadas do solo

Tratamento	HUM	AH	AF	EA	AH/AF	EA/HUM
	----- g kg ⁻¹ -----					
0,00-0,05 m						
Mi	16,38	4,06	4,43	8,44	0,91	0,52
MiB	16,61	4,06	4,34	8,41	0,94	0,51
T	15,62	4,10	4,31	8,40	0,95	0,55
C	16,08	3,73	4,33	8,06	0,86	0,50
AP	16,46	4,07	4,53	8,60	0,90	0,53
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	-0,07 ^{ns}	- (3)	-	-	-	-
C ₃	0,87 ^{ns}	-	-	-	-	-
C ₄	-0,23 ^{ns}	-	-	-	-	-
C ₅	0,38 ^{ns}	-	-	-	-	-
0,05-0,10 m						
Mi	12,07	3,52	4,13	7,64	0,85	0,63
MiB	12,15	3,41	3,91	7,32	0,87	0,61
T	11,86	3,54	3,97	7,51	0,89	0,64
C	11,43	3,24	4,07	7,31	0,80	0,65
AP	11,60	3,63	4,20	7,83	0,87	0,65
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	0,51 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-	-	0,04 ^{**}	-
C ₃	0,25 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-	-	-0,03 ^{ns}	-
C ₄	-0,08 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-	-	-0,02 ^{ns}	-
C ₅	-0,17 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-	-	-0,07 ^{**}	-
0,10-0,20 m						
Mi	9,04	2,70	3,60	6,26	0,76	0,70
MiB	9,16	2,81	3,45	6,26	0,82	0,67
T	9,22	2,78	3,56	6,34	0,78	0,68
C	9,02	2,68	3,59	6,26	0,75	0,69
AP	9,67	2,98	3,77	6,76	0,79	0,69
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	-0,20 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,14 ^{**}	-	0,02 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
C ₃	-0,12 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
C ₄	-0,12 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-	-0,06 ^{ns}	0,03 ^{ns}
C ₅	-0,65 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	0,18 ^{**}	-	-0,04 ^{ns}	0,00 ^{ns}
0,20-0,40 m						
Mi	6,37	1,08	2,70	3,78	0,39	0,59
MiB	6,77	1,08	2,54	3,60	0,42	0,54
T	7,47	1,37	2,67	4,13	0,51	0,57
C	6,73	1,11	2,65	3,82	0,41	0,55
AP	7,39	1,45	2,87	4,32	0,47	0,57
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	-0,19 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,12 [*]	-0,23 [*]	0,00 ^{ns}	-
C ₃	-0,90 ^{**}	-0,29 ^{**}	-0,05 ^{ns}	-0,44 ^{**}	-0,11 ^{**}	-
C ₄	-0,40 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-
C ₅	-0,66 ^{ns}	-0,34 ^{**}	-0,22 ^{ns}	0,50 ^{**}	-0,06 ^{ns}	-

(1) Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C= crotalária; AP= aveia preta.

(2) Contrastes: C₂= (Mi+MiB+T) vs (C+AP); C₃ = (Mi+MiB) vs T; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP.

(3) Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

A maior sensibilidade da fração AF está relacionada ao processo de estabilização da MO do solo, que começa com a formação de AF e segue em direção a AH e depois HUM. Assim, mudanças devido a adoção de diferentes sistemas de produção são esperadas na fração AF, já que reflete na primeira fase em direção à estabilização da matéria orgânica (ROSA et al., 2017).

Houve efeito dos cultivos de inverno no teor C da fração HUM apenas na camada de 0,20-0,40 m, onde o cultivo do trigo incrementou teor de C desta fração em relação aos cultivos do milho e milho+braquiária (C₃ - Tabela 3). Para esta mesma camada e contraste o cultivo do trigo também incrementou a fração AH, EA e o valor da relação AH/AF. A braquiária, assim como outras gramíneas, contribui para manter e/ou elevar os aportes de C no solo devido a seu sistema radicular abundante, especialmente em camada subsuperficiais (SANTOS et al., 2019). No presente trabalho, isto também pode ser verificado no cultivo do trigo.

Houve interação entre anos e cultivos de inverno para AH, AF, EA, AH/AF e EA/HUM na camada de 0,00-0,05 m e para AF, EA e EA/HUM na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 4). A relação entre os teores de AH e AF e a relação entre as substâncias húmicas solúveis (AF+AH) pela fração HUM são índices utilizados para avaliar o processo de humificação e representam o nível de evolução da MOS (PFLEGER; CASSOL; MAFRA, 2017).

Os valores da relação AH/AF foram inferiores a 1 (Tabelas 3 e 4). As relações AH/AF, com valores acima de 1, caracterizam situações de estado transformado da MOS pelo processo de humificação (PFLEGER; CASSOL; MAFRA, 2017). Entretanto, a diminuição da relação AH/AF está relacionada à adição recente de material vegetal, que aumenta, inicialmente, o conteúdo de AF (ROSA et al., 2017).

De modo geral foi observada redução em profundidade da relação AH/AF, com maior quantidade de AF em relação ao AH (Tabelas 3 e 4), que reflete a característica de maior solubilidade e mobilidade da fração AF no solo (EBELING et al., 2011). Campos et al. (2013) também verificaram maior relação AH/AF na camada superficial (0,00-0,05 m) em SPD sob diferentes sistemas de manejo.

Tabela 4 - Teores de carbono das frações humina (HUM), ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF), extrato alcalino (EA) e relações AH/AF e EA/HUM na interação entre anos e cultivos de inverno para as camadas de 0,00-0,05 m e 0,05 a 0,10 m

Tratamento ⁽¹⁾	Mi	MiB	T	C	AP	Contraste ⁽²⁾			
0,00-0,05 m									
AH (g kg ⁻¹)						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	3,86	4,09	4,50	3,86	4,33	0,05 ^{ns}	-0,53 ^{**}	-0,23 [*]	-0,47 ^{**}
2016	4,16	4,04	3,70	3,60	3,81	0,26 ^{**}	0,40 ^{**}	0,12 ^{ns}	-0,21 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	-0,30 [*]	0,05 ^{ns}	0,80 ^{**}	0,26 ^{ns}	0,52 ^{**}				
AF (g kg ⁻¹)						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	4,58	4,47	4,73	4,37	4,81	0,00 ^{ns}	-0,21 ^{**}	0,11 ^{ns}	-0,44 ^{**}
2016	4,27	4,21	3,88	4,30	4,25	-0,16 ^{**}	0,36 ^{**}	0,06 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	0,31 [*]	0,26 ^{ns}	0,85 ^{**}	0,07 ^{ns}	0,56 ^{**}				
EA (g kg ⁻¹)						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	8,44	8,56	9,23	8,22	9,14	0,06 ^{ns}	-0,73 ^{**}	-0,12 ^{ns}	-0,92 ^{**}
2016	8,43	8,25	7,58	7,90	8,06	0,11 ^{ns}	0,76 ^{**}	0,18 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	0,01 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1,08 ^{**}	1,65 ^{**}				
AH/AF						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	0,84	0,92	0,95	0,88	0,90	0,01 ^{ns}	-0,07 ^{**}	-0,08 ^{**}	-0,02 ^{ns}
2016	0,97	0,96	0,95	0,84	0,90	0,09 ^{**}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,06 [*]
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	-0,13 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,00 ^{ns}				
EA/HUM						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	0,52	0,52	0,63	0,53	0,55	0,02 ^{ns}	-0,11 ^{**}	0,00 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
2016	0,51	0,50	0,46	0,48	0,51	-0,01 ^{ns}	0,05 [*]	0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,17 ^{**}	0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}				
0,05-0,10 m									
AF (g kg ⁻¹)						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	4,29	4,04	4,29	4,14	4,47	-0,10 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,25 [*]	-0,33 ^{**}
2016	3,96	3,78	3,64	4,01	3,93	-0,18 ^{**}	0,23 ^{**}	0,18 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	0,33 ^{**}	0,26 ^{**}	0,65 ^{**}	0,13 ^{ns}	0,54 ^{**}				
EA(g kg ⁻¹)						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	7,79	7,47	8,11	7,44	8,33	-0,10 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,89 ^{**}
2016	7,49	7,16	6,90	7,17	7,34	-0,07 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,33 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	0,30 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,21 ^{**}	0,27 ^{ns}	0,99 ^{**}				
EA/HUM						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
2015	0,63	0,62	0,73	0,71	0,67	-0,03 ^{ns}	-0,11 ^{**}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}
2016	0,63	0,59	0,56	0,60	0,62	-0,02 ^{ns}	0,05 [*]	0,04 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₁	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,17 ^{**}	0,11 ^{**}	0,05 ^{ns}				

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C= crotalária; AP= aveia preta. ⁽²⁾ Contrastes: C₁= 2015 vs 2016; C₂= (Mi+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Nos cultivos da aveia preta e do trigo, os teores de C da fração AH reduziram na camada de 0,00-0,05 m do ano de 2015 para 2016, bem como da fração AF para a sessão de 0,00-0,10 m, com conseqüente redução do EA destas culturas e a redução do valor da relação EA/HUM para o cultivo do trigo. A fração AF também foi menor em 2016 para o cultivo do milho na sessão de 0,00-0,10 m e para o cultivo de milho+braquiária na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 4).

Os teores de AH e AF mais elevados em 2015 (Tabela 4), estão relacionados com as condições climáticas, com maior precipitação acumulada em 2015 (2834 mm) em relação a 2016 (2177 mm). A maior umidade no solo, aliada a altas temperaturas aceleram o processo de decomposição da MOS (STEINER et al., 2011). Batista et al. (2014), verificaram maiores proporções do C orgânico nas frações menos estáveis, em época chuvosa e a maior proporção nas frações mais resistentes, em época seca.

As condições climáticas também influenciaram nas frações húmicas do solo na sessão de 0,00-0,10 m, com diferenciação entre os cultivos de inverno no ano de 2015. Neste ano, o cultivo do trigo incrementou as frações de AH, AF e EA e as relações AH/AF e EA/HUM quando comparado os cultivos de milho e milho+braquiária (C₃ - Tabela 4), já em 2016 houve efeito contrário. Por outro lado, o cultivo da aveia preta apresentou teores de C das frações AH e AF maiores quando comparado ao cultivo da crotalária (C₅ - Tabela 4) apenas em 2015.

A quantidade e composição dos resíduos vegetais das culturas pode ter influenciado nos teores de C das frações húmicas e conseqüentemente no EA. De acordo com Fontana et al. (2006), a rotação soja/aveia, em SPD, contribui para a humificação e manutenção da MOS. Além disso, o trigo apresenta ser constituído de material de difícil decomposição (GONÇALVES; SARAIVA; TORRES, 2010), o que pode ter favorecido a obtenção de maiores teores de C da fração AH e AF em comparação com milho e milho+braquiária em 2015.

As condições de maior umidade no solo, como em 2015, não afetaram os teores de C das frações húmicas bem como suas relações para as plantas de cobertura. Por outro lado, a menor precipitação em 2016 acarretou mudanças nas frações húmicas, em especial para AF na sessão de 0,00-0,10 m, com incremento desta fração para os cultivos de crotalária e aveia preta em comparação aos demais

cultivos. Neste caso, observa-se redução desta fração no cultivo do trigo, fazendo com que as plantas de coberturas se destacassem.

Juntamente com as condições de umidade do solo, a quantidade e a constituição dos tecidos vegetais são outros fatores que podem ter provocado alterações nas frações AH, AF e EA entre os cultivos de inverno, existindo espécies consideradas de decomposição rápida, como as leguminosas, e de decomposição lenta, como as gramíneas (GONÇALVES; SARAIVA; TORRES, 2010), o que interfere no acúmulo das formas de C orgânico no solo. De acordo com Ribeiro et al. (2011), a maior relação C/N ou teores mais elevados de ligninas dos resíduos, favorecem a fração AF. Neste trabalho, isto pode ser observado pela superioridade dos cultivos do trigo em relação ao milho e milho+ braquiária e da aveia preta em relação a crotalária.

As fontes de fertilizantes apresentaram menor influência sobre as frações húmicas da MOS. O uso de fertilizante orgânico e organomineral incrementaram em $0,66 \text{ g kg}^{-1}$ o teor C da fração HUM na camada de 0,00-0,05 m, e em $0,21 \text{ g kg}^{-1}$ o teor de AH na camada de 0,05-0,10 m. Para a camada de 0,10-0,20 m o fertilizante orgânico incrementou em $0,20 \text{ g kg}^{-1}$ o teor de AH, em comparação à fonte organomineral (Tabela 5).

Neste caso, a matéria orgânica presente nos fertilizantes orgânico e organomineral contribui na melhoria os atributos químicos, físicos e biológicos do solo (BERTECHINI, 2017) e assim, promove incremento no teor de C orgânico (STEINER et al., 2011). Além disso, Steiner et al. (2011), relatam que o nitrogênio adicionado pela fonte orgânica, é mais eficiente em promover o acúmulo de C orgânico no solo. Bertechini (2017), em estudo com sucessão milho-soja, também constatou incremento na fração AH em tratamentos que receberam o fertilizante organomineral em comparação ao mineral.

Rosales et al. (1999) verificaram que a aplicação de fertilizante orgânico (composta de resíduos vegetais e esterco bovino) durante 11 anos consecutivos, aumentou os teores de C das frações HUM, AH e AF, na camada de 0,00-0,20 m. No entanto, em sucessão milho-soja, o teor de HUM não foi alterado sob aplicação de fertilizante organomineral e mineral (BERTECHINI, 2017), e sob diferentes cultivos de plantas de cobertura (ROSA et al., 2017).

Tabela 5 - Teores de carbono das frações humina (HUM), ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF), extrato alcalino (EA) e relações AH/AF e EA/HUM sob diferentes fontes de fertilizantes e camadas do solo

Tratamento	----- g kg ⁻¹ -----					
	HUM	AH	AF	EA	AH/AF	EA/HUM
0,00-0,05 m						
O	16,35	4,04	4,37	8,41	0,93	0,52
OM	16,55	4,08	4,40	8,48	0,92	0,52
M	15,79	3,89	4,36	8,25	0,89	0,53
Contraste ⁽²⁾						
C ₆	0,66**	0,17 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,04 ^{ns}	- ⁽³⁾
C ₇	-0,20 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-
0,05-0,10 m						
O	11,81	3,54	4,08	7,62	0,87	0,65
OM	12,14	3,54	4,09	7,63	0,87	0,63
M	11,87	3,32	3,99	7,32	0,83	0,62
Contraste ⁽²⁾						
C ₆	0,11 ^{ns}	0,21**	0,09 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}
C ₇	-0,33 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}
0,10-0,20 m						
O	9,40	2,92	3,62	6,54	0,81	0,69
OM	9,06	2,72	3,60	6,32	0,76	0,70
M	9,20	2,72	3,56	6,28	0,77	0,67
Contraste ⁽²⁾						
C ₆	0,03 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}
C ₇	0,34 ^{ns}	0,20*	0,02 ^{ns}	-	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}
0,20-0,40 m						
O	6,98	1,18	2,67	3,84	0,43	0,56
OM	6,74	1,07	2,59	3,66	0,41	0,53
M	7,12	1,41	2,81	4,23	0,49	0,59
Contraste ⁽²⁾						
C ₆	-0,26 ^{ns}	-0,27*	-0,18*	-0,48**	-0,07*	-
C ₇	0,24 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-

⁽¹⁾ Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contraste: C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Para a camada de 0,20-0,40 m o uso de fertilizante mineral incrementou os teores de C nas frações AH, AF e, conseqüentemente os valores de EA, além dos valores das relações AH/AF e EA/HUM (Tabela 5). Estes resultados evidenciam que em curto prazo, três anos, as fontes orgânica e organomineral contribuíram para o incremento do C orgânico na sessão de 0,00-0,20 m. Resultados semelhantes para estas fontes foram encontrados por Mi et al. (2016), a longo prazo. Este curto período de avaliação pode ser considerado ainda um período de adaptação e estabelecimento dos sistemas de cultivos e de adubação, não sendo suficiente para que as fontes orgânica e organomineral incrementassem o C orgânico na camada

de 0,20-0,40 m. A longo prazo, Chaudhary, Dheri e Brar (2017) e Ghost et al. (2018), verificaram que o uso de fertilizante organomineral incrementa os teores de C orgânico no solo em diferentes camadas (até 1,00 m) em comparação a fonte mineral.

Houve interação entre cultivos de inverno e fontes de fertilizantes para a relação EA/HUM nas camadas de 0,00-0,05 e 0,20-0,40 m. Neste caso, observa-se que o fertilizante mineral (C₆) proporcionou elevação na relação EA/HUM para os cultivos de milho+braquiária e trigo na camada de 0,20-0,40 m e crotalária nas camadas de 0,00-0,05 e 0,20-0,40 m. Para estas camadas, o uso de fertilizante orgânico aumentou a relação EA/HUM para cultivo de milho + braquiária em comparação ao fertilizante organomineral (C₇ - Tabela 6).

Para a camada de 0,00-0,05 m, o uso de fertilizante orgânico aumentou a relação EA/HUM para os cultivos de milho, milho+braquiária e trigo (C₂). No entanto, sob fertilização organomineral e mineral o cultivo do trigo apresentou maior relação EA/HUM quando comparado aos cultivos do milho e milho+braquiária. O fertilizante organomineral teve efeito sobre o C₄, com maior relação EA/HUM para cultivo de milho em 2016 na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 6).

Tabela 6 - Relação EA/HUM em função de cultivos de inverno e fontes de fertilizantes, para as camadas de 0,0-0,05 m e 0,20-0,40 m

Tratamento ⁽¹⁾	Mi	MiB	T	C	AP	Contraste ⁽²⁾			
	0,00-0,05 m					C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
O	0,54	0,55	0,52	0,48	0,50	0,05*	0,03 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
OM	0,52	0,49	0,56	0,50	0,53	0,01 ^{ns}	-0,06*	0,03 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
M	0,50	0,50	0,56	0,53	0,55	-0,02 ^{ns}	-0,06**	0,00 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾									
C ₆	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,04*	-0,03 ^{ns}				
C ₇	0,02 ^{ns}	0,07**	-0,04 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}				
0,20-0,40 m						C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
O	0,61	0,56	0,54	0,54	0,57	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
OM	0,60	0,47	0,54	0,49	0,56	0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,13**	-0,07 ^{ns}
M	0,55	0,59	0,62	0,62	0,59	-0,02 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Contraste									
C ₆	0,06*	-0,08**	-0,08**	-0,11**	-0,03 ^{ns}				
C ₇	0,01 ^{ns}	0,08**	0,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}				

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; ; T= trigo; C= crotalária; AP= aveia preta, Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral, ⁽²⁾ Contrastes: C₂= (Mi+MiB+T) vs (C+AP); C₃ = (Mi+MiB) vs T; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Verifica-se que os valores da relação EA/HUM foram menores que 1. Neste caso, a fração humificada mais estável (HUM) está em maiores teores individualmente do que as formas mais lábeis, e que essa também supera a soma das frações solúveis (AH+AF) (PFLEGER; CASSOL; MAFRA, 2017). Para Benites, Madari e Machado (2003) a relação EA/HUM está associada à iluviação de matéria orgânica.

Houve interação entre anos, cultivos de inverno e fontes de fertilizantes apenas para EA na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 7). Neste caso, observa-se pelo contraste C₇, que o fertilizante orgânico incrementou valores de EA para os cultivos de milho e crotalária em comparação ao fertilizante organomineral em 2015, enquanto que para o cultivo do trigo, no mesmo ano, foi observado efeito contrário, ou seja, maior valor de EA para o fertilizante organomineral (Tabela 7). A adubação orgânica aumenta as frações lábeis de C, por melhorar inicialmente a atividade microbiana, aumentando assim a conversão do resíduo vegetal em formas lábeis de C orgânico (BENBI et al., 2015; LI et al., 2018). Evidencia-se, desta forma, o efeito do fertilizante orgânico primeiramente nas frações químicas, AF e AH, e assim no EA.

O fertilizante organomineral teve efeito sobre C₃ e C₅ em 2015, com redução dos teores de EA para os cultivos de milho e milho+braquiária de 1,24 g kg⁻¹ em relação ao cultivo do trigo (C₂ – Tabela 7), e para o cultivo de crotalária redução de 1,32 g kg⁻¹ em comparação ao cultivo da aveia preta (C₅ - Tabela 7). Em 2016, não houve efeito de das fontes fertilizantes sobre os contrastes avaliados para os cultivos de inverno (Tabela 7).

O fertilizante organomineral apresenta potencial químico reativo relativamente inferior ao fertilizante mineral, pois sua solubilização é gradativa ao decorrer do período de desenvolvimento da cultura, quando a eficiência agrônômica pode se tornar maior se comparado às fontes minerais solúveis (KIEHL, 2008), ou seja, maior capacidade de promover acréscimo de rendimento de cultura por unidade de determinado nutriente aplicado.

Observa-se que as plantas de cobertura sob fertilização orgânica incrementaram os teores de C no EA e o valor da relação EA/HUM na camada superficial do solo. Segundo Bittencourt et al. (2006), utilizar material orgânico permite racionamento do adubo mineral, aumento da capacidade de troca catiônica

(CTC), menores perdas por lixiviação e liberação de nutrientes às plantas. A prática de suprimir a adubação de semeadura nas culturas de cobertura no período do inverno não prejudicou os teores de C das frações húmicas, bem como suas relações.

Houve efeito de ano para os contrastes avaliados em relação às fontes de fertilizantes e os cultivos de inverno. Para os anos avaliados (2015 e 2016), o fertilizante orgânico incrementou o teor de EA em comparação ao fertilizante organomineral no cultivo do milho (Tabela 7). Os fertilizantes orgânico e organomineral incrementaram o teor de EA no cultivo da aveia preta em comparação o fertilizante mineral (Tabela 7). Também foi verificado aumento no teor de EA para os cultivos da crotalária e aveia preta em comparação os demais cultivos sob fertilização orgânica (Tabela 7).

Tabela 7 - Teor de carbono no extrato alcalino (EA) em função de anos, cultivos de inverno e fontes de fertilizantes para a camada de 0,10-0,20 m

Tratamento ⁽¹⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
	g kg ⁻¹					
Mi	6,51	5,67	6,65	6,53	6,26	5,92
MiB	6,39	6,30	6,24	6,56	6,17	5,87
T	6,32	7,22	6,67	5,89	5,63	6,31
C	6,88	5,90	6,07	6,23	6,30	6,20
AP	7,13	7,22	6,80	6,98	6,35	6,06
Contrastes ⁽²⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
C ₂ /Ano	-0,60*	-0,16 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
C ₃ /Ano	0,13 ^{ns}	-1,24**	-0,23 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,59 ^{ns}	-0,42 ^{ns}
C ₄ /Ano	0,12 ^{ns}	-0,63 ^{ns}	0,41 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,05 ^{ns}
C ₅ /Ano	-0,25 ^{ns}	-1,32**	-0,73 ^{ns}	-0,75 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Contrastes ⁽²⁾	2015					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2015	-0,56 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,37 ^{ns}	
C ₇ /2015	0,84**	0,09 ^{ns}	-0,90**	0,98**	-0,09 ^{ns}	
Contrastes ⁽²⁾	2016					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2016	0,47 ^{ns}	0,49 ^{ns}	-0,55 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,61 ^{ns}	
C ₇ /2016	0,27 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,63 ^{ns}	

Continua

Tabela 7 - Continuação

Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos fertilizantes/cultivos de inverno nos dois anos				
	Mi	MiB	T	C	AP
C ₆	-0,04 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,49*
C ₇	0,56*	0,24 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,27 ^{ns}

Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos cultivos de inverno/ fertilizantes nos dois anos		
	O	OM	M
C ₂	-0,44*	-0,23 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
C ₃	0,39 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	-0,32 ^{ns}
C ₄	0,04 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,23 ^{ns}
C ₅	-0,50 ^{ns}	-0,69*	-0,30 ^{ns}

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalária; AP = aveia preta, Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral.⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM.

⁽³⁾ Contrastes para efeito de ano: C₂= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+T₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆+T₂₀₁₆) vs (C₂₀₁₅+AP₂₀₁₅+C₂₀₁₆+AP₂₀₁₆); C₃= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆) vs (T₂₀₁₅+T₂₀₁₆); C₄= (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆) vs (MiB₂₀₁₅+MiB₂₀₁₆); C₅= (C₂₀₁₅+C₂₀₁₆) vs (AP₂₀₁₅+AP₂₀₁₆); C₆= (O₂₀₁₅+OM₂₀₁₅+O₂₀₁₆+OM₂₀₁₆) vs (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆); C₇= (O₂₀₁₅+O₂₀₁₆) vs (OM₂₀₁₅+OM₂₀₁₆). ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

4.6 CONCLUSÕES

Os teores de carbono nas frações químicas da matéria orgânica do solo apresentaram alterações em relação aos diferentes cultivos de inverno utilizados e, foram pouco influenciados pelas diferentes fontes de fertilizantes.

As frações ácido fúlvico e ácido húmico foram sensíveis aos diferentes cultivos de inverno, com redução dos teores de 2015 para 2016. Já a fração HUM, foi pouca influenciada pelo manejo de inverno.

O cultivo do trigo incrementa as frações humina e ácido húmico na camada de 0,20-0,40 m em relação aos cultivos do milho e milho+braquiária.

A ausência de adubação de semeadura no cultivo da crotalária ou da aveia preta no período do inverno em sucessão a cultura da soja não reduz os teores de carbono das frações húmicas da MOS.

As fontes orgânica e organomineral incrementaram os teores de carbono das frações químicas da matéria orgânica na camada superficial do solo e a fonte mineral incrementou as frações em profundidade maior que 0,20 m.

4.7 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R.; LAVADO, R.S. Climatic, organic matter and clay content relationship in the Pampa and Chaco soils, **Geoderma**, Amsterdam, v.83, p.127-141, 1998.

BARBOSA, E.A. et al. Soil attributes and quality under treated domestic sewage irrigation in sugarcane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.22, n.2, p.137-142, 2018.

BARRETO, P.A.B. et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v.81, n.3, p.213-220, 2011.

BATISTA, I. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.797-809, 2014.

BENBI, D. K. et al. Sensitivity of Labile Soil Organic Carbon Pools to Long-Term Fertilizer, Straw and Manure Management in Rice-Wheat System. **Pedosphere**, v.25, n.4, p.534-545, 2015.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico, 16).

BERTECHINI, M.C. **Frações da matéria orgânica do solo em função de fontes e doses de fertilizante mineral e organomineral no cerrado piauiense**. 2017. 48 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus-PI, 2017.

BEZERRA, R.P.M. et al. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, p.2637-2654, 2013.

BITTENCOURT, V.C. et al. Torta de filtro enriquecida. **Revista Idea News**, Ribeirão Preto, v.6, p.2-6, 2006.

CHAUDHARY, S.; DHERI, G.S.; BRAR, B.S. Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice-wheat cropping system. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.166, p.59-66, 2017.

CAMPOS, L.P. et al. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.48, n.3, p.304-312, mar. 2013.

CANELLAS, L.P. et al. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, n.1, p.133-143, 2000.

CUNHA, T.J.F. et al. **Avaliação de extratores de substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Distroférrico**. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2000. 15 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, n.7).

EBELING, A.G. et al. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.1, p.157-165, 2011.

FERREIRA, J.A. et al. **Caracterização Espectroscópica da Matéria Orgânica do Solo**. Embrapa: São Carlos, 2004. (Circular Técnica, 24).

FONTANA, A. et al. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.847-853, 2006.

GHOST, A. et al. Long-term fertilization effects on soil organic carbon sequestration in an Inceptisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.177, p.134-144, 2018.

GONÇALVES, S.L.; SARAIVA, O.F.; TORRES, E. **Influência de fatores climáticos na decomposição de resíduos culturais de aveia e trigo**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 27 p.

JHA, P. et al. Natural ^{13}C abundance and soil carbon dynamics under long-term residue retention in a no-till maize system. **Soil Use and Management**, v. 33, p.90-97, 2017.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes organominerais**. 4. ed. Piracicaba: Editora Degaspari, 2008, 160 p.

LI, C. et al. Characterization of bulk soil humin and its alkaline-soluble and alkaline-insoluble fractions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, p. 120-126, 2015.

LI, J. et al. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.175, p.281-290, 2018.

LOSS, A. et al. Oxidizable organic carbono fractions and soil aggregation in áreas under diferent organic production systems in Rio de Janeiro, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v.14, n.2, p.699-708, 2011.

MENEZES, C.E.G. et al. Organic matter in areas under secondary forests and pasture. **Cerne**, v.23, n.3, p.283-290, 2017.

MI, W. et al. Changes in soil organic carbon fractions under integrated management systems in a low-productivity paddy soil given different organic amendments and chemical fertilizers. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.163, p. 64-70, 2016.

NUNES, M.R. et al. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. **Geoderma**, Amsterdam, v.328, p.30-43, 2018.

OLIVEIRA FILHO, L.C.I. et al. Fauna edáfica em áreas com diferentes manejos e tempos de descarte de resíduos animais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.19, n.1, p.113-123, 2018.

PFLEGER, P.; CASSOL, P.C.; MAFRA, A.L. Substâncias húmicas em cambissolo sob vegetação natural e plantios de pinus em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.27, n.3, p.807-817, 2017.

PINHEIRO, E.F.M. et al. Matéria orgânica em Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Agrocência**. Pelotas, v.9, n.1; p.53-56, 2003.

RIBEIRO, P.H. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.1, p.43-50, 2011.

ROSA, D.M. et al. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.48, n.2, p.221-230, 2017.

ROSALES, M.A. et al. Influência das adubações orgânicas e mineral contínuas sobre as características das frações das substâncias húmicas do solo. **Revista Ceres**. Viçosa, v.46, n.263, p.67-91, 1999.

ROSSET, J.S. et al. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1529-1538, 2016.

ROSSI, C.Q. et al. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.622-630, 2011.

SALES, A. et al. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. **Colloquium Agrariae**, v.14, p.1-15, 2018.

SANTOS, C.A. et al. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.337, p.394-401, 2019.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007, p. 275-374.

SOUZA, L. C. et al. Soil carbon dioxide emission associated with soil porosity after sugarcane field reform. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, p.1-15, 2018.

STEINER, F. et al. Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema de plantio direto, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.3, p.401-408, 2011.

STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction**. 2. ed. New York: John Wiley, 1994. 443p.

5 CAPÍTULO 3 - FRAÇÕES LÁBIL, MODERADAMENTE LÁBIL E MODERADAMENTE RESISTENTE DE FÓSFORO INORGÂNICO E ORGÂNICO DO SOLO INFLUENCIADAS POR SISTEMAS DE CULTIVOS E ADUBAÇÃO

5.1 RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar alterações na labilidade das frações de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) do solo sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m em dois anos de avaliação (2015 e 2016), em área experimental localizada no município de Cafelândia, PR. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Na safra de verão todas as parcelas foram cultivadas com soja. No cultivo de inverno foram instaladas nas parcelas as diferentes culturas (5): milho, milho+braquiária, crotalária, aveia preta e trigo. Nas subparcelas foram aplicadas as três fontes de fertilizantes: orgânico, organomineral e mineral. O fertilizante orgânico utilizado foi a cama de frango, o fertilizante organomineral foi produzido a partir da peletização da cama de frango e fertilizante mineral granulado. O teor de Po foi estimado a partir da diferença do P total (com digestão) e do Pi (sem digestão) dos extratos de P lábil (bicarbonato de sódio), P moderadamente lábil (ácido sulfúrico) e P moderadamente resistente (hidróxido de sódio). Os fertilizantes orgânico, organomineral e mineral incrementaram os teores de P inorgânico e P total da fração moderadamente lábil. O fertilizante orgânico proporcionou incremento dos teores de Pi e P total das diferentes frações de P da camada de 0,00-0,05 m. Os cultivos de trigo, milho e milho+braquiária em sucessão com soja incrementam os teores de Pi lábil na camada de 0,00-0,10 m. Os cultivos de aveia preta e de milho+braquiária em sucessão com soja, aumentam os teores de Po moderadamente lábil quanto comparado aos cultivos de trigo e de milho, para a camada de 0,10-0,20 m. A sucessão soja/crotalária incrementa o teor de Po moderadamente lábil na camada de 0,05-0,10 m e reduz o teor de Pi lábil na camada de 0,10-0,20 m.

Palavras-chave: fracionamento de P, fertilizante orgânico, fertilizante organomineral.

5.2 ABSTRACT

LABILE, MODERATELY LABILE AND MODERATELY RESISTANT FRACTIONS OF INORGANIC AND ORGANIC PHOSPHORUS OF SOIL INFLUENCED BY CROPPING SYSTEM AND FERTILIZATION

The aim of this research was to evaluate changes in the organic and inorganic phosphorus fractions under different winter crops and fertilizers sources in grain production systems in western Paraná. The soil samples were collected at 0.00-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m depths, in 2015 and 2016. A randomized complete block design was used in a split-plot scheme with four replications. In the summer crop all plots were cultivated with soybean. In the winter period, the plots received different crops (5): black oats, *Crotalaria spectabilis*, corn, corn + *Brachiaria ruziziensis* and wheat. In the subplots the three fertilizer sources were applied: organic, organomineral and mineral. The organic fertilizer used was the poultry litter, organomineral fertilizer was produced from the pelletizing of poultry litter and granular mineral fertilizer. The content of P_o was estimated from the difference of total P (with digestion) and P_i (without digestion) of extracts of labile P, moderately labile (sulfuric acid) and moderately resistant P (sodium hydroxide). The moderately labile fraction P is in larger portion in the soil compared to the fractions of moderately resistant P and labile P. Organic, organomineral and mineral fertilizers increase the inorganic P and total P content of moderately labile. The organic fertilizer increased the inorganic P and total P contents of the different P fractions of the superficial layer (0.00-0.05 m). Wheat, corn and corn + *Brachiaria* in soybean succession increase the inorganic P content in the 0.00-0.10 m layer. The soybean/*C.spectabilis* sequence provides a reduction in P_i and P_t fractions in depth greater than 0.10 m.

Key words: P fractionation, organic fertilizer, organomineral fertilizer.

5.3 INTRODUÇÃO

Os solos tropicais, devido à ação do intemperismo, apresentam frações com baixos teores de fósforo (P), isto se deve a alta capacidade que esses solos têm em reter o P na fase sólida, na forma de compostos de baixa reatividade (SANTOS et al., 2008). No entanto, os sistemas de cultivo e o manejo da adubação fosfatada podem influenciar o potencial de suprimento do nutriente no solo e seu aproveitamento pelas culturas (SOUSA; LOBATO, 2004).

O P é encontrado no solo na forma inorgânica e orgânica. O P inorgânico compreende o íon fosfato, P estrutural dos minerais fosfatados do solo e todas as formas de fosfato precipitadas com compostos inorgânicos ou adsorvidos a eles. A forma orgânica do P abrange os compostos orgânicos, como o P na biomassa microbiana do solo, e o P estrutural ou adsorvido aos resíduos orgânicos e matéria orgânica do solo (GATIBONI et al., 2013). O P inorgânico (Pi) pode se encontrar em solução (P-solução), precipitado com Al, Fe e Ca ou adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, ambos em equilíbrio com a solução, e compondo a fração lábil de P (P lábil) no solo. A fração não-lábil é composta pelo P sob a forma de compostos de baixa solubilidade (P mineralogicamente estável) ou adsorvido às partículas do solo, não estando, estas formas, em equilíbrio imediato com o P em solução (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Para a melhor compreensão da disponibilidade de P, vários métodos têm sido desenvolvidos para fracionar suas formas no solo e, com isto estudar suas transformações. Os métodos de fracionamento do P do solo têm como pressuposto a extração sequencial em uma amostra de solo com uma série de reagentes ou soluções extratoras com seletividade para dissolver diferentes formas de P no solo, com base na natureza do composto fosfato e da energia de ligação (GATIBONI et al., 2013). Entre os métodos de fracionamento, o método de Bowman (1989) permite quantificar as diversas frações de P do solo em três extrações: 1ª extração com bicarbonato de sódio para determinação da fração P lábil; 2ª extração com ácido sulfúrico para fração P moderadamente lábil e 3ª extração com hidróxido de sódio para a fração P moderadamente resistente.

De acordo com Silva e Van Raij (1999) para entender melhor a dinâmica do P em solos, é necessário conhecer as diferentes frações do elemento. O

conhecimento da natureza e da distribuição dessas frações pode fornecer informações importantes para a avaliação da disponibilidade do P no solo (TIESSEN; STEWART; COLE, 1984). Assim, há necessidade de avaliar o efeito dos diferentes sistemas de cultivos e de fontes de fertilizantes nas frações de P inorgânico e orgânico do solo.

A aplicação de fertilizantes fosfatados ao solo resulta em acúmulo mais pronunciado de P nas frações inorgânicas (PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009). Para os fertilizantes de origem orgânica e de fácil decomposição, o acúmulo de P no solo ocorre primeiramente em frações orgânicas, que somente migram para frações inorgânicas após mineralização. Contudo, caso os resíduos sejam compostos por material de difícil decomposição, como as Brachiarias (LOSS et al., 2012), a maior parte do P contido nele permanecerá no solo em frações orgânicas (OTABBONG et al., 1997).

A dinâmica do P pode ser alterada pelos sistemas de manejo do solo, modificações nos conteúdos das diferentes formas de P_o têm sido observadas em decorrência de práticas agrícolas, tais como o uso de diferentes fontes de fertilizantes (MATOS et al., 2006; GATIBONI et al., 2007; GUARDINI et al., 2012).

Os sistemas de manejo também promovem adição de matéria orgânica ao solo (MOS) e contribuem para o aumento de formas lábeis de P, com diminuição da adsorção e conseqüente aumento da disponibilidade de P para as plantas (FONTANA et al., 2008; PAVINATO; ROSOLEM, 2008; PEREIRA et al., 2010).

Bezerra et al. (2015) avaliando diferentes sistemas de manejo, verificaram que o sistema de integração lavoura pecuária (ILP), acarreta na maior disponibilização das frações de P inorgânico e P orgânico quando comparado ao sistema plantio direto (SPD) no Cerrado goiano. Assim, diferentes sistemas de uso do solo alteram o ciclo biogeoquímico do P, fazendo com que as formas mais disponíveis sejam favorecidas nas camadas superficiais e nos sistemas que aumentam a MOS.

Desta forma, a hipótese deste trabalho foi que diferentes sistemas de manejo e fontes de fertilizantes alteram a labilidade e as formas de P inorgânico e P orgânico no solo. Assim, o presente trabalho teve por objetivo verificar alterações na labilidade das frações de fósforo inorgânico e orgânico do solo sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção grãos.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1 Caracterização da Área Experimental

A descrição da caracterização da área experimental está apresentada no item 3.4.1 do Capítulo 1 (p.24).

5.4.2 Delineamento Experimental

A descrição do delineamento experimental está apresentada no item 3.4.2 do Capítulo 1 (p.25).

5.4.3 Condução do Experimento

A descrição da condução do experimento está apresentada no item 3.4.3 do Capítulo 1 (p.26).

5.4.4 Coleta das Amostras de Solo

A descrição da coleta do solo está apresentada no item 3.4.4 do Capítulo 1 (p.29), sendo que para os dados deste capítulo não houve necessidade de transformação de dados.

5.4.5 Análises Realizadas

Para o fracionamento sequencial do fósforo orgânico (Po) foi utilizada a metodologia de Bowman (1989). O teor de P orgânico foi estimado a partir da diferença do P total (com digestão) e do P inorgânico (sem digestão) do extrato. Este método consiste em três extrações: 1ª extração com bicarbonato de sódio (NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹ a pH 8,5) para determinação da fração P lábil (P-bic); 2ª extração com ácido sulfúrico para fração P moderadamente lábil (P-H⁺) e 3ª extração com hidróxido de sódio (NaOH 0,5 mol L⁻¹) para a fração P moderadamente resistente (P-OH). De cada extrato, 10 ml foram submetidos a digestão com MgCl_2 e HClO_4 , até a formação de um gel incolor/amarelado, com elevação gradual da temperatura até

200°C e, após aferição para 10 ml. A determinação dos teores de Pi e Po em cada fração foi realizada por espectrofotometria a 660 nm, utilizando-se 5 ml de cada extrato (SILVA, 2009).

5.4.6 Análises Estatísticas

A descrição das análises estatísticas está apresentada no item 3.4.6 do Capítulo 1 (p.30), sendo que para os dados deste capítulo não houve necessidade de transformação de dados.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O P do solo analisado encontra-se em maior proporção na fração moderadamente lábil (P-H⁺), seguida da fração moderadamente resistente (P-OH⁻) e da fração lábil (P-bic) (Tabela 1). Esta tendência de acúmulo de P na fração moderadamente lábil também foi verificada em diferentes sistemas de manejos por Guareschi, Pereira e Perin (2016) e Rosset et al. (2016), na região oeste do Paraná.

Em Latossolos Vermelhos têm-se altos teores de argila e óxidos de Fe e Al (LOSS, 2011), com alta capacidade de adsorção de P, que faz com que este elemento fique menos disponível para as plantas e para os microrganismos. Assim, a adubação fosfatada aumenta as frações de Pi, indicando um processo de saturação dos sítios de adsorção (LOSS, 2011; BEZERRA et al., 2015) e, a fração Pi moderadamente lábil pode estar relacionada também a presença de óxidos de Fe e Al no solo.

Por outro lado, esses resultados podem estar associados às formas de P ligadas ao Ca, pois a extração de P em meio ácido solubiliza essas formas de baixa solubilidade (NOVAIS; SMITH, 1999). Em solos alcalinos e com teores elevados de Ca²⁺, tanto o P nativo como o P adicionado como fertilizante precipitam com o Ca²⁺ da solução do solo, formando fosfatos de Ca pouco solúveis (GATIBONI et al., 2007; SOUZA JÚNIOR et al., 2012). Assim, os maiores teores de P moderadamente lábil podem estar relacionados com os maiores teores de Ca presente na área cultivada, sendo esses teores de Ca oriundos das adições de calcário na superfície do solo no

início do experimento, e da decomposição e liberação de nutrientes (Ca) oriundos dos resíduos vegetais dos cultivos.

Tabela 1 - Teores fósforo inorgânico (Pi), orgânico (Po) e total (Pt) nas frações lábeis (P-bic), moderadamente lábeis (P-H⁺) e moderadamente resistentes (P-OH⁻) em diferentes camadas do solo e anos

Tratamento ⁽¹⁾	Pi-bic	Po-bic	Pt-bic	Pi-bic	Po-bic	Pt-bic
	mg kg ⁻¹					
	----- 0,00-0,05 m -----			----- 0,05-0,10 m -----		
2015	18,05	20,17	38,22	14,16	20,63	34,79
2016	22,54	21,72	44,26	17,22	21,56	38,79
Contraste C ₁	- ⁽³⁾	-1,55 ^{ns}	-	-3,06 ^{**}	-0,93 ^{ns}	-4,00 ^{ns}
	----- 0,10-0,20 m -----			----- 0,20-0,40 m -----		
2015	7,99	14,95	22,94	0,01	7,09	7,10
2016	12,75	19,81	32,56	0,05	8,01	8,06
Contraste C ₁	-4,75 ^{**}	-4,86 ^{ns}	-9,61 ^{**}	-0,04 ^{ns}	-	-
Tratamento ⁽¹⁾	Pi-H ⁺	Po-H ⁺	Pt-H ⁺	Pi-H ⁺	Po-H ⁺	Pt-H ⁺
	----- 0,00-0,05 m -----			----- 0,05-0,10 m -----		
2015	895,93	253,41	1149,34	841,14	208,29	1049,43
2016	944,00	262,50	1206,50	874,75	262,65	1137,40
Contraste C ₁	-	-	-57,16 ^{**}	-	-	-
	----- 0,10-0,20 m -----			----- 0,20-0,40 m -----		
2015	769,38	174,85	944,22	534,78	96,72	631,51
2016	786,97	211,6	998,57	539,56	105,29	644,85
Contraste C ₁	-17,59 ^{ns}	-36,75 ^{**}	-54,35 ^{**}	-4,78 ^{ns}	-	-
Tratamento ⁽¹⁾	Pi-OH ⁻	Po-OH ⁻	Pt-OH ⁻	Pi-OH ⁻	Po-OH ⁻	Pt-OH ⁻
	----- 0,00-0,05 m -----			----- 0,05-0,10 m -----		
2015	64,25	33,30	97,55	59,04	29,58	88,62
2016	63,33	33,99	97,32	57,51	25,95	83,46
Contraste C ₁	0,92 ^{ns}	-	-	1,53 ^{ns}	3,63 ^{ns}	5,17 [*]
	----- 0,10-0,20 m -----			----- 0,20-0,40 m -----		
2015	47,99	14,18	62,18	30,88	6,79	37,67
2016	55,86	21,50	77,36	30,99	10,95	41,94
Contraste C ₁	-7,87 ^{**}	-7,32 ^{**}	-15,19 ^{**}	-0,11 ^{ns}	-4,16 ^{**}	-4,27 ^{**}

⁽¹⁾ Anos: 2015 e 2016. ⁽²⁾ Contraste: C₁= 2015 vs 2016. ⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Na camada de 0,00-0,05 m, os teores médios de P lábil (P-bic) foram semelhantes aos encontrados por Rosset et al. (2016), em Latossolo Vermelho Eutroférico, com 22 anos de SPD (Tabela 1). No geral, os teores médios de Pi e Pt moderadamente lábil e Pi, Po e Pt moderadamente resistentes deste trabalho foram

superiores em 1,3 vezes aos teores obtidos por Rosset et al. (2016). Apenas, Po moderadamente lábil deste trabalho foi inferior.

No presente trabalho, os teores de Pi lábil foram semelhantes aos teores encontrados por Bezerra et al. (2015). Porém, os teores de Po lábil, Pi e Po moderadamente resistente obtidos neste trabalho foram inferiores. Houve diferença marcante para os teores de Pi e Po moderadamente lábeis encontrados no presente trabalho, que foram cerca de quatro vezes maiores aos de Bezerra et al. (2015). Esta diferença pode estar relacionada a fatores como o material de origem e ao grau de desenvolvimento deste solo. O material de origem de basalto são mais ricos em P, assim, os solos originados desta rocha ou de seus sedimentos apresentam maior conteúdo de P (RANNO; SILVA; MALLMANN, 2007).

A fração Po lábil representa valores próximos de 50% do Pt lábil, na sessão de 0,00-0,10 m e com maior participação nas camadas abaixo de 0,10 m (Tabela 1). O predomínio de Po lábil sobre Pi lábil encontrado neste estudo, corrobora com os resultados obtidos por Duda et al. (2013), Oliveira et al. (2014) e Costa et al. (2017).

Para as frações P moderadamente lábil e P moderadamente resistente, houve predominância de Pi, sendo esta tendência também verificada por Rosset et al. (2016) e Costa et al. (2017). De acordo com Matos et al. (2006), a adubação altera principalmente a magnitude das frações de Pi, e o aumento de P na forma orgânica não acompanha o rápido incremento do Pt. A predominância da fração Pi esta associada a áreas que receberam altas doses de fertilizantes fosfatados, enquanto que a fração orgânica prevalece em solos com baixa influência antrópica (BEUTLER et al., 2015).

Os teores de Pi aumentaram de 2015 para 2016 principalmente para as frações lábeis e moderadamente lábeis na sessão 0,00-0,10 m (Tabelas 1), com consequente aumento dos teores Pt destas frações. No entanto, os teores de Pi das frações labéis, moderadamente lábeis e moderadamente resistentes não se alteraram de 2015 para 2016 na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 1). Os teores elevados de todas as frações de P na camada superficial do solo, nas áreas cultivadas, são decorrentes do sistema de manejo. Em SPD, as fontes de fertilizantes foram adicionadas na superfície do solo, que somado à constante adição de resíduos vegetais e a ausência de revolvimento do solo, intensifica a ciclagem de P na camada superficial do solo.

Os teores de Po lábil permaneceram inalterados nos anos avaliados na sessão de 0,00-0,20 m (Tabela 1). De modo geral, houve incremento dos teores de Po moderadamente lábil e Po moderadamente resistente nas diferentes camadas do solo em 2016 (Tabela 1). De acordo com Carvalho et al. (2014), a liberação do P pelos resíduos vegetais depende da quantidade e da qualidade da matéria orgânica, do processo de decomposição e das condições ambientais.

Os cultivos de inverno não promoveram alterações dos teores de Pi lábil na camada de 0,20-0,40 m e para a Pi moderadamente resistente na sessão de 0,05-0,40 m (Tabela 2). Para Rheinheimer e Anghinoni (2001), o cultivo de plantas anuais tem pouco efeito na dinâmica das frações de Pi e, quando ele ocorre, não está propriamente associado à espécie de planta, mas à disponibilidade de N, que altera a produtividade de biomassa vegetal e a exportação de P.

Os cultivos do milho, milho+braquiária e trigo proporcionaram aumento nos teores de Po lábil na camada de 0,05-0,10 m e de Pi lábil e Po moderadamente resistente na camada de 0,10-0,20 m quando comparados aos cultivos da crotalária e aveia preta (C₂ – Tabela 2). Os cultivos de milho e milho+braquiária elevaram os teores de Po lábil na sessão de 0,00-0,10 m, enquanto que o cultivo do trigo incrementou esta fração na camada de 0,10-0,20 m (C₃ – Tabela 2). Comparando o cultivo do milho com o cultivo do milho+braquiária, observa-se que o milho incrementa os teores de Pi e Pt lábil na camada de 0,10-0,20 m, enquanto que o cultivo do milho+braquiária incrementou o teor de Pt moderadamente resistente (C₄ – Tabela 2). E o cultivo de aveia preta incrementou os teores de Pi e Pt lábil e Po moderadamente lábil na camada de 0,10-0,20 m em comparação com o cultivo crotalária. Estes resultados superiores para a fração Po para o cultivo do trigo e da aveia preta podem estar relacionados com as frações húmicas da matéria orgânica, que estão diretamente correlacionadas as frações de Po (BEUTLER et al., 2015). Os resultados referentes as frações húmicas foram apresentados no capítulo 2.

Tabela 2 - Teores fósforo inorgânico (Pi), orgânico (Po) e total (Pt) nas frações lábeis (P-bic), moderadamente lábeis (P-H⁺) e moderadamente resistentes (P-OH⁻) sob diferentes cultivos de inverno e camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	Pi-bic	Po-bic	Pt-bic	Pi-bic	Po-bic	Pt-bic
	mg kg ⁻¹					
	----- 0,00-0,05 m -----			----- 0,05-0,10 m -----		
Mi	24,99	23,16	48,15	18,20	23,12	41,35
MiB	20,67	22,63	43,30	18,16	24,73	42,89
T	20,19	19,07	39,26	18,63	18,61	37,25
C	19,97	20,94	40,91	12,20	20,31	32,50
AP	15,66	18,93	34,59	11,25	18,70	29,95
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	- ⁽³⁾	1,69 ^{ns}	-	-	2,65 ^{**}	-
C ₃	-	3,83 ^{**}	-	-	5,32 ^{**}	-
C ₄	-	0,53 ^{ns}	-	-	-1,61 ^{ns}	-
C ₅	-	2,01 ^{ns}	-	-	1,61 ^{ns}	-
----- 0,10-0,20 m -----						
Mi	13,09	16,6	29,69	0,02	10,34	10,36
MiB	8,81	15,51	24,32	0,09	5,71	5,80
T	12,16	19,81	31,97	0,04	8,51	8,55
C	6,14	18,02	24,17	0,00	6,08	6,08
AP	11,64	16,97	28,61	0,00	7,12	7,12
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	2,46 ^{**}	-0,19 ^{ns}	2,27 ^{**}	0,05 ^{ns}	-	-
C ₃	-1,21 ^{ns}	-3,76 ^{**}	-4,97 ^{**}	0,02 ^{ns}	-	-
C ₄	4,28 ^{**}	1,09 ^{ns}	5,37 ^{**}	-0,07 ^{ns}	-	-
C ₅	-5,50 ^{**}	1,05 ^{ns}	-4,44 ^{**}	0,00 ^{ns}	-	-
----- 0,20-0,40 m -----						
Tratamento ⁽¹⁾	Pi-H ⁺	Po-H ⁺	Pt-H ⁺	Pi-H ⁺	Po-H ⁺	Pt-H ⁺
	----- 0,00-0,05 m -----			----- 0,05-0,10 m -----		
	Mi	902,68	262,97	1165,65	846,36	259,88
MiB	900,04	267,31	1167,35	864,83	222,39	1087,22
T	934,30	225,21	1159,52	889,90	216,51	1106,41
C	926,12	266,19	1192,31	819,76	265,45	1085,22
AP	936,68	268,10	1204,78	868,88	213,11	1081,99
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	-	-	-34,37 ^{ns}	-	-	-
C ₃	-	-	6,98 ^{ns}	-	-	-
C ₄	-	-	-1,70 ^{ns}	-	-	-
C ₅	-	-	-12,47 ^{ns}	-	-	-
----- 0,10-0,20 m -----						
Mi	771,41	163,12	934,53	523,21	93,34	616,53
MiB	780,40	194,17	974,57	523,78	90,03	613,82
T	783,10	183,95	967,05	557,05	118,89	675,95
C	761,31	192,69	954,00	541,63	94,67	636,30
AP	794,65	232,18	1026,83	540,18	108,11	648,29
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	0,32 ^{ns}	-32,02 ^{**}	-	-6,23 ^{ns}	-	-
C ₃	-7,20 ^{ns}	-5,31 ^{ns}	-	-33,55 ^{**}	-	-
C ₄	-8,99 ^{ns}	-31,05 ^{**}	-	-0,57 ^{ns}	-	-
C ₅	-33,34 ^{ns}	-39,49 ^{**}	-	1,45 ^{ns}	-	-

Continua.

Tabela 2 – Continuação

Tratamento ⁽¹⁾	Pi-OH ⁻	Po-OH ⁻	Pt -OH ⁻	Pi-OH ⁻	Po-OH ⁻	Pt-OH ⁻
	mg kg ⁻¹					
	----- 0,00-0,05 m -----			----- 0,05-0,10 m -----		
Mi	66,66	35,25	101,91	58,67	26,58	85,25
MiB	63,49	33,04	96,53	58,78	26,71	85,50
T	62,10	32,19	94,29	57,13	29,38	86,50
C	65,06	32,76	97,83	57,97	29,34	87,31
AP	61,64	34,99	96,63	58,83	26,80	85,64
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	-	-	-	-0,21 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,72 ^{ns}
C ₃	-	-	-	1,60 ^{ns}	-2,74 ^{ns}	-1,13 ^{ns}
C ₄	-	-	-	-0,11 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,25 ^{ns}
C ₅	-	-	-	-0,86 ^{ns}	2,54 ^{ns}	1,67 ^{ns}
	----- 0,10-0,20 m -----			----- 0,20-0,40 m -----		
Mi	50,87	19,30	70,17	31,04	8,01	39,05
MiB	54,04	19,10	73,15	30,95	7,17	38,12
T	51,17	18,18	69,35	30,97	10,65	41,62
C	51,70	16,03	67,73	30,60	7,73	38,33
AP	51,85	16,60	68,44	31,11	10,80	41,91
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	0,25 ^{ns}	2,55 ^{**}	2,80 ^{**}	0,13 ^{ns}	-	-
C ₃	1,29 ^{ns}	1,02 ^{ns}	2,31 [*]	0,02 ^{ns}	-	-
C ₄	-3,17 ^{ns}	0,20 ^{ns}	-2,98 [*]	0,09 ^{ns}	-	-
C ₅	-0,15 ^{ns}	-0,57 ^{ns}	-0,71 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-	-

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo ; C = crotalária; AP = aveia preta.

⁽²⁾ Contrastes: C₁= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₂= (Mi+MiB) vs T ; C₃= Mi vs MiB; C₄= C vs AP.

⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Modificações nas frações de Pi e Po sob diferentes sistemas de manejo também foram identificadas por Bezzera et al. (2015) e Beutler et al. (2015), que verificaram incrementos nos teores de Pi e Po em sistema de integração lavoura-pecuária em comparação com áreas de SPD, pastagem e cerrado, devido ao maior aporte vegetal oriundo da braquiária, dos dejetos bovinos deixados aleatoriamente na área e as adubações realizadas.

Interações entre anos e cultivos de inverno foram verificadas para as frações Po e Pt nas camadas superficiais (0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m) (Tabelas 3 e 4). Estas alterações nas frações de Po sob diferentes cultivos estão relacionadas ao aporte de biomassa e a velocidade de liberação de nutrientes dos resíduos culturais durante o processo de decomposição, o que depende de características da espécie, em especial a relação C/N, da localização e da forma em

que esse nutriente se encontra no tecido vegetal (CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004; MARSCHNER, 2011).

Tabela 3 - Teores fósforo orgânico (Po) e total (Pt) moderadamente lábeis (P-H⁺) na interação entre anos e cultivos de inverno em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	2015		Contraste	2016		Contraste
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
	Po-H ⁺			Po-H ⁺		
	0,00-0,05 m		C ₁	0,05-0,10 m		C ₁
Mi	297,43	228,51	68,93*	261,04	258,71	2,33 ^{ns}
MiB	273,80	260,82	12,98 ^{ns}	216,98	227,80	-10,82 ^{ns}
T	219,13	231,30	-12,17 ^{ns}	175,86	257,17	-81,31*
C	228,78	303,59	-74,81*	211,72	319,19	-107,48**
AP	247,90	288,30	-40,40 ^{ns}	175,86	250,35	-74,49*
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	25,11 ^{ns}	-55,74**		24,17 ^{ns}	-36,88*	
C ₃	66,49**	13,37 ^{ns}		63,15**	-13,92 ^{ns}	
C ₄	23,63 ^{ns}	-32,31 ^{ns}		44,06 ^{ns}	30,91 ^{ns}	
C ₅	-19,12 ^{ns}	15,29 ^{ns}		35,86 ^{ns}	68,84**	
	Po-H ⁺		C ₁	Pt-H ⁺		C ₁
	0,20-0,40 m			0,20-0,40 m		
Mi	96,80	89,88	6,92 ^{ns}	627,09	605,97	21,11 ^{ns}
MiB	86,82	93,25	-6,43 ^{ns}	609,94	617,69	-7,75 ^{ns}
T	89,80	147,98	-58,18**	638,38	713,51	-75,12**
C	105,97	83,36	22,60 ^{ns}	643,52	629,08	14,45 ^{ns}
AP	104,23	111,99	-7,76 ^{ns}	638,59	657,99	-19,40 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	-13,96 ^{ns}	12,70 ^{ns}		-15,92 ^{ns}	2,19 ^{ns}	
C ₃	2,01 ^{ns}	-56,42**		-19,86 ^{ns}	-101,68**	
C ₄	9,98 ^{ns}	-3,37 ^{ns}		17,15 ^{ns}	-11,72 ^{ns}	
C ₅	1,74 ^{ns}	-28,63*		4,93 ^{ns}	-28,91*	

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo ; C = crotalária; AP = aveia preta.

⁽²⁾ Contrastes: C₁= 2015 vs 2016; C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Tabela 4 - Teores fósforo orgânico (Po) e total (Pt) lábeis (P-bic) e moderadamente resistentes (P-OH⁻) na interação entre anos e cultivos de inverno em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	2015		2016		Contraste	2015		2016		Contraste		
	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹				
	Po-bic		Pt-bic			Po-OH ⁻		Pt-OH ⁻				
	0,20-0,40 m		0,20-0,40 m			0,00-0,05 m		0,00-0,05 m				
			C ₁					C ₁				
Mi	9,93	10,75	-0,82 ^{ns}	9,97	10,75	-0,78 ^{ns}	31,69	38,82	-7,12 ^{ns}	96,82	107,01	-10,19 [*]
MiB	6,14	5,28	0,86 ^{ns}	6,14	5,46	0,68 ^{ns}	29,25	36,83	-7,57 [*]	93,05	100,00	-6,95 ^{ns}
T	6,64	10,38	-3,74 ^{**}	6,66	10,45	-3,79 ^{**}	28,84	35,55	-6,72 ^{ns}	90,60	97,98	-7,38 ^{ns}
C	6,28	5,89	0,39 ^{ns}	6,28	5,88	0,40 ^{ns}	38,33	27,20	11,13 ^{**}	106,45	89,20	17,24 ^{**}
AP	6,48	7,77	-1,29 ^{ns}	6,48	7,77	-1,29 ^{ns}	38,41	31,56	6,84 ^{ns}	100,83	92,42	8,41 [*]
Contraste ⁽²⁾												
C ₂	1,19 [*]	1,97 ^{**}		1,21 [*]	2,06 ^{**}		-8,44 ^{**}	7,69 ^{**}		-10,15 ^{**}	10,85 ^{**}	
C ₃	1,40 [*]	-2,37 ^{**}		1,40 [*]	-2,35 ^{**}		1,63 ^{ns}	2,28 ^{ns}		4,34 ^{ns}	5,52 ^{ns}	
C ₄	3,79 ^{**}	5,47 ^{**}		3,83 ^{**}	5,29 ^{**}		2,44 ^{ns}	1,99 ^{ns}		3,77 ^{ns}	7,01 [*]	
C ₅	-0,20 ^{ns}	-1,88 [*]		-0,20 ^{ns}	-1,89 [*]		-0,08 ^{ns}	-4,36 ^{ns}		5,62 ^{ns}	-3,22 ^{ns}	

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo ; C = crotalária; AP = aveia preta.

⁽²⁾ Contrastes: C₁= 2015 vs 2016; C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

O teor de Po moderadamente lábil no cultivo da crotalária aumentou de 2015 para 2016 na sessão de 0,00-0,10 m e houve redução de Po e Pt moderadamente resistente para a camada de 0,00-0,05 m (Tabelas 3 e 4). Por ser uma leguminosa, a crotalária possui altos teores de N na matéria vegetal, e os restos vegetais geralmente têm baixa relação C/N, com decomposição relativamente acelerada (PERIN et al., 2004), interferindo assim na ciclagem das frações de Po.

Esta redução na fração de Po moderadamente resistente (Tabela 4) de 2015 para 2016 pode estar relacionada com as variações nas frações húmicas mais lábeis da matéria orgânica que disponibilizam P (BEZERRA et al., 2015), e também na capacidade do Po em atuar como um dreno de P, indicando participação no tamponamento do Pi (GATIBONI et al., 2017).

A fração ácido fúlvico disponibiliza mais facilmente Po moderadamente lábil em comparação a fração ácido húmico, visto que este último apresenta maior estabilidade no processo de humificação (DUDA, 2000; GUPPY et al., 2005). Já as frações de Pi e Po moderadamente resistentes são consideradas de baixa mineralização por estarem associadas aos ácidos húmicos, que são mais estáveis quando comparados aos ácidos fúlvicos (STEVENSON, 1994; BEZERRA et al., 2015). Rosset et al. (2016) verificaram interações entre as frações de Pi e os ácidos fúlvicos e húmicos, e entre o Po moderadamente resistente e a fração humina.

O cultivo do trigo apresentou elevação dos teores de Po e Pt lábil (C_1 - Tabela 4) e moderadamente lábil (C_1 - Tabela 3) do ano de 2015 para 2016 para a camada de 0,20-0,40 m e a superioridade desta cultura também foi verificada quando comparado os seus teores de Po e Pt lábil e moderadamente lábil com os cultivos de milho e milho+braquiária (C_3 - Tabela 3 e 4) em 2016. Este incremento de Po em profundidade no cultivo do trigo está relacionado ao fato das gramíneas contribuírem para manter e/ou elevar os aportes de material orgânico no solo devido a seu sistema radicular abundante, especialmente em camada subsuperficiais (SANTOS et al., 2019), conseqüentemente influenciando nas frações de Po do solo.

Os cultivos comerciais (milho, milho+braquiária e trigo) incrementaram os teores de Po lábil na camada de 0,20-0,40 m quando comparados as plantas de cobertura (crotalária e aveia preta). Neste caso, a adubação na semeadura das culturas pode ter influenciado nos teores de P das frações nos diferentes cultivos de inverno, uma vez que as parcelas com aveia preta e a crotalária receberam apenas a adubação no cultivo de verão.

Em 2015, as plantas de cobertura incrementaram o teor de Po e Pt moderadamente resistente na camada de 0,00-0,05 m (C_2 - Tabela 4). No entanto, em 2016, as plantas de cobertura apresentaram maior teor de Po moderadamente lábil (C_2 - Tabela 3) e com conseqüente redução da fração de Po moderadamente resistente (Tabela 4) na camada de 0,00-0,05 m em comparação aos cultivos comerciais. De acordo com Partelli et al. (2009), o menor revolvimento do solo, o uso de plantas de cobertura, a permanência de resíduos vegetais e a adição de materiais orgânicos favorecem a manutenção e o acúmulo do Po na camada superficial do solo. Por outro lado, alterações nas frações de P são mencionadas por Gatiboni et al. (2017), que relatam a capacidade do Po em atuar como um dreno de

P, indicando que esta forma atua no tamponamento do P_i (GATIBONI et al., 2017), o que pode ter provocado variações entre os anos avaliados.

O fertilizante orgânico em conjunto com o fertilizante organomineral, apresentaram teores superiores de Pt moderadamente lábil na camada de 0,00-0,05 m e de Pt para a fração moderadamente resistente na sessão de 0,00-0,10 m em comparação com o fertilizante mineral (C_6 - Tabela 5). O fertilizante orgânico teve seu efeito na camada superficial de 0,00-0,05 m, com incremento nos teores de Pt moderadamente lábil e moderadamente resistente nesta camada, em comparação com o fertilizante organomineral (C_7 - Tabela 5). Por outro lado, o fertilizante organomineral incrementou os teores de P_i lábil e P_i moderadamente lábil na camada de 0,10-0,20 m e de P_i e Pt moderadamente resistente na camada de 0,05-0,10 m. Assim, para as demais frações não houve efeito das fontes de fertilizantes sobre os teores de P.

Ceretta et al. (2010) utilizando fertilizante orgânico líquido (dejeito suínos) verificaram efeito da adubação apenas para a fração P_i lábil. Matos et al. (2006) verificaram efeito da adubação orgânica (resíduos vegetais e esterco bovino) para as frações de P_i e P_o lábil, relatando que as quantidades adicionadas de P ao solo, não foram suficientes para promover incremento significativo de P orgânico total.

Tabela 5 - Teores fósforo inorgânico (Pi), orgânico (Po) e total (Pt) nas frações lábeis (P-bic), moderadamente lábeis (P-H⁺) e moderadamente resistentes (P-OH⁻) em diferentes camadas do solo e fontes de fertilizantes

Tratamento ⁽¹⁾	Pi-bic	Po-bic	Pt-bic	Pi-bic	Po-bic	Pt-bic
	mg kg ⁻¹					
	0,00-0,05 m			0,05-0,10 m		
O	29,45	20,55	50,00	11,50	23,46	34,96
OM	16,97	21,21	38,18	19,25	17,51	36,77
M	14,46	21,08	35,54	16,32	22,32	38,63
Contraste						
C ₆	- ⁽³⁾	-0,20 ^{ns}	-	-	-1,83 ^{ns}	-
C ₇	-	-0,66 ^{ns}	-	-	5,95 ^{**}	-
	0,10-0,20 m			0,20-0,40 m		
O	6,70	17,97	24,67	0,05	6,59	6,65
OM	13,01	17,72	30,73	0,02	7,24	7,26
M	11,40	16,46	27,86	0,01	8,83	8,84
Contraste						
C ₆	-1,55 ^{ns}	1,39 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-1,91 ^{**}	-1,88 [*]
C ₇	-6,31 ^{**}	0,25 ^{ns}	-6,06 ^{**}	0,03 ^{ns}	-0,65 ^{ns}	-0,62 ^{ns}
Tratamento ⁽¹⁾	Pi-H ⁺	Po-H ⁺	Pt-H ⁺	Pi-H ⁺	Po-H ⁺	Pt-H ⁺
	0,00-0,05 m			0,05-0,10 m		
O	1023,83	257,75	1281,58	831,72	250,96	1082,68
OM	885,87	265,51	1151,38	877,23	227,40	1104,63
M	850,20	250,61	1100,8	864,89	228,05	1092,93
Contraste						
C ₆	-	11,02 ^{ns}	115,67 ^{**}	-	11,03 ^{ns}	-
C ₇	-	-7,76 ^{ns}	130,20 ^{**}	-	23,56 ^{ns}	-
	0,10-0,20 m			0,20-0,40 m		
O	764,57	192,40	956,97	536,01	101,29	637,29
OM	797,13	188,50	985,63	535,68	94,18	629,86
M	772,82	198,77	971,59	539,83	107,55	647,38
Contraste						
C ₆	8,03 ^{ns}	-8,32 ^{ns}	-	-3,99 ^{ns}	-9,81 ^{ns}	-13,81 ^{ns}
C ₇	-32,55 ^{**}	3,90 ^{ns}	-	0,33 ^{ns}	7,11 ^{ns}	7,43 ^{ns}
Tratamento ⁽¹⁾	Pi-OH ⁻	Po-OH ⁻	Pt-OH ⁻	Pi-OH ⁻	Po-OH ⁻	Pt-OH ⁻
	0,00-0,05 m			0,05-0,10 m		
O	69,98	36,92	106,90	56,76	29,28	86,03
OM	61,08	31,22	92,30	59,67	30,13	89,80
M	60,31	32,80	93,11	58,40	23,89	82,29
Contraste						
C ₆	-	1,27 ^{ns}	6,49 ^{**}	-0,19 ^{ns}	5,82 ^{**}	5,63 ^{**}
C ₇	-	5,70 ^{**}	14,61 ^{**}	-2,91 ^{**}	-0,85 ^{ns}	-3,76 [*]
	0,10-0,20 m			0,20-0,40 m		
O	51,31	18,69	70,00	30,45	9,45	39,89
OM	52,04	17,28	69,32	30,86	7,04	37,90
M	52,43	17,56	69,99	31,49	10,10	41,61
Contraste						
C ₆	-0,76 ^{ns}	0,43 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	-0,83 ^{ns}	-	-
C ₇	0,73 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,68 ^{ns}	-0,41 ^{ns}	-	-

⁽¹⁾ Fontes de fertilizantes: O= orgânico; OM= organomineral; M=mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Houve interação entre anos e fontes de fertilizantes para as frações Pi e Pt lábeis e Pi moderadamente lábil na camada de 0,00-0,05 m (Tabela 6). Neste caso, o fertilizante orgânico incrementou os teores de P destas frações, em comparação com o fertilizante organomineral (C₇ – Tabela 6). Neste caso, o alto teor de P do fertilizante orgânico em conjunto com o fertilizante organomineral apresentaram teores superiores de P das frações citadas anteriormente em comparação com o fertilizante mineral para a camada de 0,00-0,05 m (C₆ - Tabela 6) e também houve incremento dos teores de Pi e Pt lábeis e Pi moderadamente lábil na camada de 0,00-0,05 m do ano de 2015 para 2016 para o fertilizante orgânico (Tabela 6).

A aplicação de fertilizantes fosfatados ao solo resulta em acúmulo mais pronunciado de P nas frações inorgânicas (PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009). Para os fertilizantes de origem orgânica e de fácil decomposição, o acúmulo de P no solo ocorre primeiramente em frações orgânicas que somente migram para frações inorgânicas após mineralização (OTABBONG et al., 1997). Cassol, Gianello e Costa (2001) verificaram que as proporções de P orgânico e inorgânico em fertilizante orgânico (cama de frango) foram aproximadamente 1/4 e 3/4 do P total, respectivamente. Assim, a aplicação do fertilizante orgânico em superfície contribuiu para os maiores teores de Pi lábil e Pi moderadamente lábil na camada superficial do solo.

Rheinheimer e Anghinoni (2001) avaliando as formas de P em solos com diferentes teores de argila, submetidos ao preparo convencional do solo e SPD, verificaram que no SPD houve aumento no teor de P nas camadas superficiais, principalmente nas formas inorgânicas disponíveis e moderadamente disponíveis, permitindo a manutenção de teores de P na solução do solo mais elevados do que na área sob preparo convencional do solo.

Tabela 6 - Teores de fósforo inorgânico lábil (Pi-bic), fósforo total lábil (Pt-bic) e fósforo inorgânico moderadamente lábil (Pi-H⁺) na interação entre anos e fontes de fertilizante na camada de 0,00-0,05 m

Tratamento ⁽¹⁾	O	OM	M	Contraste ⁽²⁾	
	mg kg ⁻¹			C ₆	C ₇
Pi-bic - 0,00-0,05 m					
2015	23,91	16,49	13,75	6,45**	7,42**
2016	34,99	17,46	15,17	11,05**	17,53**
Contraste ⁽¹⁾					
C ₁	-11,08**	-0,96 ^{ns}	-1,42 ^{ns}		
Pt-bic - 0,00-0,05 m					
2015	42,98	37,40	34,27	5,92**	5,58**
2016	57,01	38,97	36,81	11,18**	18,04**
Contraste					
C ₁	-14,03**	-1,57 ^{ns}	-2,54 ^{ns}		
Pi-H ⁺ - 0,00-0,05 m					
2015	983,14	870,87	833,77	93,23**	112,27**
2016	1064,51	900,87	866,62	116,08**	163,64**
Contraste					
C ₁	-81,37**	-30,00 ^{ns}	-32,84 ^{ns}		

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalaria; AP = aveia preta. Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₁= 2015 vs 2016, C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

A interação entre cultivos de inverno e fontes de fertilizantes foi verificada principalmente nas frações Pi e Pt (Tabelas 7, 8 e 9). Nestas interações, o fertilizante orgânico (C₇) também incrementou os teores de P na camada de 0,00-0,05 m, nas frações Pi e Pt lábil (Tabela 7) e Pi moderadamente lábil (Tabela 8) e moderadamente resistente (Tabela 9) em comparação com o fertilizante organomineral sobre os diferentes cultivos de inverno. A superioridade do fertilizante orgânico teve influência sobre o contraste C₆, que em conjunto com o fertilizante organomineral apresentaram teores superiores de P em comparação com o fertilizante mineral para as frações anteriormente citadas (Tabelas 7, 8 e 9).

Guareschi, Pereira e Perin (2016) constataram em Latossolo Vermelho Distroférico, que o uso constante de adubação fosfatada aumenta os teores de Po e Pi lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente, com o passar dos anos de adoção do SPD (3, 15 e 20 anos), tendendo a acumular a maior parte do P do solo na forma inorgânica e moderadamente lábil. Para Velásquez et al. (2016), a fertilização influencia principalmente as frações lábeis de P, enquanto as formas recalcitrantes de P e de MOS permaneceram inalteradas.

De modo geral, as plantas de cobertura sob adubação orgânica apresentaram teores de Pi e Pt superiores ou similares para a fração lábil e moderadamente lábil em relação aos cultivos comerciais (C₂ - Tabelas 7, 8). Por outro lado, sob adubação organomineral e mineral o cultivo de crotalária e aveia preta apresentaram redução nos teores de Pi e Pt lábil na sessão de 0,00-0,10 m (Tabela 7). Os cultivos de milho, milho+ braquiária e trigo incrementaram Po e Pt moderadamente resistente na camada de 0,20-0,40 m sob fertilizante mineral e sob fertilizante organomineral estes cultivos incrementaram as frações Pi moderadamente lábil na camada de 0,05-0,10 m e Pi moderadamente resistente na camada de 0,00-0,05 m.

O uso de fertilizante organomineral contribui para atender a demanda de nutrientes pelas plantas, reduz as perdas de nutrientes pelo seu efeito residual, devido a liberação de nutrientes de forma contínua, mantendo a planta nutrida constantemente durante todo o período de crescimento (TEIXEIRA; SOUSA; KORNDÖRFER, 2014).

O uso de fertilizante organomineral e mineral nos cultivos do milho, milho+braquiária e trigo podem ter influenciado para os maiores de teores de P nas frações citadas anteriormente, uma vez que a adubação fosfatada incrementa os teores de Pi lábil (TIECHER et al., 2012; VELÁSQUEZ et al. 2016), e moderadamente lábil (TIECHER et al., 2012), além disso, a adubação nitrogenada promove aumento da fração Pi lábil (LEITE et al., 2016).

Os cultivos do milho e milho+braquiária sob adubação orgânica apresentam teores superiores de Pi e Pt lábeis e Pi moderadamente resistente em comparação ao cultivo do trigo na camada de 0,00-0,05 m. No entanto, sob adubação mineral o cultivo do trigo incrementa Pi lábil e moderadamente lábil em comparação aos cultivos de milho e milho+braquiária na camada de 0,00-0,05 m (C₃ - Tabelas 7 e 8). Observa-se que o cultivo do trigo incrementa Po na fração moderadamente resistente na camada de 0,20-0,40 m sob adubação orgânica (C₃ - Tabela 9).

O cultivo de milho apresentou maior teor de Pi lábil sob adubação orgânica em comparação com o milho+braquiária na sessão de 0,00-0,10 m (C₄ – Tabela 7) e menor teor de Pi lábil e Pi moderadamente lábil na camada de 0,05-0,10 m sob adubação mineral (C₄ – Tabela 7 e 8). Para este cultivos a adubação organomineral

alterou apenas Pt moderadamente lábil, com superioridade para o cultivo de milho+braquiária.

O cultivo da crotalária sob adubação orgânica apresenta teores superiores de Pi e Pt lábeis e Pi moderadamente resistente em comparação ao cultivo da aveia preta e Pt lábil sob adubação organomineral na camada de 0,00-0,05 m. Soltangheisi et al. (2018), verificaram que plantas de coberturas (ervilhaca comum, tremoço branco, nabo forrageiro, azevém e aveia preta), sob adubação com superfosfato simples, são eficientes para utilizar a fração moderadamente lábil de P e aumentar as frações de P lábeis no solo. No entanto, Leite et al. (2016) e Fornari (2017) relatam pouca alteração no teor de P em diferentes frações (Pi e Po) sob a utilização de diferentes plantas de cobertura por um longo período de tempo.

Como já mencionado, as formas de P encontradas nos resíduos das plantas, bem como o aporte biomassa destas, influenciam nas formas de P no solo. Assim, a elevação no teor da MOS, contribui para o incremento de formas mais lábeis de P, pois os ácidos orgânicos oriundos da decomposição da MO bloqueiam sítios de adsorção por recobrimento dos óxidos de Fe e Al (PAVINATO; ROSELEM, 2008; ZAMUNER; PICONE; ECHEVERRIA, 2008; TIRLONI et al., 2009). Assim, em cultivos que apresentem maior produção de palhada, como no caso da aveia preta e o trigo, pode-se ter maior liberação desses ácidos de baixo peso molecular e, pode favorecer a liberação de Po moderadamente lábil.

Tabela 7 - Teores de fósforo inorgânico lábil (Pi-bic) e fósforo total lábil (Pt-bic) na interação entre cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	mg kg ⁻¹				Contraste ⁽²⁾	
	O	OM	M			
	Pi-bic - 0,00-0,05 m			C ₆	C ₇	
Mi	37,78	20,67	16,51	12,71**	17,10**	
MiB	29,23	17,90	14,86	8,71**	11,33**	
T	22,32	17,05	21,21	-1,52 ^{ns}	5,27**	
C	31,67	16,65	11,58	12,58**	15,02**	
AP	26,25	12,60	8,14	11,28**	13,65**	
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	0,82 ^{ns}	3,92*	7,67**			
C ₃	11,19**	2,24 ^{ns}	-5,53*			
C ₄	8,55**	2,77 ^{ns}	1,65 ^{ns}			
C ₅	5,42*	4,05 ^{ns}	3,44 ^{ns}			
	Pt-bic - 0,00-0,05 m			C ₆	C ₇	
Mi	62,57	43,30	38,57	14,37**	19,28**	
MiB	50,96	41,34	37,58	8,57**	9,62**	
T	39,31	37,25	41,22	-2,93 ^{ns}	2,06 ^{ns}	
C	53,93	37,26	31,54	14,06**	16,66**	
AP	43,20	31,76	28,8	8,68**	11,44**	
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	2,38 ^{ns}	6,12**	8,95**			
C ₃	17,46**	5,07*	-3,15 ^{ns}			
C ₄	11,61**	1,96 ^{ns}	0,99 ^{ns}			
C ₅	10,73**	5,50*	2,74 ^{ns}			
	Pi-bic - 0,05-0,10 m			C ₆	C ₇	
Mi	14,34	23,35	16,92	1,93 ^{ns}	-9,01**	
MiB	7,30	21,72	25,46	-10,95**	-14,42**	
T	14,08	23,82	18,00	0,95 ^{ns}	-9,74**	
C	11,59	13,18	11,81	0,57 ^{ns}	-1,59 ^{ns}	
AP	10,20	14,15	9,40	2,78 ^{ns}	-3,95 ^{ns}	
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	1,01 ^{ns}	9,30**	9,52**			
C ₃	-3,26 ^{ns}	-1,29 ^{ns}	3,19 ^{ns}			
C ₄	7,04*	1,63 ^{ns}	-8,54**			
C ₅	1,39 ^{ns}	-0,97 ^{ns}	2,41 ^{ns}			
	Pt-bic - 0,05-0,10 m			C ₆	C ₇	
Mi	39,55	41,05	43,44	-3,14 ^{ns}	-1,49 ^{ns}	
MiB	36,42	40,47	51,79	-13,34**	-4,05 ^{ns}	
T	35,75	38,63	37,37	-0,19 ^{ns}	-2,88 ^{ns}	
C	32,63	33,00	31,88	0,94 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	
AP	30,45	30,71	28,69	1,89 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	5,70**	8,20**	13,92**			
C ₃	2,24 ^{ns}	2,13 ^{ns}	10,25**			
C ₄	3,13 ^{ns}	0,58 ^{ns}	-8,35**			
C ₅	2,18 ^{ns}	2,29 ^{ns}	3,19 ^{ns}			

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalária; AP= aveia preta. Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Tabela 8 - Teores de fósforo inorgânico moderadamente lábil (Pi-H⁺) e fósforo total moderadamente lábil (Pt-H⁺) na interação entre cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	mg kg ⁻¹			Contraste ⁽²⁾	
	O	OM	M		
	Pi-H ⁺ - 0,00-0,05 m			C ₆	C ₇
Mi	991,62	889,54	826,88	113,70 ^{**}	102,08 ^{**}
MiB	1002,59	849,14	848,40	77,47 ^{**}	153,45 ^{**}
T	1000,80	909,37	892,74	62,35 [*]	91,43 ^{**}
C	1071,80	880,42	826,14	149,97 ^{**}	191,38 ^{**}
AP	1052,34	900,89	856,83	119,78 ^{**}	151,45 ^{**}
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-63,73 ^{**}	-7,97 ^{ns}	14,52 ^{ns}		
C ₃	-3,69 ^{ns}	-40,03 ^{ns}	-55,10 [*]		
C ₄	-10,97 ^{ns}	40,40 ^{ns}	-21,52 ^{ns}		
C ₅	19,46 ^{ns}	-20,47 ^{ns}	-30,69 ^{ns}		
Pi-H ⁺ - 0,05-0,10 m			C ₆	C ₇	
Mi	821,64	883,17	834,27	18,14 ^{ns}	-61,53 [*]
MiB	792,16	905,81	896,54	-47,56 [*]	-113,67 ^{**}
T	863,59	907,59	898,53	-12,94 ^{ns}	-44,00 ^{ns}
C	844,20	794,24	820,85	-1,63 ^{ns}	49,96 ^{ns}
AP	837,03	895,35	874,27	-8,08 ^{ns}	-58,32 [*]
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-14,82 ^{ns}	54,06 ^{**}	28,89 ^{ns}		
C ₃	-56,69 [*]	-13,10 ^{ns}	-33,13 ^{ns}		
C ₄	29,48 ^{ns}	-22,64 ^{ns}	-62,27 [*]		
C ₅	7,17 ^{ns}	-101,11 ^{**}	-53,42 ^{ns}		
Pt-H ⁺ - 0,10-0,20 m			C ₆	C ₇	
Mi	922,19	906,07	975,33	-61,20 ^{**}	16,13 ^{ns}
MiB	923,38	1034,03	966,30	12,40 ^{ns}	-110,65 ^{**}
T	945,94	990,79	964,42	3,95 ^{ns}	-44,85 ^{ns}
C	985,43	937,79	938,77	22,85 ^{ns}	47,64 ^{ns}
AP	1007,91	1059,45	1013,12	20,56 ^{ns}	-51,54 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-66,17 ^{**}	-21,66 ^{ns}	-7,26 ^{ns}		
C ₃	-23,16 ^{ns}	-20,74 ^{ns}	6,40 ^{ns}		
C ₄	-1,19 ^{ns}	-127,96 ^{**}	9,03 ^{ns}		
C ₅	-22,48 ^{ns}	-121,66 ^{**}	-74,35 [*]		

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalária; AP = aveia preta. Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Tabela 9 - Teores de fósforo inorgânico moderadamente resistente (Pi-OH⁻), fósforo orgânico moderadamente resistente (Po-OH⁻) e fósforo total moderadamente resistente (Pt-OH⁻) na interação entre cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	mg kg ⁻¹			Contraste ⁽²⁾	
	O	OM	M		
Pi-OH ⁻ - 0,00-0,05 m					
Mi	70,94	64,82	64,22	3,66 ^{ns}	6,12 ^{**}
MiB	68,53	61,20	60,73	4,14 [*]	7,32 ^{**}
T	65,37	61,41	59,51	3,88 [*]	3,96 ^{ns}
C	75,59	59,79	59,81	7,88 ^{**}	15,79 ^{**}
AP	69,48	58,14	57,30	6,51 ^{**}	11,34 ^{**}
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-4,26 ^{**}	3,51 [*]	2,93 ^{ns}		
C ₃	4,36 [*]	1,60 ^{ns}	2,97 ^{ns}		
C ₄	2,41 ^{ns}	3,62 ^{ns}	3,49 ^{ns}		
C ₅	6,11 [*]	1,65 ^{ns}	2,51 ^{ns}		
Po-OH ⁻ - 0,20-0,40 m					
Mi	9,89	6,56	7,58	0,65 ^{ns}	3,33 ^{ns}
MiB	6,61	4,45	10,44	-4,92 ^{**}	2,16 ^{ns}
T	15,28	7,89	8,77	2,82 ^{ns}	7,39 ^{**}
C	7,78	5,26	10,14	-3,62 [*]	2,52 ^{ns}
AP	7,69	11,05	13,67	-4,30 [*]	-3,35 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	2,86 [*]	-1,86 ^{ns}	-2,98 [*]		
C ₃	-7,03 ^{**}	-2,39 ^{ns}	0,24 ^{ns}		
C ₄	3,28 ^{ns}	2,11 ^{ns}	-2,86 ^{ns}		
C ₅	0,09 ^{ns}	-5,79 ^{**}	-3,53 ^{ns}		
Pt-OH ⁻ - 0,20-0,40 m					
Mi	41,42	35,95	39,78	-1,10 ^{ns}	5,46 [*]
MiB	36,55	35,28	42,52	-6,60 ^{**}	1,27 ^{ns}
T	46,00	40,38	38,49	4,70 [*]	5,62 [*]
C	38,14	35,67	41,17	-4,27 [*]	2,47 ^{ns}
AP	37,38	42,23	46,12	-6,31 ^{**}	-4,85 [*]
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	3,56 [*]	-1,75 ^{ns}	-3,38 [*]		
C ₃	-7,02 ^{**}	-4,77 [*]	2,66 ^{ns}		
C ₄	4,87 ^{ns}	0,67 ^{ns}	-2,74 ^{ns}		
C ₅	0,76 ^{ns}	-6,56 ^{**}	-4,95 [*]		

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalária; AP = aveia preta. Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Houve interação entre anos, cultivos de inverno e fontes de fertilizantes apenas para Pt moderadamente lábil na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 10). O teor de P desta fração foi superior para fertilizante organomineral no cultivo do trigo em 2015 e para os cultivos do milho e milho+braquiária em 2016 em comparação ao fertilizante orgânico (C₇ – Tabela 10). O cultivo da crotalária proporcionou maior teor

de Pt moderadamente lábil com aplicação do fertilizante orgânico em 2015 (C₇) e em 2016 o fertilizante mineral proporcionou redução desta fração quando comparado ao fertilizante orgânico e organomineral (C₅).

O cultivo de milho, milho+braquiária e trigo incrementam os teores de Pt moderadamente lábil em 2015 com o uso de fertilizante organomineral (C_{7 2015} - Tabela 10) e o cultivo da crotalária incrementou esta fração de P sob fertilizante orgânico em 2016 (C_{6 2016} - Tabela 10) quando comparada ao cultivo da aveia preta.

Braos et al. (2015) verificaram que a aplicação do esterco bovino (20 t ha⁻¹) aumentou o Po moderadamente lábil, o Po moderadamente resistente e o Po total e não interferiu nas proporções das frações em relação ao Po total. Em média, 5,1 % do Po total estavam na fração lábil; 44,4 %, na fração moderadamente lábil; e 50,5 %, na fração moderadamente resistente. As formas de Pi mais lábeis do esterco influenciaram mais na fração disponível para as plantas do que as formas lábeis de Po.

Para o teor de Pt moderadamente lábil na camada de 0,05-0,10 m, houve efeito de ano nos contrastes avaliados em relação às fontes de fertilizantes e os cultivos de inverno. Neste caso, o fertilizante orgânico incrementou o teor Pt no cultivo da crotalária em comparação ao fertilizante organomineral (C₇ - Tabela 10). Por outro lado, para o cultivo do trigo, o fertilizante organomineral incrementou o teor de Pt em comparação ao fertilizante orgânico (C₇ - Tabela 10).

Para os anos avaliados, também foi verificada superioridade dos cultivos da do milho, milho+braquiária e trigo para o teor de Pt comparação aos cultivos da crotalária e aveia preta sob fertilização organomineral (C₂ - Tabela 10).

Tabela 10 - Teores de fósforo total moderadamente lábil (Pt-H⁺) na interação entre anos, cultivos de inverno e fontes de fertilizantes na camada de 0,05-0,10 m

Tratamento ⁽¹⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Mi	1076,28	1083,69	1086,46	1093,47	1195,34	1102,17
MiB	1055,58	1065,63	1017,23	1048,17	1160,95	1175,74
T	998,50	1112,64	1066,03	1132,82	1142,99	1185,49
C	1055,42	950,07	1040,83	1207,11	1170,22	1087,66
AP	1090,78	1042,97	999,34	1068,69	1121,76	1168,39
Contraste ⁽²⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
C ₂ /Ano	-29,65 ^{ns}	90,80 ^{**}	36,49 ^{ns}	-46,41 ^{ns}	20,44 ^{ns}	26,44 ^{ns}
C ₃ /Ano	67,43 ^{ns}	-37,98 ^{ns}	-14,18 ^{ns}	-62,00 ^{ns}	35,16 ^{ns}	-46,54 ^{ns}
C ₄ /Ano	20,70 ^{ns}	18,06 ^{ns}	69,23 ^{ns}	45,30 ^{ns}	34,39 ^{ns}	-73,57 ^{ns}
C ₅ /Ano	-35,36 ^{ns}	-92,90 ^{ns}	41,49 ^{ns}	138,42 ^{**}	48,46 ^{ns}	-80,73 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾	2015					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2015	-6,48 ^{ns}	43,38 ^{ns}	-10,47 ^{ns}	-38,09 ^{ns}	67,53 ^{ns}	
C ₇ /2015	-7,41 ^{ns}	-10,05 ^{ns}	-114,14 [*]	105,34 [*]	47,82 ^{ns}	
Contraste ⁽²⁾	2016					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2016	42,23 ^{ns}	-71,18 ^{ns}	-47,58 ^{ns}	101,01 ^{**}	-73,17 ^{ns}	
C ₇ /2016	-101,88 [*]	-112,79 [*]	-10,17 ^{ns}	36,88 ^{ns}	-53,07 ^{ns}	
Contraste ⁽³⁾	Efeito dos fertilizantes/cultivos de inverno nos dois anos					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆	17,88 ^{ns}	-13,90 ^{ns}	-29,02 ^{ns}	31,46 ^{ns}	-2,82 ^{ns}	
C ₇	-54,64 ^{ns}	-61,42 ^{ns}	-62,16 [*]	71,12 [*]	-2,63 ^{ns}	
Contraste ⁽³⁾	Efeito dos cultivos de inverno/fertilizantes nos dois anos					
	O	OM	M			
C ₂	-38,03 ^{ns}	55,62 [*]	31,46 ^{ns}			
C ₃	2,72 ^{ns}	-1,41 ^{ns}	-30,36 ^{ns}			
C ₄	33,00 ^{ns}	26,22 ^{ns}	-2,17 ^{ns}			
C ₅	51,53 ^{ns}	-22,22 ^{ns}	-19,62 ^{ns}			

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalária; AP = aveia preta, Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ⁽³⁾ Contrastes para efeito de ano: C₂= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+T₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆+T₂₀₁₆) vs (C₂₀₁₅+AP₂₀₁₅+C₂₀₁₆+AP₂₀₁₆); C₃= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆) vs (T₂₀₁₅+T₂₀₁₆); C₄= (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆) vs (MiB₂₀₁₅+MiB₂₀₁₆); C₅= (C₂₀₁₅+C₂₀₁₆) vs (AP₂₀₁₅+AP₂₀₁₆); C₆= (O₂₀₁₅+OM₂₀₁₅+O₂₀₁₆+OM₂₀₁₆) vs (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆); C₇= (O₂₀₁₅+O₂₀₁₆) vs (OM₂₀₁₅+OM₂₀₁₆). ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

5.6 CONCLUSÕES

O P orgânico lábil representa cerca de 50% da fração P total lábil para a sessão de 0,00-0,10 m e este percentual aumenta para as camadas com mais de 0,10 m de profundidade.

Houve incremento do P inorgânico das frações lábeis e moderadamente lábeis, na sessão 0,00-0,10 m, de 2015 para 2016.

Os fertilizantes orgânico, organomineral e mineral incrementaram os teores de P inorgânico e P total da fração moderadamente lábil.

Houve incremento dos teores de P inorgânico e P total das diferentes frações de P da camada superficial (0,00-0,05 m), com aplicação do fertilizante orgânico.

Os cultivos de trigo, milho e milho+braquiária em sucessão com soja incrementam os teores de P inorgânico lábil na camada de 0,00-0,10 m.

Os cultivos de aveia preta e de milho+braquiária em sucessão com soja, aumentam os teores de P orgânico moderadamente lábil quando comparado aos cultivos de trigo e de milho, para a camada de 0,10-0,20 m.

A sucessão soja/crotalária incrementa o teor de P orgânico moderadamente lábil na camada de 0,00-0,10 m e reduz o teor de P inorgânico lábil na camada de 0,10-0,20 m.

5.7 REFERÊNCIAS

BEUTLER, S.J. et al. Humic substances and phosphorus fractions in areas with crop-livestock integration, pasture and natural cerrado vegetation in Goiás, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Yucatán, v.18, p.11-15, 2015.

BEZERRA, R.P.M. et al. Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.36, n.3, p.1287-1306, 2015.

BOWMAN, R.A. Sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.53, n.2, p.362-366, 1989.

BRAOS, L.B. et al. Organic phosphorus fractions in soil fertilized with cattle manure. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, p.140-150, 2015.

CARVALHO, A.M. et al. Forms of phosphorus in an oxisol under different soil tillage systems and cover plants in rotation with maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.972-979, 2014.

CASSOL, P.C.; GIANELLO, C.; COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.635-644, 2001.

CERETTA, C.A. et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.593-602, 2010.

CORRÊA, J.C; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.1231-1237, 2004.

COSTA, A.R. et al. Forms of soil organic phosphorus at black earth sites in the Eastern Amazon. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.48, n.1, p.1-12, jan./mar., 2017.

DUDA, G.P. et al. Avaliação da biodisponibilidade de fósforo em diferentes classes de solos do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.4, p.1563-1576, jul./ago. 2013.

DUDA, G.P. **Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo**. 2000. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

FONTANA, A. et al. Fósforo remanescente e correlação com as frações da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.14, n.1, p.159-164, 2008.

FORNARI, M.R. **Solos com diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas em logo prazo: flutuações nas frações de fósforo**. 2017. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

GATIBONI, L.C. et al. Phosphorus fractions in soil after successive crops of *Pinus taeda* L. without fertilization. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.47, n.7, p.1-8, 2017.

GATIBONI, L.C. et al. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. In: ARAÚJO, A.P.; AVELAR, B.J.R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.8, p. 141-187, 2013.

GATIBONI, L.C. et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.691-699, 2007.

GUARDINI, R. et al. Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Ithaca, v. 93, n. 2, p. 215- 225, 2012.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Phosphorus fractions in an agricultural chronosequence under tillage regimes in the Cerrado area in Goiás, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.37, n.2, p.611-624, 2016.

GUPPY, C. N. et al. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.43, n.2, p.189-202, 2005.

LEITE, J.N.F. et al. Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciadas por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.11, p.1880-1889, 2016.

LOSS, A. et al. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.4, n.8, p.96-105, 2012.

LOSS, A. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano**. 2011. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2011.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. San Diego: Elsevier/ Academic Press, 2011. 684 p.

MATOS, E.S. et al. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.625-632, 2006.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, R.I. et al. Organic phosphorus in diagnostic surface horizons of different Brazilian soil orders. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.1411-1420, 2014.

OTABBONG, E. et al. The ultimate long-term soil organic matter experiment. II. Phosphorus status and distribution in soils. **Plant and Soil**, Crawley, v.195, p.17-93, 1997.

PARTELLI, F.L. et al. Qualidade da matéria orgânica e distribuição do fósforo no solo de lavouras orgânicas de café Conilon. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, p. 2065-2072, 2009.

PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.105, p.149-155, 2009.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.911-920, 2008.

PEREIRA, M.G.; et al. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em áreas de Cerrado sob plantio direto, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 1-6, 2010.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p.35-40, 2004.

RANNO, S.K.; SILVA, L.S.; MALLMANN, F.J.K. Fracionamento do fósforo inorgânico em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.1, p.47-54, 2007.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.151-160, 2001.

ROSSET, J.S. et al. Phosphorus fractions and correlation with soil attributes in a chronosequence of agricultural under no-tillage. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.37, n.6, p.3915-3926, 2016.

SANTOS, J.Z.L. et al. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.705-714, 2008.

SILVA, F.C.; RAIJ, B. VAN. Disponibilidade de fósforo avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2277-2285, 1999.

SILVA, F.C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SOLTANGHEISI, A. et al. Changes in soil phosphorus lability promoted by phosphate sources and cover crops. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.179, p.20-28, 2018.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, Potafos, p.157-196, 2004.

SOUZA JÚNIOR, R. F. et al. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p.159-169, 2012.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**. New York: John Willey Sons, 1994. 496 p.

TEIXEIRA, W.G; SOUSA, R.T.X.; KORNDÖRFER, G.H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, v.30, n.6, p.1729-1736, 2014.

TIECHER, T. et al. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.36, p. 271-281, 2012.

TIESSEN, J.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n.4, p.853-858, 1984.

TIRLONI, C. et al. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.4, p.977-984, 2009.

VELÁSQUEZ, G. et al. Fertilizer effects on phosphorus fractions and organic matter in Andisols. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v.16, n.2, p.294-304, 2016.

ZAMUNER, E.C.; PICONE, L.I.; ECHEVERRIA, H.E. Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.99, p.131-138, 2008.

6 CAPÍTULO 4 - FRAÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E FONTES DE FERTILIZANTES

6.1 RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar alterações nas frações de fósforo inorgânico do solo sob diferentes cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, em 2015 e 2016. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Na safra de verão todas as parcelas foram cultivadas com soja. No cultivo de inverno foram instaladas nas parcelas as diferentes culturas (5): milho, milho+braquiária, crotalária, aveia preta e trigo. Nas subparcelas foram aplicadas as três fontes de fertilizantes: orgânico, organomineral e mineral. O fertilizante orgânico utilizado foi a cama de frango, o fertilizante organomineral foi produzido a partir da peletização da cama de frango e fertilizante mineral granulado. Foram avaliados os teores de fósforo disponível extraído por Mehlich-1 ($P_{\text{Mehlich-1}}$), e as frações de fósforo inorgânico (P_i): P_i facilmente solúvel ($P_{i\text{H}_2\text{O}}$), P_i ligado a alumínio ($P_{i\text{Al}}$), ferro ($P_{i\text{Fe}}$), cálcio ($P_{i\text{Ca}}$) e total ($P_{i\text{Total}}$). Os teores de $P_{\text{Mehlich-1}}$, $P_{i\text{Fe}}$, $P_{i\text{Ca}}$ e $P_{i\text{Total}}$ aumentaram de 2015 para 2016, na sessão de 0,00-0,20 m. Os cultivos de inverno alteram as frações de P_i no solo. A sucessão soja/trigo incrementa os teores de $P_{i\text{Fe}}$, sob fertilização mineral e organomineral. A supressão da adubação organomineral e mineral de semeadura em plantas de cobertura reduz os teores de P_i do solo. O cultivo da crotalária e aveia preta incrementam as frações de $P_{i\text{Fe}}$ e $P_{i\text{Ca}}$ na camada de 0,00-0,05 m sob adubação orgânica. O fertilizante orgânico incrementa os teores de $P_{i\text{Fe}}$ e $P_{i\text{Total}}$ na camada de 0,00-0,05 m e o fertilizante organomineral incrementa o teor de $P_{i\text{Ca}}$ na sessão de 0,05-0,20 m.

Palavras-chave: fracionamento do fósforo, fertilizante orgânico e organomineral, $P_{i\text{Fe}}$, $P_{i\text{Ca}}$.

6.2 ABSTRACT

FRACTIONS OF SOIL INORGANIC PHOSPHORUS IN THE FUNCTION OF DIFFERENT CROPPING SYSTEMS AND FERTILIZER SOURCES

The aim of this research was to evaluate changes in inorganic phosphorus fractions of the soil under different winter crops and fertilizer sources in grain production systems in the western region of Paraná. The soil samples were collected at 0.00-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m depths, in 2015 and 2016. A randomized complete block design was used in a split-plot scheme with four replications. In the summer crop all plots were cultivated with soybean. In the winter period, the plots received different crops (5): black oats, *Crotalaria spectabilis*, corn, corn + *Brachiaria ruziziensis* and wheat. In the subplots the three fertilizer sources were applied: organic, organomineral and mineral. The organic fertilizer used was the poultry litter, organomineral fertilizer was produced from the pelletizing of poultry litter and granular mineral fertilizer. The contents of $P_{\text{Mehlich-1}}$, $P_{\text{H}_2\text{O}}$, P_{Al} , P_{Fe} , P_{Ca} and P_{Total} were evaluated. The contents of $P_{\text{Mehlich-1}}$, P_{Fe} , P_{Ca} and P_{Total} increased from 2015 to 2016, in the 0.00-0.20 m session. Winter crops alter the fractions of Pi in the soil. The contents of $P_{\text{Mehlich-1}}$, P_{Fe} , P_{Ca} and P_{Total} increased from 2015 to 2016, in the session of 0.00-0.20 m session. Winter crops alter the fractions of Pi in the soil. The soybean / wheat succession increases the levels of P_{Fe} , under mineral and organomineral fertilization. The suppression of organomineral and mineral fertilization of sowing in cover crops reduces the soil Pi contents. The cultivation of *Crotalaria* and black oats increase the fractions of P_{Fe} and P_{Ca} in the layer of 0.00-0.05 m under organic fertilization. The organic fertilizer increases the contents of P_{Fe} and P_{Total} in the layer of 0.00-0.05 m and the organomineral fertilizer increases the content of P_{Ca} in the session of 0.05-0.20 m.

Key words: phosphorus fractionation, organic and organomineral fertilizer, P_{Fe} , P_{Ca} .

6.3 INTRODUÇÃO

Os solos tropicais, devido à ação do intemperismo, apresentam baixos teores de fósforo (P) disponível, isto se deve a alta capacidade que esses solos têm em reter o P da fase sólida, na forma de compostos de baixa reatividade (SANTOS et al., 2008). No entanto, os sistemas de cultivo e o manejo da adubação fosfatada podem influenciar o potencial de suprimento do nutriente no solo e seu aproveitamento pelas culturas (SOUSA; LOBATO, 2004).

O P é encontrado no solo na forma inorgânica e orgânica. O P inorgânico (Pi) compreende o íon fosfato, P estrutural dos minerais fosfatados do solo e todas as formas de fosfato precipitadas com compostos inorgânicos ou adsorvidos a eles. A forma orgânica do P abrange os compostos orgânicos, como o P na biomassa microbiana do solo, e o P estrutural ou adsorvido aos resíduos orgânicos e matéria orgânica do solo (GATIBONI et al., 2013).

O Pi pode se encontrar em solução (P-solução), precipitado com Al, Fe e Ca ou adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, ambos em equilíbrio com a solução e compondo a fração lábil de P no solo (P lábil). A fração não-lábil é composta pelo P sob a forma de compostos de baixa solubilidade (P mineralogicamente estável) ou adsorvido às partículas do solo, não estando, estas formas, em equilíbrio imediato com o P em solução (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Para a melhor compreensão da disponibilidade de P, vários métodos têm sido desenvolvidos para fracionar suas formas no solo e, com isto estudar suas transformações. Os métodos de fracionamento do P do solo têm como pressuposto a extração sequencial em uma amostra de solo, com uma série de reagentes ou soluções extratoras com seletividade para dissolver diferentes formas de P no solo, com base na natureza do composto fosfato e da energia de ligação (GATIBONI et al., 2013). Entre os métodos de fracionamento, o método de Chang e Jackson (1957) permite quantificar as diversas frações de Pi do solo, como o P ligado a Al (Pi_{Al}), o P ligado a Fe (Pi_{Fe}) e o P ligado a Ca (Pi_{Ca}). De acordo com Silva e Van Raij (1999) para entender melhor a dinâmica do fósforo em solos, é necessário conhecer as diferentes frações do elemento. O conhecimento da natureza e da distribuição dessas frações pode fornecer informações importantes para a avaliação da disponibilidade do P no ambiente edáfico (TIESSEN; STEWART; COLE, 1984)

Segundo Alves (1988), as culturas absorvem as frações inorgânicas de P do solo de forma diferente. Assim, há necessidade de avaliar o efeito dos diferentes sistemas de cultivos e de fontes de fertilizantes nas frações de P inorgânico do solo.

Conforme Silva et al. (2003), em Latossolo Amarelo coeso e Latossolo Vermelho ácrico, os teores de P_{Al} , P_{Fe} e P_{Ca} são maiores em solos cultivados. No entanto, para Latossolo Vermelho Distroférico, as frações P_{Al} e P_{Fe} são maiores em solo não cultivado. Estes autores também verificaram que a fração P_{Ca} foi menor que as frações P_{Fe} e P_{Al} .

Em Latossolo, plantas de braquiária utilizam a fração P_{Al} e P_{Fe} no processo de absorção de P (ALVES, 1988). Segundo esse autor, plantas micorrizadas utilizam mais eficientemente o P menos disponível no solo, principalmente as formas ligadas a Fe e Al. Entretanto, Silva et al. (2003) observaram que solos cultivados com braquiária, apresentam menores teores de P nas frações pouco lábeis e maiores nas frações mais lábeis.

A aplicação de fertilizantes fosfatados ao solo resulta em acúmulo mais pronunciado de P nas frações inorgânicas (PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009). Para os fertilizantes de origem orgânica e de fácil decomposição, o acúmulo de P no solo ocorre primeiramente em frações orgânicas que somente migram para frações inorgânicas após mineralização. Contudo, caso os resíduos sejam compostos por material de difícil decomposição, a maior parte do P contido nele permanecerá no solo em frações orgânicas (OTABBONG et al., 1997).

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo verificar alterações nas frações de fósforo inorgânico do solo sob diferentes fontes de fertilizantes e cultivos de inverno em sistemas de produção de grãos.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

6.4.1 Caracterização da Área Experimental

A descrição da caracterização da área experimental está apresentada no item 6.4.1 do Capítulo 1 (p.24).

6.4.2 Delineamento Experimental

A descrição do delineamento experimental está apresentada no item 3.4.2 do Capítulo 1 (p.25).

6.4.3 Condução do Experimento

A descrição da condução do experimento está apresentada no item 3.4.3 do Capítulo 1 (p.26).

6.4.4 Coleta das Amostras de Solo

A descrição da coleta do solo está apresentada no item 3.4.4 do Capítulo 1 (p. 29).

6.4.5 Análises Realizadas

As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon - PR. Para determinação do P disponível utilizou-se o extrator Mehlich-1. O fracionamento do P inorgânico (Pi) foi realizado utilizando-se a metodologia de Chang e Jackson (1957). Amostras de 0,5 g de solo sofreram extração, sequencial, com 25 ml de NH_4Cl 1 mol L^{-1} ; NH_4F 0,5 mol L^{-1} pH 8,2; NaOH 0,1 mol L^{-1} ; e H_2SO_4 0,25 mol L^{-1} , permitindo, respectivamente, a determinação do P inorgânico facilmente solúvel ($\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}$), P ligado a alumínio (P_{Al}), P ligado a ferro (P_{Fe}), P ligado a cálcio (P_{Ca}) e P_{Total} ($\text{P}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{P}_{\text{Al}} + \text{P}_{\text{Fe}} + \text{P}_{\text{Ca}}$). A determinação do teor de P em cada fração foi realizada por espectrofotometria, como descrito por Braga e Defelipo (1974).

6.4.6 Análises Estatísticas

A descrição das análises estatísticas está apresentada no item 3.4.6 do Capítulo 1 (p.30), sendo que para os dados deste capítulo não houve necessidade de transformação de dados.

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi detectado fósforo inorgânico (Pi) na fração Pi_{Al} nas diferentes camadas do solo. Ranno, Silva e Mallmann (2007) também não detectaram a presença da fração Pi_{Al} em diferentes solos do estado Rio Grande do Sul. Rocha et al. (2005) não detectaram Pi_{Al} para a maioria dos horizontes dos solos avaliados, quando verificada a fração Pi_{Al} , esta coincidiu com a presença de Al^{+3} no solo. Assim, no presente trabalho, a calagem inicial contribuiu para neutralizar o efeito do Al^{+3} no solo, podendo conseqüentemente ter afetado a fração Pi_{Al} . Desta forma, resultando em maior participação das formas de Pi dos demais componentes do solo (Fe e Ca), diminuindo a importância relativa de Pi_{Al} .

Por outro lado, Ranno, Silva e Mallmann (2007) relatam que a baixa concentração Pi_{Al} está associada à pouca sensibilidade do método utilizado. Neste trabalho, utilizou-se o procedimento original de Chang e Jackson (1957), sendo também uma das explicações para não quantificação do Pi_{Al} .

Os teores de Pi_{H_2O} não se alteraram de 2015 para 2016 na sessão de 0,05-0,40 m (Tabela 1), com teores médios variando entre 3,75 a 3,01 $mg\ kg^{-1}$. Souza Júnior et al. (2012) e Melese et al. (2015) também verificaram baixos teores na fração Pi_{H_2O} em solos cultivados. Para Rocha et al. (2005), o P facilmente solúvel (Pi_{H_2O}) apresentou teores variando entre 0 e 35 $mg\ kg^{-1}$.

A fração Pi_{H_2O} apresentou baixos teores de Pi em comparação com as frações Pi_{Fe} e Pi_{Ca} (Tabelas 1 e 2). A pequena quantidade de Pi_{H_2O} em relação as outras frações de Pi é atribuída ao extrator utilizado, $NH_4Cl\ 1\ mol\ L^{-1}$, cujo anion Cl^- não substitui o fosfato retido por ligação covalente (SPOSITO, 2008). Essa forte adsorção é o principal caminho para a fixação de P em solos altamente intemperizados (FONTES; ALLEONI, 2006), a exemplo dos Latossolos de textura argilosa da região oeste do Paraná.

Tabela 1 - Teores de fósforo disponível ($P_{\text{Mehlich-1}}$) e de fósforo inorgânico (P_i) em diferentes frações e camadas do solo em função de fontes de fertilizantes e cultivos de inverno avaliadas em dois anos

Tratamento ⁽¹⁾	$P_{\text{Mehlich-1}}$	$P_{i\text{H}_2\text{O}}$	$P_{i\text{Fe}}$	$P_{i\text{Ca}}$	$P_{i\text{Total}}$
	mg kg ⁻¹				
0,00-0,05 m					
2015	9,44	3,92	159,46	53,15	216,53
2016	10,83	4,45	166,27	59,23	229,95
Contraste					
C ₁	- ⁽³⁾	-	-	-	-
0,05-0,10 m					
2015	6,73	3,75	144,58	41,41	189,84
2016	7,66	3,72	153,83	47,40	204,95
Contraste					
C ₁	-0,93**	0,03 ^{ns}	-9,25**	-	-15,11**
0,10-0,20 m					
2015	4,43	3,43	114,27	31,43	49,71
2016	5,20	3,34	122,95	36,40	54,23
Contraste					
C ₁	-0,77**	0,08 ^{ns}	-	-	-
0,20-0,40 m					
2015	0,98	3,35	50,62	12,14	66,11
2016	1,38	3,01	51,21	15,60	69,82
Contraste					
C ₁	-0,40*	0,34 ^{ns}	-	-3,46**	-

⁽¹⁾ Anos: 2015 e 2016. ⁽²⁾ Contraste: C₁= 2015 vs 2016. ⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Os teores de $P_{\text{Mehlich-1}}$ na sessão de 0,05-0,40 m, $P_{i\text{Fe}}$ e $P_{i\text{Total}}$ na camada de 0,05-0,10 m e $P_{i\text{Ca}}$ na camada de 0,20-0,40 m aumentaram de 2015 para 2016 (Tabela 1). Conforme Lan et al. (2012) e Yan et al. (2017) a adubação fosfatada realizada através da aplicação de diferentes fontes de fertilizantes resulta em mudanças nas frações e no acúmulo de P no solo.

Os cultivos de inverno não tiveram influência sobre a fração $P_{i\text{H}_2\text{O}}$ na sessão de 0,10-0,40 m (Tabela 2). No entanto, para a camada de 0,05-0,10 m os cultivos de milho e milho+braquiária incrementaram os teores de $P_{i\text{H}_2\text{O}}$ quando comparados ao cultivo do trigo, o que pode estar relacionado com a forma diferencial de absorção das frações de Pi do solo pelas plantas. Takahashi e Anwar (2007) verificaram que o trigo absorve em menor quantidade as frações $P_{i\text{Al}}$ e $P_{i\text{Fe}}$, o que indica maior absorção das frações $P_{i\text{H}_2\text{O}}$ e $P_{i\text{Ca}}$. Para esta mesma camada, o cultivo do milho+braquiária e da aveia preta apresentaram teores superiores de $P_{i\text{H}_2\text{O}}$ quando comparados aos cultivos do milho e crotalária, respectivamente.

Tabela 2 - Teores de fósforo disponível ($P_{\text{Mehlich-1}}$) e fósforo inorgânico (P_i) em função de cultivos de inverno em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	$P_{\text{Mehlich-1}}$	$P_{i\text{H}_2\text{O}}$	$P_{i\text{Fe}}$	$P_{i\text{Ca}}$	$P_{i\text{Total}}$
	mg kg ⁻¹				
0,00-0,05 m					
Mi	10,24	3,80	154,29	55,39	213,48
MiB	9,67	4,45	156,02	52,33	212,80
T	11,52	4,43	177,93	53,71	236,07
C	9,50	4,13	159,46	55,08	218,67
AP	9,73	4,11	166,60	64,45	235,16
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	0,86 [*]	- ⁽³⁾	-	-	-
C ₃	-1,56 ^{**}	-	-	-	-
C ₄	0,57 ^{ns}	-	-	-	-
C ₅	-0,23 ^{**}	-	-	-	-
0,05-0,10 m					
Mi	7,14	3,61	141,07	44,61	189,29
MiB	7,15	4,25	145,91	47,08	197,24
T	8,53	3,38	159,77	42,82	205,97
C	6,15	3,48	142,31	44,36	190,15
AP	6,99	3,97	156,96	43,15	204,08
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-	0,02 ^{ns}	-	-	-
C ₃	-	0,55 ^{**}	-	-	-
C ₄	-	-0,64 ^{**}	-	-	-
C ₅	-	-0,49 [*]	-	-	-
0,10-0,20 m					
Mi	4,86	3,30	103,97	33,17	140,44
MiB	4,61	3,72	118,61	35,14	157,47
T	5,32	3,48	130,23	31,27	164,98
C	3,74	3,39	115,09	32,28	150,76
AP	5,54	3,04	125,14	37,72	165,90
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	0,40 ^{ns}	0,29 ^{ns}	-	-	-
C ₃	-0,59 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-	-	-
C ₄	0,25 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	-	-	-
C ₅	-1,58 ^{**}	0,35 ^{ns}	-	-	-
0,20-0,40 m					
Mi	0,96	3,32	46,03	17,84	67,19
MiB	1,40	3,37	46,47	11,55	61,39
T	1,28	3,05	62,11	13,10	78,26
C	0,97	2,81	50,39	13,18	66,38
AP	1,28	3,36	49,56	13,68	66,60
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	0,09 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-	0,73 ^{ns}	-
C ₃	-0,10 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-	1,60 ^{ns}	-
C ₄	-0,44 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-	6,29 ^{**}	-
C ₅	-0,31 ^{ns}	-0,55 ^{ns}	-	-0,50 ^{ns}	-

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalária; AP = aveia preta.

⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP.

⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Observa-se no cultivo do trigo incremento dos teores de Pi_{H_2O} (0,00-0,05 m), Pi_{Ca} (0,10-0,20 m), Pi_{Fe} e Pi_{Total} (0,20-0,40 m) de 2015 para 2016 (C_1 - Tabela 3). Na camada de 0,10-0,20 m, também houve incremento de Pi_{Ca} , Pi_{Fe} e Pi_{Total} no cultivo da aveia preta, Pi_{Fe} e Pi_{Total} no cultivo do milho e, Pi_{Ca} e Pi_{Total} no cultivo da crotalária (Tabela 3). Neste caso, a adubação pode ter influenciado nos teores de Pi dos diferentes cultivos de inverno, uma vez que a aplicação de fertilizantes fosfatados ao solo resulta em acúmulo mais pronunciado de P nas frações inorgânicas (PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009).

Para os anos avaliados, o cultivo do trigo apresentou teores de Pi_{Fe} e Pi_{Total} superiores aos cultivos do milho e milho+ braquiária na sessão de 0,10-0,40 m (C_2 - Tabela 3). Esta variação nos teores de Pi_{Fe} relaciona-se com absorção diferencial das frações de Pi pelos cultivos. De acordo com Takahashi e Anwar (2007), o trigo absorve em menor quantidade as frações Pi_{Al} e Pi_{Fe} . Desta forma, no presente trabalho, os maiores teores de Pi_{Fe} sob cultivo de trigo, podem estar relacionados a menor absorção desta fração de P em relação aos demais cultivos.

Em 2015, o cultivo de milho+braquiária incrementou a fração Pi_{Fe} e Pi_{Total} na camada de 0,10-0,20 m quando comparado ao cultivo do milho. Por outro lado, o cultivo da aveia preta incrementou os teores de Pi_{Fe} , Pi_{Ca} e Pi_{Total} na camada de 0,10-0,20 m em 2016 em comparação ao cultivo da crotalária.

De acordo com Novais e Kamprath (1978), em estudos de fracionamento do Pi dos solos, tem sido observado que a planta absorve preferencialmente as formas de P ligadas a Al e a Fe e absorve pouco o P ligado a Ca. Como no presente trabalho se detectou baixos teores de Pi_{Al} , as culturas possivelmente absorveram em maior quantidade a fração Pi_{Fe} . Por outro lado, Otani, Ae e Tanaka (1996) relatam que os ácidos orgânicos dos exsudados radiculares também têm papel significativo na utilização de P no solo, e a solubilidade das formas inorgânica de Pi_{Al} e Pi_{Fe} em alguns ácidos orgânicos são substancialmente diferentes entre cultivos.

A redistribuição de Pi no perfil de solo em SPD tem sido relatada e sua ocorrência é atribuída à liberação de ácidos orgânicos, complexação do Al^{3+} trocável, e decomposição das raízes no solo em profundidade (CORRÊA et al., 2004; PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Tabela 3 - Teores de fósforo inorgânico (Pi) em função da interação entre anos e cultivos de inverno em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	2015		Contraste	2016		Contraste
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
	Pi _{H₂O} - 0,00-0,05 m		C ₁	Pi _{Ca} - 0,10-0,20 m		C ₁
Mi	3,45	4,15	-0,70 ^{ns}	31,85	34,49	-2,64 ^{ns}
MiB	4,45	4,44	0,01 ^{ns}	35,00	35,29	-0,29 ^{ns}
T	3,81	5,05	-1,24 ^{**}	29,44	33,10	-3,66 [*]
C	4,11	4,16	-0,04 ^{ns}	29,56	35,00	-5,44 [*]
AP	3,76	4,46	-0,70 ^{ns}	31,29	44,15	-12,86 ^{**}
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	-0,04 ^{ns}	0,24 ^{ns}		1,67 ^{ns}	-5,28 ^{**}	
C ₃	0,14 ^{ns}	-0,76 ^{ns}		3,98 [*]	1,79 ^{ns}	
C ₄	-1,00 [*]	-0,29 ^{ns}		-3,15 ^{ns}	-0,80 ^{ns}	
C ₅	0,35 ^{ns}	-0,31 ^{ns}		-1,72 ^{ns}	-9,15 ^{**}	
	Pi _{Fe} - 0,10-0,20 m		C ₁	Pi _{Fe} - 0,20-0,40 m		C ₁
Mi	93,47	114,47	-20,99 ^{**}	46,03	46,10	-0,07 ^{ns}
MiB	115,92	121,30	-5,37 ^{ns}	49,38	43,56	5,83 [*]
T	132,51	127,94	4,57 ^{ns}	56,63	67,60	-10,97 ^{**}
C	111,93	118,25	-6,32 ^{ns}	51,49	49,30	2,18 ^{ns}
AP	117,50	132,78	-15,28 ^{**}	49,56	49,57	-0,01 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	-0,75 ^{ns}	-4,28 ^{ns}		0,16 ^{ns}	2,98 ^{ns}	
C ₃	-27,82 ^{**}	-10,06 [*]		-8,92 ^{**}	-22,77 ^{**}	
C ₄	-22,45 ^{**}	-6,83 ^{ns}		-3,36 ^{ns}	2,54 ^{ns}	
C ₅	-5,57 ^{ns}	-14,52 ^{**}		1,92 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	
	Pi _{Total} - 0,10-0,20 m		C ₁	Pi _{Total} - 0,20-0,40 m		C ₁
Mi	133,44	152,45	-19,01 ^{**}	66,53	68,96	-2,43 ^{ns}
MiB	161,07	163,82	-2,75 ^{ns}	67,48	58,66	8,82 [*]
T	167,64	161,17	6,47 ^{ns}	68,38	87,31	-18,93 ^{**}
C	144,31	157,36	-13,05 ^{**}	66,35	66,62	-0,27 ^{ns}
AP	151,87	184,93	-33,05 ^{**}	65,88	68,97	-3,09 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾						
C ₂	5,96 ^{ns}	-12,00 [*]		1,35 ^{ns}	3,85 ^{ns}	
C ₃	-20,39 ^{**}	-3,04 ^{ns}		-1,38 ^{ns}	-23,50 ^{**}	
C ₄	-27,63 ^{**}	-11,37 ^{ns}		-0,95 ^{ns}	10,30 [*]	
C ₅	-7,63 ^{ns}	-27,57 ^{**}		0,47 ^{ns}	-2,35 ^{ns}	

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalaria; AP = aveia preta.

⁽²⁾ Contrastes: C₁ = 2015 vs 2016; C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP. ^{ns}Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

As fontes de fertilizantes não tiveram influência sobre a fração Pi_{H₂O} na sessão de 0,10-0,40 m (Tabela 4). Alleoni, Fernandes e Correia (2012) verificaram que a aplicação de fertilizante mineral e de diferentes doses de biossólido (lodo de esgoto tratado) não alteraram a fração solúvel (Pi_{H₂O}) de P do solo.

No entanto, houve aumento no teor de Pi_{H₂O} na camada de 0,00-0,05 m para o fertilizante orgânico. De acordo com Li et al. (2014) 69% do Pi_{Total} em cama de frango é solúvel em água (Pi_{H₂O}), o que pode explicar no presente trabalho, o

incremento desta fração na camada superficial com a utilização deste fertilizante orgânico. Para Nest et al. (2016), a disponibilidade de P do solo é claramente influenciada pelo tipo de fertilizante utilizado, e a aplicação a longo prazo de fertilizante orgânico (esterco bovino) aumenta os teores P disponíveis no solo em comparação ao fertilizante mineral e fertilizante orgânico a base de resíduos vegetais.

A aplicação de fertilizante orgânico em superfície incrementou os teores de P_i nesta camada. Por outro lado, este fertilizante apresentou teores inferiores de P_{iFe} na sessão de 0,10-0,40 m e P_{iCa} na camada de 0,20-0,40 m em comparação aos fertilizantes organomineral e mineral (Tabela 4).

Tabela 4 - Teores de fósforo disponível ($P_{Mehlich-1}$) e teores de fósforo inorgânico (P_i) sob diferentes fontes de fertilizantes e camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	$P_{Mehlich-1}$	P_{iH_2O}	P_{iFe}	P_{iCa}	P_{iTotal}
	mg kg ⁻¹				
0,00-0,05 m					
O	15,91	4,95	192,78	71,13	268,86
OM	7,56	3,73	149,83	50,00	230,56
M	6,92	3,88	145,98	47,44	197,30
Contraste					
C ₆	- ⁽³⁾	0,46 [*]	-	-	-
C ₇	-	1,21 ^{**}	-	-	-
0,05-0,10 m					
O	6,31	3,75	146,11	40,58	190,44
OM	7,83	3,72	152,74	47,22	203,68
M	7,43	3,74	148,76	45,41	197,91
Contraste					
C ₆	-	0,00 ^{ns}	-	-	-
C ₇	-	0,03 ^{ns}	-	-	-
0,10-0,20 m					
O	4,09	3,52	113,90	32,37	149,79
OM	5,44	3,51	118,71	35,94	158,16
M	4,92	3,12	123,21	33,43	159,76
Contraste					
C ₆	-0,15 ^{ns}	0,40 ^{ns}	-6,90 ^{**}	-	-5,78 ^{ns}
C ₇	-1,36 ^{**}	0,01 ^{ns}	-4,81 ^{ns}	-	-8,37 [*]
0,20-0,40 m					
O	1,16	3,37	49,38	13,01	66,48
OM	1,00	3,03	48,64	13,10	66,47
M	1,37	3,15	54,72	15,50	72,59
Contraste					
C ₆	-0,29 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-5,71 ^{**}	-2,45 ^{**}	-6,12 ^{ns}
C ₇	0,16 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,75 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}

⁽¹⁾ Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ⁽³⁾ Contraste não determinado devido à interação entre fatores. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Houve interação entre anos e fontes de fertilizantes para $P_{\text{Mehlich-1}}$ na camada de 0,00-0,05 m e Pi_{Ca} na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 5). Neste caso, o fertilizante orgânico incrementou os teores de $P_{\text{Mehlich-1}}$ de 2015 para 2016 (C_1 - Tabela 5) e também foi superior quando comparado as demais fontes utilizadas (C_6 e C_7 - Tabela 5).

Ceretta et al. (2010) observaram que sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos durante sete anos em Argissolo Vermelho arenoso cultivado em SPD, aumentou o teor de P até 0,25 m de profundidade e pouco afetou a partição de P entre as frações inorgânicas e orgânicas, verificando-se aumento das frações predominantes lábeis de P no solo.

O fertilizante organomineral incrementou os teores de $P_{\text{Mehlich-1}}$ e Pi_{Total} (C_7 - Tabela 4) quando comparado ao fertilizante orgânico e também os teores da fração Pi_{Ca} (C_7 - Tabela 5) na camada de 0,10-0,20 m. Este incremento do Pi_{Ca} com a aplicação do fertilizante organomineral, se deve às fontes de P utilizadas nas formulações, principalmente, superfosfato simples e triplo. De acordo com Takahashi e Anwar (2007), o Pi_{Ca} aplicado como superfosfato é posteriormente transformado em Pi_{Al} , seguido por Pi_{Fe} . Para Reis et al. (2011), a aplicação sucessiva de P, induz a conversão para formas mais solúveis de Pi_{Fe} e Pi_{Al} , levando ao controle da disponibilidade deste nutriente.

Tabela 5 - Teores de fósforo disponível ($P_{\text{Mehlich-1}}$) e fósforo inorgânico ligado a cálcio (Pi_{Ca}) em função da interação entre anos e fontes de fertilizantes em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾				Contraste ⁽¹⁾	
	O	OM	M	C_6	C_7
	$P_{\text{Mehlich-1}} - 0,00 \text{ a } 0,05 \text{ m}$				
2015	14,26	7,27	6,78	3,98**	6,98**
2016	17,56	7,85	7,06	5,64**	9,71**
Contraste ⁽²⁾					
C_1	-3,30**	-0,58 ^{ns}	-0,28 ^{ns}		
	$Pi_{\text{Ca}} - 0,10-0,20 \text{ m}$				
2015	31,12	31,20	31,97	-0,82 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
2016	33,63	40,69	34,90	2,26 ^{ns}	-7,05**
Contraste ⁽¹⁾					
C_1	-2,51 ^{ns}	-9,49**	-2,92 ^{ns}		

⁽¹⁾ Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C_1 = 2015 vs 2016; C_6 = (O+OM) vs M; C_7 = O vs OM. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Houve interação entre cultivos de inverno e fontes de fertilizantes para $P_{\text{Mehlich-1}}$, P_{Fe} e P_{Total} na camada de 0,05-0,10 m e P_{Ca} na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 6). Observa-se que a supressão da adubação de semeadura (organomineral ou mineral) nos cultivos da crotalária e aveia preta ocasionou redução dos teores de $P_{\text{Mehlich-1}}$ e P_{Fe} quando comparado aos cultivos de milho, milho+braquiária e trigo (C_2 - Tabela 6).

Para estes fertilizantes, o cultivo do trigo também proporcionou incremento dos teores de $P_{\text{Mehlich-1}}$ e P_{Fe} , na camada de 0,05-0,10 m em relação os cultivo do milho e milho+braquiária (C_3 - Tabela 6). Sob fertilizante mineral o cultivo do milho+braquiária proporcionou maior teor de P_{Fe} e P_{Total} em comparação ao cultivo do milho na camada de 0,05-0,10 m (C_4 - Tabela 6).

Já aveia preta incrementou os teores de P_{Fe} e P_{Total} na camada de 0,05-0,10 m e de P_{Ca} na camada de 0,10-0,20 m em comparação ao cultivo da crotalária sob fertilização organomineral (C_5 - Tabela 6). A aveia-preta é eficiente na reciclagem de nutrientes, apresenta baixa taxa de decomposição dos resíduos comparado às fabáceas, em função da alta relação C/N (> 30), o que favorece o aumento nos teores de fósforo do solo sob o SPD (BORTOLINI; SILVA; ARGENTA, 2000; CALEGARI, 2001). Melo et al. (2011) relatam o uso da adubação orgânica proporciona maior reciclagem de nutrientes no cultivo sucessional da aveia preta em relação o uso da adubação mineral.

Alterações nos teores das frações de Pi também são relatadas em vários trabalhos na literatura em função da aplicação de diferentes fertilizantes (CERETTA et al., 2010; SCHMITT et al., 2013; 2014; BRAOS et al., 2015; LEITE et al., 2016), sistemas de manejo (SCHMITT et al. 2013; 2014; BEUTLER et al., 2015; BEZERRA et al., 2015; ROTTA et al., 2015; ROSSET et al., 2016), plantas de cobertura (LEITE et al., 2016), tipos de solos (GALVANI et al., 2008; OLIBONE; ROSOLEM, 2010; CARNEIRO et al., 2011; ROTTA et al., 2015).

Entretanto, sob fertilizante orgânico, os cultivos da crotalária e aveia preta apresentaram teores de P_{Fe} , e P_{Ca} e P_{Total} superiores aos cultivos do milho, milho+braquiária e trigo (C_2 - Tabela 6), bem como os cultivos da crotalária e aveia preta não apresentaram diferença entre si em relação as frações de P citadas anteriormente (C_5 - Tabela 6). Para $P_{\text{Mehlich-1}}$ não houve efeito do fertilizante orgânico nos diferentes cultivos de inverno.

Tabela 6 - Teores de fósforo disponível ($P_{\text{Mehlich-1}}$) e teores de fósforo inorgânico (Pi) função da interação entre cultivos de inverno e fontes de fertilizantes em diferentes camadas do solo

Tratamento ⁽¹⁾	O	OM	M	Contraste ⁽²⁾	
	mg kg ⁻¹			C ₆	C ₇
	$P_{\text{Mehlich-1}} - 0,05-0,10 \text{ m}$				
Mi	6,33	8,90	6,19	1,42**	-2,58**
MiB	5,29	7,41	8,74	-2,39**	-2,12**
T	6,45	9,98	9,17	-0,96**	-3,54**
C	6,64	5,09	6,73	-0,87**	1,55**
AP	6,86	7,78	6,31	1,01**	-0,92**
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-0,73 ^{ns}	2,33**	1,51**		
C ₃	-0,64 ^{ns}	-1,83**	-1,70*		
C ₄	1,03 ^{ns}	1,49 ^{ns}	-2,55**		
C ₅	-0,23 ^{ns}	-2,69**	0,42 ^{ns}		
	$Pi_{\text{Fe}} - 0,05-0,10 \text{ m}$			C ₆	C ₇
Mi	135,58	151,85	135,80	7,92 ^{ns}	-16,26*
MiB	127,84	153,27	156,61	-16,06*	-25,42**
T	152,54	163,72	163,05	-4,92 ^{ns}	-11,18 ^{ns}
C	154,65	130,81	141,46	1,26 ^{ns}	23,84**
AP	159,94	164,04	146,89	15,10*	-4,09 ^{ns}
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-18,64**	8,85*	7,65 ^{ns}		
C ₃	-20,83**	-11,16*	-16,85**		
C ₄	7,74 ^{ns}	-1,42 ^{ns}	-20,82**		
C ₅	-5,29 ^{ns}	-33,23**	-5,43 ^{ns}		
	$Pi_{\text{Ca}} - 0,10-0,20 \text{ m}$			C ₆	C ₇
Mi	30,05	33,38	36,08	-4,36 ^{ns}	-3,33 ^{ns}
MiB	31,24	41,19	33,00	3,22 ^{ns}	-9,95**
T	30,65	31,92	31,25	0,03 ^{ns}	-1,27 ^{ns}
C	33,84	28,95	34,06	-2,67 ^{ns}	4,89 ^{ns}
AP	36,10	44,27	32,78	7,40**	-8,17**
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-4,33*	-1,11 ^{ns}	0,02 ^{ns}		
C ₃	0,00 ^{ns}	5,37 ^{ns}	3,28 ^{ns}		
C ₄	-1,19 ^{ns}	-7,81**	3,08 ^{ns}		
C ₅	-2,26 ^{ns}	-15,32**	1,28 ^{ns}		
	$Pi_{\text{Total}} - 0,05-0,10 \text{ m}$			C ₆	C ₇
Mi	182,55	198,46	186,88	3,63 ^{ns}	-15,91*
MiB	170,38	209,44	206,64	-16,73*	-39,06**
T	194,90	213,91	211,19	-6,79 ^{ns}	-19,01*
C	201,90	178,25	189,64	0,44 ^{ns}	23,65**
AP	199,61	217,57	190,97	17,62**	-17,96*
Contraste ⁽²⁾					
C ₂	-18,15**	9,36 ^{ns}	11,27 ^{ns}		
C ₃	-18,44*	-9,96 ^{ns}	-14,43 ^{ns}		
C ₄	12,17 ^{ns}	-10,98 ^{ns}	-19,76*		
C ₅	2,29 ^{ns}	-39,32**	-1,33 ^{ns}		

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C= crotalária; AP = aveia preta. Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₁ = 2015 vs 2016; C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

De acordo com Cassol, Gianello e Costa (2001) a eficiência relativa de fertilizantes orgânicos como adubos fosfatados tem correlação positiva com as proporções de P inorgânico total, já que as proporções de P orgânico e inorgânico em cama de frango são de aproximadamente 25% e 75% do P total, respectivamente.

A ausência de revolvimento no solo influenciou nos teores de P_i em função da fonte de fertilizante utilizada. O fertilizante organomineral, aplicado em sulco de semeadura, incrementou os teores de $P_{\text{Mehlich-1}}$, $P_{i\text{Fe}}$, $P_{i\text{Ca}}$, e $P_{i\text{Total}}$ na camada de 0,05-0,10 m nos cultivos do milho, milho+braquiária, aveia preta e trigo quando comparado ao fertilizante orgânico (C_7 – Tabela 6). Portanto, o SPD contribui para maiores teores das frações de P_i na camada superficial, devido a formação de uma camada de solo junto à superfície com alto teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, inclusive de P, devido à adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial e no sulco de semeadura (GATIBONI et al., 2007).

Nas camadas superficiais concentraram-se os maiores teores de P_i nas formas analisadas (Tabelas 6). Para todas as camadas avaliadas 73% do $P_{i\text{Total}}$ está na forma de $P_{i\text{Fe}}$. Neste caso, os teores de $P_{i\text{Fe}}$ foram superiores aos observados por Rosset et al. (2016) em áreas com SPD em Latossolo Vermelho Eutroférico típico também na região oeste do Paraná. O conteúdo de $P_{i\text{Total}}$ de cada solo está relacionado a fatores como o material de origem e ao grau de desenvolvimento deste solo. Solos oriundos de basalto são mais ricos em P, assim, os solos originados desta rocha ou de seus sedimentos apresentam maiores teores de $P_{i\text{Total}}$ (RANNO; SILVA; MALLMANN, 2007). Rocha et al. (2005) avaliaram as frações de P_i em solos da Ilha de Fernando de Noronha e verificaram teores elevados de $P_{i\text{Fe}}$, seguidos pelo $P_{i\text{Ca}}$, $P_{i\text{H}_2\text{O}}$ e $P_{i\text{Al}}$.

Em Latossolos, Silva et al. (2003), verificaram que a fração $P_{i\text{Fe}}$ predominou em relação as demais frações de P_i , e a fração $P_{i\text{Ca}}$ foi menor que as frações $P_{i\text{Fe}}$ e $P_{i\text{Al}}$. Nos solos ácidos e pobres em Ca^{2+} , a maior parte do P nativo, bem como do P adicionado como fertilizante, forma precipitados com Al e Fe, e ou é adsorvida especificamente à superfície dos coloides minerais, de modo que as frações $P_{i\text{Fe}}$ e $P_{i\text{Al}}$ são as que predominam (SOUZA JÚNIOR et al. 2012).

Por outro lado, em solos alcalinos e com teores elevados de Ca^{2+} , tanto o P nativo como o P adicionado como fertilizante precipitam com o Ca^{2+} da solução do

solo, formando fosfatos de Ca pouco solúveis (GATIBONI et al., 2007; SOUZA JÚNIOR et al., 2012). A calagem realizada no início da instalação do experimento pode ter contribuído para o maior teor de Pi_{Ca} , comparando-se com os valores iniciais de Pi_{Ca} do solo. Desta forma, as condições de pH do solo foram favoráveis para a precipitação de fosfatos de cálcio, já que a ocorrência de precipitação de P devida ao incremento de Ca^{2+} acontece em situação de neutralidade-alcalinidade do solo (VU; TANG; ARMSTRONG, 2008).

Houve interações entre anos, cultivo de inverno e fontes de fertilizantes para Pi_{Fe} , Pi_{Ca} e Pi_{Total} na camada de 0,00-0,05 m e para Pi_{Ca} na camada de 0,05-0,10 m. Para estas frações de Pi também foi verificada a influência da supressão da adubação organomineral e mineral de plantio nos cultivos da crotalária e aveia preta.

Neste caso, sob adubação orgânica os cultivos da crotalária e aveia preta apresentaram teores superiores de Pi_{Fe} , Pi_{Ca} e Pi_{Total} na camada de 0,00-0,05 m quando comparado com os cultivos de milho, milho+braquiária e trigo (C_2 - Tabelas 7, 8 e 10), tanto em 2015 quanto em 2016. Porém, sob adubação organomineral e mineral estas culturas de coberturas, de modo geral não apresentaram diferença nos teores de Pi_{Fe} , Pi_{Ca} e Pi_{Total} na camada de 0,00-0,05 m quando comparado com os cultivos de milho, milho+braquiária e trigo (C_2 - Tabelas 7, 8 e 10) e quando verificada a diferença significativa entre os contrastes, as culturas de cobertura apresentaram redução destas frações em relação aos cultivos comerciais.

O cultivo do trigo incrementou os teores Pi_{Fe} na camada de 0,00-0,05 m quando comparado aos cultivos do milho e milho+braquiária, com conseqüente influência sobre os teores de Pi_{Total} (C_3 - Tabela 7 e 10). No presente trabalho, os maiores teores de Pi_{Fe} sob cultivo de trigo, podem estar relacionados a menor absorção desta fração de Pi_{Fe} em relação aos demais cultivo e a maior a absorção de Pi_{Ca} e Pi_{H_2O} .

Sistemas de manejo que promovem aumento de matéria orgânica (MO) no solo, como o SPD, contribuem para o incremento de formas mais lábeis de P, pois os ácidos orgânicos oriundos da decomposição da MO bloqueiam sítios de adsorção por recobrimento dos óxidos de Fe e Al (ZAMUNER; PICONE; ECHEVERRIA, 2008), reduzindo o número de sítios de adsorção, e aumentando a disponibilidade deste nutriente às plantas (GUPPY et al., 2005), conforme relatado por Rosset et al. (2016).

Os altos teores de óxidos de Al e Fe são responsáveis pela forte fixação do P nativo e do P aplicado nos solos (MELESE et al., 2015). Estes autores verificaram em solos de textura argilosa, altos teores de P total, porém, o teor extraído por Olsen foi baixo. Os autores associam este baixo teor de P disponível às baixas reservas de Pi_{Al} no solo, mesmo sob abundância de óxidos de Al e também a maior saturação de P pelos óxidos de Fe, evidenciando que o Pi_{Fe} não contribui para o P disponível.

Houve efeito de ano para os contrastes avaliados em relação às fontes de fertilizantes e os cultivos de inverno. Para os anos avaliados (2015 e 2016) na camada de 0,00-0,05 m o fertilizante orgânico incrementou os teores de Pi_{Fe} , Pi_{Ca} e Pi_{Total} em comparação ao fertilizante organomineral (C₇ - Tabelas 7, 8 e 10) e também houve superioridade destes fertilizantes em relação ao fertilizante mineral.

Para os anos avaliados, também foi verificada superioridade dos cultivos da crotalária e aveia preta para os teores Pi_{Fe} , Pi_{Ca} e Pi_{Total} na camada de 0,00-0,05 m em comparação aos demais cultivos sob fertilização orgânica (C₂ - Tabelas 7, 8 e 10) e superioridade do cultivo do trigo em relação aos cultivos do milho e milho+braquiária sob diferentes fontes de fertilizantes (C₃ - Tabelas 7, 8 e 10).

Segundo Rheinheimer e Anghinoni (2001), o cultivo de plantas anuais tem pouco efeito na dinâmica das frações de Pi e quando ele ocorre, não está propriamente associado à espécie de planta, mas à disponibilidade de N, que altera a produtividade de biomassa vegetal e a exportação de P. Leite et al. (2016) verificaram que o cultivo de crotalária, feijão-de-porco, lablab, mucuna e milheto, em pré-safra de milho não causam alteração na maior parte das formas de Pi e Po do solo mesmo após 12 anos de aplicação dos tratamentos.

Bezerra et al. (2015) avaliando diferentes sistemas de manejo, verificaram que o sistema de integração lavoura pecuária (ILP), devido ao maior aporte vegetal oriundo da braquiária, aos dejetos bovinos deixados aleatoriamente na área e as adubações realizadas, acarreta na maior disponibilização das frações de P inorgânico e P orgânico quando comparado ao SPD, sem pastejo e braquiária, no Cerrado goiano. Assim, diferentes sistemas de uso do solo alteram o ciclo biogeoquímico do P, fazendo com que as formas mais disponíveis sejam favorecidas nas camadas superficiais e nos sistemas que aumentam a MOS, com ênfase no sistema de ILP que aumenta as frações de P na camada de 0,00-0,10 m em comparação ao SPD.

Tabela 7 - Teores de fósforo inorgânico ligado a ferro (Pi_{Fe}) em função da interação entre anos, cultivos de inverno e fontes de fertilizantes na camada do solo de 0,00-0,05 m

Tratamento ⁽¹⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Mi	181,46	145,36	140,85	172,44	150,18	135,47
MiB	178,07	138,10	137,73	188,83	148,24	145,16
T	177,59	165,35	170,40	216,91	169,95	167,39
C	190,19	138,53	132,51	210,56	148,71	136,28
AP	198,89	151,31	145,53	212,83	142,56	148,48
Contrastes ⁽²⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
C ₂ /Ano	-15,50**	4,69 ^{ns}	10,64*	-18,97**	10,48*	6,96 ^{ns}
C ₃ /Ano	2,18 ^{ns}	-23,62**	-31,11**	-36,28**	-20,74**	-27,07**
C ₄ /Ano	3,38 ^{ns}	7,26 ^{ns}	3,13 ^{ns}	-16,40*	1,94 ^{ns}	-9,69 ^{ns}
C ₅ /Ano	-8,70 ^{ns}	-12,77*	-13,02 ^{ns}	-2,26 ^{ns}	6,14 ^{ns}	-12,21*
Contrastes ⁽²⁾	2015					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2015	22,56**	20,36**	1,07 ^{ns}	31,85**	29,57**	
C ₇ /2015	36,09**	39,97**	12,24**	51,65**	47,58**	
Contrastes ⁽²⁾	2016					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2016	25,84**	23,37**	26,04**	43,36**	29,21**	
C ₇ /2016	22,26**	40,59**	46,96**	61,86**	70,26**	
Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos fertilizantes/cultivos de inverno nos dois anos					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆	24,20**	21,87**	13,56**	37,60**	29,39**	
C ₇	29,18**	40,28**	29,60**	56,76**	58,93**	
Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos cultivos de inverno/fertilizantes nos dois anos					
	O	OM	M			
C ₂	-17,23**	7,59 ^{ns}	8,80**			
C ₃	-17,05**	-22,18**	-29,09**			
C ₄	-6,50 ^{ns}	4,60 ^{ns}	-3,29 ^{ns}			
C ₅	-5,49 ^{ns}	-3,32 ^{ns}	-12,61**			

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalaria; AP = aveia preta, Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ⁽³⁾ Contrastes para efeito de ano: C₂= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+T₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆+T₂₀₁₆) vs (C₂₀₁₅+AP₂₀₁₅+C₂₀₁₆+AP₂₀₁₆); C₃= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆) vs (T₂₀₁₅+T₂₀₁₆); C₄= (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆) vs (MiB₂₀₁₅+MiB₂₀₁₆); C₅= (C₂₀₁₅+C₂₀₁₆) vs (AP₂₀₁₅+AP₂₀₁₆); C₆= (O₂₀₁₅+OM₂₀₁₅+O₂₀₁₆+OM₂₀₁₆) vs (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆); C₇= (O₂₀₁₅+O₂₀₁₆) vs (OM₂₀₁₅+OM₂₀₁₆). ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Tabela 8 - Teores de fósforo inorgânico ligado a cálcio (Pi_{Ca}) em função da interação entre anos, cultivos de inverno e fontes de fertilizantes na camada do solo de 0,00-0,05 m

Tratamento ⁽¹⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Mi	61,97	57,92	47,21	61,96	52,84	50,41
MiB	70,43	43,20	43,34	62,11	50,43	44,46
T	55,64	45,63	41,52	82,38	48,56	48,54
C	68,32	41,73	37,88	69,40	50,79	62,36
AP	83,59	51,74	47,10	95,48	57,18	51,59
Contrastes ⁽²⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
C ₂ /Ano	-13,28*	2,18 ^{ns}	1,53 ^{ns}	-13,62**	-3,37 ^{ns}	-9,17 ^{ns}
C ₃ /Ano	10,56*	4,92 ^{ns}	3,76 ^{ns}	-20,34**	3,08 ^{ns}	-1,11 ^{ns}
C ₄ /Ano	-8,47 ^{ns}	14,72**	3,87 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	2,41 ^{ns}	5,95 ^{ns}
C ₅ /Ano	-15,27 ^{ns}	-10,01*	-9,22 ^{ns}	-26,08**	-6,40 ^{ns}	10,77 ^{ns}
Contrastes ⁽²⁾	2015					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2015	12,73*	13,48*	9,12 ^{ns}	17,14**	20,57**	
C ₇ /2015	4,05 ^{ns}	27,24**	10,00**	26,59**	31,85**	
Contrastes ⁽²⁾	2016					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2016	6,99 ^{ns}	11,81*	16,93**	-2,27 ^{ns}	24,74**	
C ₇ /2016	9,12 ^{ns}	11,68 ^{ns}	33,82**	18,61**	38,30**	
Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos fertilizantes/cultivos de inverno nos dois anos					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆	9,86*	12,64**	13,02**	7,44 ^{ns}	22,65**	
C ₇	6,59 ^{ns}	19,46**	21,92**	22,60**	35,08**	
Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos cultivos de inverno/fertilizantes nos dois anos					
	O	OM	M			
C ₂	-13,45**	-0,60 ^{ns}	-3,82 ^{ns}			
C ₃	-4,89 ^{ns}	4,00 ^{ns}	1,33 ^{ns}			
C ₄	-4,30 ^{ns}	8,57**	4,91 ^{ns}			
C ₅	-20,68**	-8,20*	0,78 ^{ns}			

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalária; AP = aveia preta, Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ⁽³⁾ Contrastes para efeito de ano: C₂= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+T₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆+T₂₀₁₆) vs (C₂₀₁₅+AP₂₀₁₅+C₂₀₁₆+AP₂₀₁₆); C₃= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆) vs (T₂₀₁₅+T₂₀₁₆); C₄= (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆) vs (MiB₂₀₁₅+MiB₂₀₁₆); C₅= (C₂₀₁₅+C₂₀₁₆) vs (AP₂₀₁₅+AP₂₀₁₆); C₆= (O₂₀₁₅+OM₂₀₁₅+O₂₀₁₆+OM₂₀₁₆) vs (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆); C₇= (O₂₀₁₅+O₂₀₁₆) vs (OM₂₀₁₅+OM₂₀₁₆). ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Tabela 9 - Teores de fósforo inorgânico ligado a cálcio (Pi_{Ca}) em função da interação entre anos, cultivos de inverno e fontes de fertilizantes na camada do solo de 0,05-0,10 m

Tratamento ⁽¹⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Mi	45,84	47,05	48,40	40,08	38,45	47,83
MiB	35,57	45,72	44,52	39,58	64,98	52,11
T	34,96	38,79	42,61	43,38	50,06	47,12
C	40,26	40,75	39,24	46,83	46,80	52,26
AP	43,47	38,24	35,68	35,84	61,33	44,36
Contrastes ⁽²⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
C ₂ /Ano	-3,08 ^{ns}	4,36 ^{ns}	7,72 ^{**}	-0,33 ^{ns}	-2,90 ^{ns}	0,71 ^{ns}
C ₃ /Ano	5,74 [*]	7,59 [*]	3,85 ^{ns}	-3,55 ^{ns}	1,66 ^{ns}	2,85 ^{ns}
C ₄ /Ano	10,27 [*]	1,34 ^{ns}	3,88 ^{ns}	0,50 ^{ns}	-26,53 ^{**}	-4,28 ^{ns}
C ₅ /Ano	-3,21 ^{ns}	2,51 ^{ns}	3,56 ^{ns}	10,99 ^{**}	-14,53 ^{**}	7,90 [*]
Contrastes ⁽²⁾	2015					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2015	-1,95 ^{ns}	-3,88 ^{ns}	-5,73 ^{ns}	1,26 ^{ns}	5,18 ^{ns}	
C ₇ /2015	-1,21 ^{ns}	-10,15 ^{**}	-3,83 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	5,24 ^{ns}	
Contrastes ⁽²⁾	2016					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆ /2016	-8,57 [*]	0,17 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	-5,44 ^{ns}	4,23 ^{ns}	
C ₇ /2016	1,62 ^{ns}	-25,40 ^{**}	-6,68 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-25,49 ^{**}	
Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos fertilizantes/cultivos de inverno nos dois anos					
	Mi	MiB	T	C	AP	
C ₆	-5,26 [*]	-1,85 ^{ns}	-3,07 ^{ns}	-2,09 ^{ns}	4,70 [*]	
C ₇	0,21 ^{ns}	-17,78 ^{**}	-5,26 ^{**}	-0,23 ^{ns}	-10,13 ^{**}	
Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos cultivos de inverno/fertilizantes nos dois anos					
	O	OM	M			
C ₂	-1,70 ^{ns}	0,73 ^{ns}	4,21 [*]			
C ₃	1,10 ^{ns}	4,63 ^{ns}	3,35 ^{ns}			
C ₄	5,39 ^{ns}	-12,60 ^{**}	-0,20 ^{ns}			
C ₅	3,89 ^{ns}	-6,01 [*]	5,73 ^{ns}			

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalária; AP = aveia preta, Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ⁽³⁾ Contrastes para efeito de ano: C₂= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+T₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆+T₂₀₁₆) vs (C₂₀₁₅+AP₂₀₁₅+C₂₀₁₆+AP₂₀₁₆); C₃= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆) vs (T₂₀₁₅+T₂₀₁₆); C₄= (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆) vs (MiB₂₀₁₅+MiB₂₀₁₆); C₅= (C₂₀₁₅+C₂₀₁₆) vs (AP₂₀₁₅+AP₂₀₁₆); C₆= (O₂₀₁₅+OM₂₀₁₅+O₂₀₁₆+OM₂₀₁₆) vs (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆); C₇= (O₂₀₁₅+O₂₀₁₆) vs (OM₂₀₁₅+OM₂₀₁₆). ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Tabela 10 - Teores de fósforo inorgânico total (P_{iTotal}) em função da interação entre anos, cultivos de inverno e fontes de fertilizantes na camada do solo de 0,00-0,05 m

Tratamento ⁽¹⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Mi	246,66	214,09	197,00	240,10	206,62	189,03
MiB	253,70	185,55	184,97	256,73	201,81	194,01
T	237,33	214,48	215,74	309,38	222,76	225,15
C	263,15	184,00	174,29	284,43	203,21	197,84
AP	277,30	217,31	196,22	314,50	202,71	204,31
Contrastes ⁽²⁾	2015			2016		
	O	OM	M	O	OM	M
C ₂ /Ano	-24,33**	4,05 ^{ns}	13,98*	-30,73**	7,44 ^{ns}	1,66 ^{ns}
C ₃ /Ano	12,85 ^{ns}	-14,66 ^{ns}	-24,75**	-60,97**	-18,55*	-33,63**
C ₄ /Ano	-7,04 ^{ns}	28,54*	12,03 ^{ns}	-16,63 ^{ns}	4,81 ^{ns}	-4,98 ^{ns}
C ₅ /Ano	-14,15 ^{ns}	-33,31**	-21,93 ^{ns}	-30,07**	0,50 ^{ns}	-6,47 ^{ns}
Contrastes ⁽²⁾	2015					
	Mi	Mi+B	T	C	AP	
C ₆ /2015	33,38**	34,66**	10,17 ^{ns}	49,29**	51,09**	
C ₇ /2015	32,57**	68,15**	22,85 ^{ns}	79,15**	59,99**	
Contrastes ⁽²⁾	2016					
	Mi	Mi+B	T	C	AP	
C ₆ /2016	34,33**	35,26**	40,92**	45,98**	54,30**	
C ₇ /2016	33,48**	54,92**	86,62**	81,22**	111,79**	
Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos fertilizantes/cultivos de inverno nos dois anos					
	Mi	Mi+B	T	C	AP	
C ₆	33,85**	34,96**	25,54**	47,63**	52,69**	
C ₇	33,03**	61,54**	54,74**	80,18**	85,89**	
Contrastes ⁽³⁾	Efeito dos cultivos de inverno/fertilizantes nos dois anos					
	O	OM	M			
C ₂	-27,53**	5,74 ^{ns}	7,82 ^{ns}			
C ₃	-24,06**	-16,60**	-29,19**			
C ₄	-11,84 ^{ns}	16,68*	3,52 ^{ns}			
C ₅	-22,11**	-16,41*	-14,20 ^{ns}			

⁽¹⁾ Cultivos de inverno: Mi= milho; MiB= milho + braquiária; T= trigo; C = crotalaria; AP = aveia preta, Fertilizantes: O = orgânico; OM = organomineral; M = mineral. ⁽²⁾ Contrastes: C₂= (M+MiB+T) vs (C+AP); C₃= (Mi+MiB) vs T ; C₄= Mi vs MiB; C₅= C vs AP; C₆= (O+OM) vs M; C₇= O vs OM. ⁽³⁾ Contrastes para efeito de ano: C₂= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+T₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆+T₂₀₁₆) vs (C₂₀₁₅+AP₂₀₁₅+C₂₀₁₆+AP₂₀₁₆); C₃= (M₂₀₁₅+MiB₂₀₁₅+M₂₀₁₆+MiB₂₀₁₆) vs (T₂₀₁₅+T₂₀₁₆); C₄= (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆) vs (MiB₂₀₁₅+MiB₂₀₁₆); C₅= (C₂₀₁₅+C₂₀₁₆) vs (AP₂₀₁₅+AP₂₀₁₆); C₆= (O₂₀₁₅+OM₂₀₁₅+O₂₀₁₆+OM₂₀₁₆) vs (M₂₀₁₅+M₂₀₁₆); C₇= (O₂₀₁₅+O₂₀₁₆) vs (OM₂₀₁₅+OM₂₀₁₆). ^{ns} Não-significativo, * e ** Significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

6.6 CONCLUSÕES

Os cultivos de inverno alteram as frações de Pi no solo. A sucessão soja/trigo incrementa os teores de Pi_{Fe} , sob fertilização mineral e organomineral.

A supressão da adubação organomineral e mineral de semeadura em plantas de cobertura reduz os teores de Pi do solo.

O cultivo da crotalária e aveia preta incrementam as frações de Pi_{Fe} e Pi_{Ca} na camada de 0,00-0,05 m sob adubação orgânica.

O fertilizante orgânico incrementa os teores de Pi_{Fe} e Pi_{Total} na camada de 0,00-0,05 m e o fertilizante organomineral incrementa o teor de Pi_{Ca} na sessão de 0,05-0,20 m.

6.7 REFERÊNCIAS

ALLEONI, L.R.F.; FERNANDES, A.R.; CORREIA, B.L. Sequential extraction of phosphorus in an Oxisol amended with biosolids in a long-term field experiment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.161, p. 145-151, 2012.

ALVES, G.L.N. **Micorriza vesicular-arbusculares no crescimento e utilização do fósforo do solo pela braquiária e estilósantes**. 1988. 42 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1988.

BEUTLER, S.J. et al. Humic substances and phosphorus fractions in areas with crop-livestock integration, pasture and natural cerrado vegetation in Goiás, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v.18, n.1, p.11-25, 2015.

BEZERRA, R.P.M. et al. Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.36, n.3, p.1287-1306, 2015.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Efeito de resíduos de plantas jovens de aveia preta em cobertura de solo no crescimento inicial do milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**, v.113, p.73-85, 1974.

BRAOS, L.B. et al. Organic phosphorus fractions in soil fertilized with cattle manure. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, p.140-150, 2015.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e plantas de cobertura como sustentáculo do sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO,

18., Londrina, 2001. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p. 241.

CARNEIRO, L.F. et al. Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um Latossolo com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.2, p.483-491, 2011.

CASSOL, P. C.; GIANELLO, C.; COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.635-644, 2001.

CERETTA, C.A. et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.593-602, 2010.

CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Oxford, v.84, p.133-144, 1957.

CORRÊA, J.C; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.1231-1237, 2004.

FONTES, M.P.F.; ALLEONI, L.R.F. Electrochemical attributes and availability of nutrients, toxic elements, and heavy metal in tropical soils. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.63, p.589-608, 2006.

GALVANI, R.; HOTTA, L.F.K.; ROSOLEM, C.A. Phosphorus sources and fractions in an Oxisol under no-tilled soybean. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.415-421, 2008.

GATIBONI, L.C. et al. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. In: ARAÚJO, A.P.; AVELAR, B.J.R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.8, p.141-187, 2013.

GATIBONI, L.C. et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31. p.691-699, 2007.

GUPPY, C.N. et al. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Australian Journal of Soil Research**, v.43, n.1, p.189-202, 2005.

LAN, Z.M. et al. Phosphorus availability and rice grain yield in a paddy soil in response to long-term fertilization. **Biology and Fertility of Soils**, v.48, p.579-588. 2012.

LEITE, J.N.F. et al. Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciadas por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.11, p.1880-1889, 2016.

LI, G. et al. Characterization of phosphorus in animal manures collected from three (dairy, swine, and broiler) farms in China. **PLoS One**, v.9, 2014.

MELESE, A. et al. Phosphorus status, inorganic phosphorus forms, and other physicochemical properties of acid soils of farta district, northwestern highlands of Ethiopia. **Applied and Environmental Soil Science**, 2015.

MELO, A. V. et al. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 411-420, 2011.

NEST, T.V. et al. Long-term application of compost versus other organic fertilizers: effects on phosphorus leaching. **Acta Horticulturae**. v.1146, p.213-219, 2016.

NOVAIS, R.F.; KAMPRATH, E.J. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, p. 931-935, 1978.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIBONE, D.; ROSOLEM, C.A. Phosphate fertilization and phosphorus forms in an Oxisol under no-till. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.4, p.465-471, 2010

OTABBONG, E. et al. The ultun a long-term soil organic matter experiment. II. Phosphorus status and distribution in soils. **Plant and Soil**, Crawley, v.195, p.17-93, 1997.

OTANI, T.; AE, N.; TANAKA, H. Phosphorus (P) uptake mechanism of crops grown in soils with low P status. II. Significance of organic acid in root exudates of pigeonpea. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokio, v.42, p.553-560, 1996.

PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.105, p.149-155, 2009.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p. 911-920, 2008.

RANNO, S.K.; SILVA, L.S.; MALLMANN, F.J.K. Fracionamento do fósforo inorgânico em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.1, p.47-54, 2007.

REIS, T.H.P. et al. Dynamics of forms of inorganic phosphorus in soil under coffee plants as a function of successive annual additions of the nutrient. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.42, n.8, p.980-991, 2011.

RHEINHEIMER, D. dos S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.151-160, 2001.

ROCHA, A.T. et al. Fracionamento do fósforo e avaliação de extratores do P-disponível em solos da Ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.178-184, 2005.

ROSSET, J.S. et al. Phosphorus fractions and correlation with soil attributes in a chronosequence of agricultural under no-tillage. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 6, p. 3915-3926, 2016.

ROTTA, L.R. et al. Phosphorus fractions and availability in a haplic plinthosol under no-tillage system in the Brazilian Cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.39, n.3, p.216-224, 2015.

SANTOS, C.A. et al. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.337, p.394-401, 2019.

SANTOS, J.Z.L. et al. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.705-714, 2008.

SCHMITT, D.E. et al. Phosphorus fractions in the vineyard soil of the Serra Gaúcha of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.2, p.134-140, 2014.

SCHMITT, D.E. et al. Accumulation of phosphorus fractions and contamination potential in vineyard soils in the southern region of the state of Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1256-1266, 2013.

SILVA, F.C.; RAIJ, B. VAN. Disponibilidade de fósforo avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2277-2285, 1999.

SILVA, M.A.; et al. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1197-1207, 2003.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, Potafos, p.157-196, 2004.

SOUZA JÚNIOR, R.F. et al. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.159-169, 2012.

SPOSITO, G. Soil adsorption phenomena. In: SPOSITO, G. (Ed.). **The Chemistry of Soil**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 2008.195-217p.

TAKAHASHI, S.; ANWAR, R.M. Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol. **Field Crops Research**, v.101, p.160-171, 2007.

TIESSEN, J.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n.4, p. 853-858, 1984.

VU, D.T.; TANG, C.; ARMSTRONG, R.D. Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. **Plant and Soil**, Crawley, v.304, p.21-34, 2008.

YAN, X. et al. Phosphorus fractions and sorption characteristics in a subtropical paddy soil as influenced by fertilizer sources. **Geoderma**, Amsterdam, v.295, p.80-85, 2017.

ZAMUNER, E.C.; PICONE, L.I.; ECHEVERRIA, H.E. Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.99, p.131-138, 2008.

7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Diante do exposto nos capítulos desta tese, fica evidente que as frações ácido fúlvico e ácido húmico da matéria orgânica e os teores de fósforo inorgânico e orgânico lábeis foram sensíveis aos diferentes cultivos de inverno. Já a fração humina foi pouco influenciada pelos manejos adotados.

O teor de fósforo total no solo encontra-se em maior proporção na fração moderadamente lábil ($P-H^+$) e o fósforo inorgânico encontra-se em maior proporção na fração Pi_{Fe} .

O fertilizante orgânico incrementa os teores de carbono das substâncias húmicas da matéria orgânica, e os teores de fósforo inorgânico e orgânico na camada superficial do solo e não altera os teores de carbono orgânico total e as frações oxidáveis da matéria orgânica.

O fertilizante mineral aumenta o teor de carbono nas frações químicas da matéria orgânica e o teor de fósforo orgânico lábil e moderadamente resistente na camada de 0,20-0,40 m.

A supressão da adubação organomineral e mineral de semeadura em plantas de cobertura reduz os teores de Pi do solo.

O fracionamento químico da matéria orgânica caracterizou melhor as alterações das substâncias húmicas do solo nos manejos adotados em comparação ao fracionamento oxidável e ao carbono orgânico total, e portanto, pode auxiliar nas estratégias de manejo em áreas agrícolas.

ANEXO A - Análise de variância – Programa SAEG

Variável: COT 0,00-0,05 m

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	119	584.9255			
Total de Redução	59	383.7889	6.504897	1.94	0.0058
REPET	3	32.35354	10.78451	2.18	0.0998
REPET*ANO	3	9.220009	3.073336	0.62	*****
ANO	1	15.88860	15.88860	3.21	0.0782
CULTIVO	4	50.34968	12.58742	2.54	0.0487
CULTIVO*ANO	4	65.80924	16.45231	3.32	0.0159
** ERRO (A) **	24	118.7718	4.948824		
ADUB	2	17.48095	8.740474	2.61	0.0821
ADUB*CULTIVO	8	29.01540	3.626925	1.08	0.3881
ADUB*ANO	2	22.75854	11.37927	3.39	0.0401
ADUB*CULTIVO*ANO	8	22.14119	2.767649	0.83	*****
Resíduo	60	201.1366	3.352277		

Número de Dados = 120
 Média Geral = 28.778
 Coef. de Variação = 6.3622

Variável: COT 0,05-0,010 m

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	119	293.3951			
Total de Redução	59	174.5627	2.958690	1.49	0.0620
REPET	3	11.02109	3.673698	1.07	0.3680
REPET*ANO	3	6.691242	2.230414	0.65	*****
ANO	1	3.175253	3.175253	0.93	*****
CULTIVO	4	20.04750	5.011875	1.46	0.2251
CULTIVO*ANO	4	20.26521	5.066302	1.48	0.2202
** ERRO (A) **	24	82.27951	3.428313		
ADUB	2	10.66956	5.334782	2.69	0.0758
ADUB*CULTIVO	8	15.74376	1.967970	0.99	*****
ADUB*ANO	2	0.6432868	0.3216434	0.16	*****
ADUB*CULTIVO*ANO	8	4.026288	0.5032860	0.25	*****
Resíduo	60	118.8324	1.980540		

Número de Dados = 120
 Média Geral = 21.723
 Coef. de Variação = 6.4785

Variável: COT 0,10-0,20 m

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	119	207.8054			
Total de Redução	59	136.2419	2.309185	1.94	0.0059
REPET	3	13.93772	4.645906	1.85	0.1483
REPET*ANO	3	0.9769638	0.3256546	0.13	*****
ANO	1	0.8473921	0.8473921	0.34	*****
CULTIVO	4	20.85523	5.213807	2.07	0.0956
CULTIVO*ANO	4	24.61920	6.154801	2.45	0.0560
** ERRO (A) **	24	60.37464	2.515610		
ADUB	2	1.511279	0.7556397	0.63	*****
ADUB*CULTIVO	8	9.272735	1.159092	0.97	*****
ADUB*ANO	2	1.048042	0.5240208	0.44	*****
ADUB*CULTIVO*ANO	8	2.798723	0.3498403	0.29	*****
Resíduo	60	71.56347	1.192724		

Número de Dados = 120
Média Geral = 17.771
Coef. de Variação = 6.1453

Variável: COT 0,20-0,40 m

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	119	431.4281			
Total de Redução	59	305.4973	5.177920	2.47	0.0003
REPET	3	38.32204	12.77401	3.50	0.0209
REPET*ANO	3	3.961897	1.320632	0.36	*****
ANO	1	0.2787888	0.2787888	0.08	*****
CULTIVO	4	64.12241	16.03060	4.39	0.0035
CULTIVO*ANO	4	14.93598	3.733995	1.02	0.4035
** ERRO (A) **	24	87.70854	3.654523		
ADUB	2	55.16008	27.58004	13.14	0.0000
ADUB*CULTIVO	8	26.61446	3.326808	1.59	0.1485
ADUB*ANO	2	2.858653	1.429327	0.68	*****
ADUB*CULTIVO*ANO	8	11.53446	1.441807	0.69	*****
Resíduo	60	125.9308	2.098846		

Número de Dados = 120
Média Geral = 12.057
Coef. de Variação = 12.016