

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
MESTRADO EM AGRONOMIA

DAIANI DA CRUZ HARTMAN

DINÂMICA DO CARBONO E AGREGAÇÃO DO SOLO INFLUENCIADA PELO USO
DE FÓSFORO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

PONTA GROSSA
2016

DAIANI DA CRUZ HARTMAN

DINÂMICA DO CARBONO E AGREGAÇÃO DO SOLO INFLUENCIADA PELO USO
DE FÓSFORO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de
Ponta Grossa para a obtenção do título de Mestre em
Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.
Ênfase em Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá.

Co-orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da
Fonseca.

PONTA GROSSA
2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

H333 Hartman, Daiani da Cruz
Dinâmica do carbono e agregação do solo influenciada pelo uso de fósforo em sistema integrado de produção agropecuária/ Daiani da Cruz Hartman. Ponta Grossa, 2016.
91f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá.
Coorientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca.

1.Fontes de P. 2.Estoque de C.
3.Estabilidade de agregados. 4.Sequestro de C. I.Sá, João Carlos de Moraes. II. Fonseca, Adriel Ferreira da. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Agronomia. IV. T.

CDD: 631.85



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Dinâmica do carbono e agregação do solo influenciada pelo uso de fósforo em sistema integrado de produção agropecuária”.**

Nome: Daiani da Cruz Hartman

Orientador: João Carlos de Moraes Sá

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá

Prof. Dr. Aníbal de Moraes

Dr.ª Lutécia Beatriz dos Santos Canalli

Data da Realização: 28 de abril de 2016.

DEDICO

A minha família, pelo apoio e valorização das
minhas escolhas, simplificando o caminho a
ser percorrido.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças e iluminado meu caminho para que pudesse concluir mais uma etapa da minha vida;

A minha mãe Reni F. da Cruz, por todo amor e dedicação que sempre teve comigo, mulher a qual tenho maior orgulho de chamar de mãe, meu eterno agradecimento pelos momentos em que estive ao meu lado, me apoiando e me fazendo acreditar que nada é impossível, pessoa que sigo como exemplo, mãe dedicada, amiga, batalhadora, que abriu mão de muitas coisas para me proporcionar esta realização;

A minha avó Leonira O. da Cruz, por estar sempre torcendo e rezando para que meus objetivos sejam alcançados, por todo o amor que me dedicou meu eterno amor e agradecimento;

Aos meus irmãos Karen C. Hartman e Cristhian Robert Hartman pelo carinho e atenção que sempre tiveram comigo, me apoiando em todos os momentos;

A todos os meus familiares, amigos e ao meu noivo Matheus Antônio Cantele, pela confiança em mim depositada meu imenso agradecimento.

Ao meu orientador, professor Dr. João Carlos de Moraes Sá, pelos ensinamentos e dedicação dispensados no auxílio a concretização dessa dissertação, pela orientação, paciência, compreensão e amizade, além de sempre servir como exemplo de cientista ético e competente;

Aos queridos amigos e colegas do LABMOS, com os quais tive a honra de trabalhar, pela ajuda nas atividades de campo e de laboratório. Um agradecimento especial à MINHA mãezona Jaqueline A. Gonçalves, pelo incentivo nas atividades do laboratório.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia que dispuseram de ambiente físico e principalmente de professores altamente qualificados, engajados no objetivo de formar pessoas capacitadas.

À Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todas as pessoas que de alguma maneira possibilitaram a realização dessa pesquisa.

HARTMAN, Daiani da Cruz. **Dinâmica do Carbono e agregação do solo influenciada pelo uso de fósforo em sistema integrado de produção agropecuária**. 2016. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

RESUMO

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha um papel importante, na sustentabilidade agrícola e dependendo do manejo adotado o solo pode atuar como fonte ou dreno de Carbono (C) para a atmosfera. O objetivo deste trabalho foi compreender o impacto do uso de fontes de fósforo, nos compartimentos de Carbono orgânico e na agregação do solo, manejado no sistema integrado de produção agropecuária (SIPA), em plantio direto (PD), tendo como referência a vegetação nativa (VN). O experimento foi realizado em um Cambissolo Háplico argiloso no município de Castro, PR. O delineamento experimental foi o de blocos aleatorizados, em arranjo fatorial (2X3), com quatro repetições. O experimento foi implantado em abril de 2009 e constitui-se de 5 tratamentos: (i) Controle – sem aplicação de P; (ii) SFT₆₀ - aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo (SFT); (iii) SFT₁₂₀ – aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de SFT; (iv) TFM₆₀ - aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de termofosfato magnésiano (TFM); (v) TFM₁₂₀ – aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de TFM, também, foi adicionado como tratamento o solo sob VN adjacente ao experimento, caracterizando a referência. O solo foi coletado em março de 2013, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 cm para análise de agregados e 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm para análise de C orgânico total (COT), C orgânico particulado (COP) e C associado aos minerais, C extraído por água quente (CAQ), C oxidado por permanganato de potássio (COXP), C extraído por pirofosfato de sódio (CPIR), polissacarídeos totais e lábeis (PT e PL respectivamente), e C recalcitrante (Crec), compreendendo os compartimentos do C. Os tratamentos com SFT promoveram estoque superior nos compartimentos lábeis na camada de 0-100 cm. Os tratamentos com fonte SFT resultaram em maior estoque de COP, CAQ e COXP que foi de 22,65 e 22,53; 21,99 e 22,49; 4,98 e 4,85 Mg ha⁻¹, respectivamente, para o SFT₆₀ e SFT₁₂₀, respectivamente na camada de 0-100 cm. A classe de macroagregado extra-grande (8-19 mm) na camada de 0-20 cm constituiu-se no maior estoque de COT em relação as demais classes de agregados e o tratamento com SFT na dose de 60 kg ha⁻¹ promoveu o maior estoque de COT. A taxa de sequestro de C estimada pelo modelo unicompartmental de balanço de C foi de quase 10 vezes superior na classe de macroagregados (8-19 mm) na camada de 0-20 cm em relação a classe de microagregados (0,053- 0,25 mm). A taxa de de sequestro de C para os tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀ TFM₆₀ e TFM₁₂₀ foi de 0,82, 1,06, 1,14, 1,09 e 1,06 Mg ha⁻¹ano⁻¹, respectivamente. A quantidade mínima de resíduos culturais na forma de palhada para manter o balanço de C em equilíbrio estável para os tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ foi de 6,98, 8,17, 7,93, 7,98 e 8,03 Mg ha⁻¹ e 0,32, 0,23, 0,27, 0,20 e 0,22 Mg ha⁻¹, respectivamente, nas classes 2-19 e 0,25-0,053 mm, respectivamente. A adubação fosfatada com fonte solúvel em PD em experimento sob SIPA de curto prazo, promoveu maiores benefícios à estruturação do solo e maior estoque de C nos compartimentos de C e nos agregados, do que a fonte parcialmente solúvel, indicando maior potencial em reverter o processo de degradação da qualidade do solo.

Palavras – chave: fontes de P; estoque de C; estabilidade de agregados; sequestro de C.

HARTMAN, Daiani da Cruz. **Carbon dynamics and soil aggregation influenced by phosphorus use in integrated agricultural production system.** 2016. Master degree dissertation in Agronomy – State University of Ponta Grossa (UEPG).

SUMMARY

The soil organic matter (SOM) perform an important role in the agriculture sustainability, and depending of the management system used, the soil can behave as a source or drainage of carbon (C) to the atmosphere. The objective of this study was to comprehend the impact of the use of phosphorous (P) sources in the soil organic carbon (SOC) pools and in the soil aggregation, managed in the crop-livestock integration system (CLIS), in no-till, adopting as a reference the native vegetation. The experiment design was completely randomized blocks in factorial 2x3, with four replicates. The experiment was established in April 2009 with five treatments: (i) control: without P application; (ii) TSP₆₀: application of 60 kg ha⁻¹ in the form of triple superphosphate (TSP); (iii) TSP₁₂₀: application of 120 kg ha⁻¹ of P in the form of TSP; (iv) MTP₆₀: application of 60 kg ha⁻¹ of P in the form of magnesium thermophosphate (MTP); (v) MTP₁₂₀: application of 120 kg ha⁻¹ of P in the form of MTP. In addition, we used as a reference a nearby native vegetation area. The soil was sampled in march 2013, at the depths of 0-5, 5-10, 10-20 cm for aggregate analysis and 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 8-100 cm for total organic carbon (TOC) analysis, total and labile polysaccharides (PT and PL), hot water extractable organic carbon (HWEOC), permanganate oxidizable organic carbon (POXC), pyrophosphate oxidizable organic carbon (PIOC), recalcitrant carbon (C_{rec}), particulate organic carbon (POC) and mineral associated organic carbon (MAOC). The treatments with TSP promoted higher stocks in all the SOC labile pools at 0-100 layer. The treatment with TSP presented higher POC, HWEOC and POXC stocks, which was 22.65 and 22.53; 21.99 and 22.49; 4.98 and 4.85 Mg ha⁻¹, respectively, for TSP₆₀ and TSP₁₂₀, respectively at 0-100 cm layer. The extra-large macroaggregate class (8-19 mm) at the depth of 0-20 cm presented the highest TOC stocks regarding the other aggregate classes and the TSP at the rate of 60 kg ha⁻¹ promoted the highest TOC stock. The C sequestration rate estimated by the unicompartimental model of C balance was 10 times higher in the 8-19 aggregate class at the depth of 0-20 regarding the 0.053-0.25 mm aggregate class. The C sequestration rate for the treatments control, TSP₆₀, TSP₁₂₀ MTP₆₀ and MTP₁₂₀ were 0.82, 1.06, 1.14, 1.09 and 1.06 Mg ha⁻¹, respectively. The minimum amount of crop residue necessary to maintain the carbon balance for the treatments control, TSP₆₀, TSP₁₂₀ MTP₆₀ and MTP₁₂₀ respectively were from 6.98, 8.17, 7.93, 7.98 and 8.0 Mg ha⁻¹ to 0.32, 0.23, 0.27, 0.20 and 0.22 Mg ha⁻¹, in the 2-19 and 0.25-0.053 classes, respectively. The phosphate fertilization with soluble source in no-till in CLIS in short-term promoted higher benefits to soil structure and higher C stock in the SOC pools and in the aggregates, than the partial soluble source, indicating higher potential in reverting the soil degradation process.

Key - words: P sources; C stock; aggregate stability; C sequestration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Temperatura e precipitação média referente ao período experimental (abril de 2009 a março de 2013) e os valores históricos.....	24
Figura 2	Cronologia do uso do solo na área experimental.....	25
Figura 3	Croqui da distribuição dos tratamentos no experimento.....	27
Figura 4	Estoque de Carbono nas frações Carbono orgânico particulado (COP) e Carbono orgânico associado aos minerais (COAM) na camada de 0-100 cm, em SIPA, em um Cambissolo Háplico.....	39
Figura 5	Relação entre o conteúdo de polissacarídeos totais (PT) e Carbono orgânico extraído por água quente, nas diferentes camadas do solo para Controle= sem P; SFT ₆₀ e SFT ₁₂₀ = 60 e 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM ₆₀ e TFM ₁₂₀ =60 e 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ fonte termofosfato magnésiano; VN= vegetação nativa.....	42
Figura 6	Detalhe do procedimento de tamisamento a úmido utilizando Yoder modificado por Castro Filho et al. (1998) (a); peneiras de 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,053 mm (b).....	58
Figura 7	Diâmetro médio geométrico (DMG) e Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados afetados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária e na vegetação nativa (VN) utilizada como referência, a) camada de 0-5 cm; b) 5-10 cm e c): 10-20 cm de profundidade em um Cambissolo Háplico.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultados de análises químicas e granulométricas do solo da área experimental, em diferentes camadas, por ocasião da instalação do experimento (abril/2009).....	25
Tabela 2	Sequência de eventos das culturas em sucessão na área experimental: época de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo da cobertura (forragens) ou colheita (grãos).....	27
Tabela 3	Densidade do solo (Ds) de cada tratamento e para cada camada amostrada, afetada por diferentes fontes e doses de P em SIPA, comparados com a área de referência (vegetação nativa- VN) em um Cambissolo Háptico no município de Castro-PR.....	29
Tabela 4	Adições anuais de resíduos vegetais e C (parte aérea/raiz), influenciadas por diferentes fontes e doses de P, sob sistema integrado de produção agropecuária, até um metro de profundidade em um Cambissolo Háptico.....	30
Tabela 5	Estimativa de massa seca e Carbono provenientes de excretas animais, baseado em Assmann et al. (2014).....	31
Tabela 6	Conteúdo de fósforo em mg dm^{-3} , influenciado por diferentes fontes e doses de P, sob sistema integrado de produção agropecuária, até um metro de profundidade em um Cambissolo Háptico.....	35
Tabela 7	Conteúdo e estoque de Carbono orgânico total (COT) no solo, influenciados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, até um metro de profundidade em um Cambissolo Háptico.....	36
Tabela 8	Conteúdo e estoque de Carbono orgânico total nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS), influenciadas por diferentes doses e fontes de P sob sistema integrado de produção agropecuária, até um metro de profundidade em um Cambissolo Háptico.....	38
Tabela 9	Conteúdo e estoque de Carbono orgânico extraído por água quente (CAQ), Carbono orgânico extraído por permanganato (COXP) e Carbono orgânico extraído por pirofosfato (CPIR), afetados por diferentes fontes e doses de P em SIPA, comparados com a área de referência (vegetação nativa- VN) em um Cambissolo Háptico.....	40
Tabela 10	Conteúdo e estoque de polissacarídeos totais (PT), e lábeis (PL), afetados por diferentes fontes e doses de P em SIPA, comparados com a área de referência (vegetação nativa- VN) em um Cambissolo Háptico.....	43

Tabela 11	Conteúdo e estoque de Carbono recalcitrante (Crec) afetado por diferentes fontes e doses de P em SIPA, comparados com a área de referência (vegetação nativa- VN) em um Cambissolo Háplico.....	44
Tabela 12	Índice de labilidade (ILC), índice de estoque (IEC) e índice de manejo de Carbono (IMC), em função de diferentes fontes e doses de P em SIPA, em um Cambissolo Háplico.....	45
Tabela 13	Índice de massa seca de raiz e porcentagem de C na palhada, utilizados para o balanço de Carbono.....	61
Tabela 14	Distribuição das classes de agregados (g solo na fração de agregado kg^{-1} de solo) influenciada por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, e na vegetação nativa (VN) utilizada como referência, até 20 cm de profundidade em um Cambissolo Háplico.....	62
Tabela 15	Conteúdo de Carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nas classes de agregados afetados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, até 20 cm de profundidade em um Cambissolo Háplico.....	65
Tabela 16	Estoque de Carbono orgânico total (COT) nas classes de agregados afetados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, até 20 cm de profundidade em um Cambissolo Háplico.....	67
Tabela 17	Percentuais de distribuição do estoque de Carbono orgânico total em cada classe de tamanho dos agregados, afetados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, em 0-20 cm de profundidade.....	68
Tabela 18	Balanço de C nos macroagregados (2-19 mm), mesoagregados (0,25-2 mm) e microagregados (0,053-0,25 mm), afetado por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, em um Cambissolo Háplico, para a camada de 0-20 cm utilizando o modelo unicompartmental adaptado de Bayer et al. (2006).....	69
Tabela 19	Equivalente em palhada dos atributos do balanço de C para os macroagregados (2-19 mm), mesoagregados (0,25-2 mm) e microagregados (0,053-0,25 mm), afetado por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, em um Cambissolo Háplico, para a camada de 0-20 cm.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVO.....	13
3	REVISÃO DELITERATURA.....	14
3.1	O solo como fonte ou dreno de dióxido de Carbono (CO ₂).....	14
3.2	Sistema integrado de produção agropecuária em plantio direto.....	14
3.3	Adubação fosfatada em Sistema integrado de produção agropecuária.....	15
3.4	Dinâmica do C orgânico no solo.....	17
3.5	Compartimentos do C no solo.....	18
3.6	Índices de manejo de C.....	19
3.7	Proteção e Sequestro do C orgânico no solo.....	19
4	COMPARTIMENTOS DO CARBONO DO SOLO EM DECORRÊNCIA DO USO DE FÓSFORO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....	21
4.1	INTRODUÇÃO.....	23
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.2.1	Caracterização do local.....	24
4.2.2	Amostragem.....	28
4.2.3	Biomassa total (raízes e parte aérea) e entrada de C.....	29
4.2.4	Fracionamento granulométrico da materia orgânica do solo – FGMOS.....	31
4.2.5	Compartimentos da materia orgânica do solo.....	31
4.2.6	Estoque de COT.....	32
4.2.7	Cálculos dos índices.....	33
4.2.8	Análises estatísticas.....	34
4.3	RESULTADOS.....	35
4.3.1	Fósforo e Carbono orgânico total influenciados por diferentes fontes e doses de P	35
4.3.2	Alterações nos compartimentos de C influenciadas pela utilização de diferentes fontes e doses de P	37
4.3.3	Índices de manejo do Carbono orgânico no solo afetados pela adubação fosfatada.....	44
4.4	DISCUSSÃO.....	46
4.4.1	Fósforo no solo afetado por fontes e doses.....	46
4.4.2	Alterações nos compartimentos de C em resposta ao uso de P.....	47
4.4.3	Índices do C orgânico no solo.....	52
4.5	CONCLUSÕES.....	53

5	BALANÇO DE C EM CLASSES DE AGREGADOS, EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA EM RESPOSTA AO USO DE FÓSFORO.....	54
5.1	INTRODUÇÃO.....	56
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	58
5.2.1	Coleta de agregados.....	58
5.2.2	Estabilidade de agregados em água.....	58
5.2.3	Distribuição de agregados estáveis em água e índices de agregação do solo.....	59
5.2.4	Concentrações de C orgânico e N total no solo associados com as classes de agregados	60
5.2.5	Cálculo do balanço de C	60
5.2.5.1	Parâmetros adicionais para balanço de C dos sistemas de manejo.....	60
5.3	RESULTADOS.....	62
5.3.1	Distribuição de classes de tamanho de agregados e índices agregados do solo.	62
5.3.2	Alterações de C e N associados aos agregados.....	64
5.3.3	Balanço de C influenciado pelas fontes e doses de P.....	67
5.3.4	Quantidade de resíduo cultural para manter o equilíbrio estável do SIPA.....	70
5.4	DISCUSSÃO.....	72
5.4.1	C e N nos agregados e índices de agregação afetados pelo uso de P.....	72
5.4.2	Balanço de C e quantidade de resíduo cultural para manter o equilíbrio estável em decorrência de uso de P.....	74
5.5	CONCLUSÕES.....	77
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem aumentado cada vez mais o interesse da sociedade em identificar estratégias de produção agropecuária que visem o aumento da produção de alimentos integrada à proteção dos recursos naturais. A região Sul do país concentra boa parte da produção de grãos e, nas últimas duas décadas se intensificaram os estudos para adotar sistemas de produção que promovam a diversificação das propriedades visando à sustentabilidade. Entre as possibilidades de diversificação, encontra-se o sistema integrado de produção agropecuária (SIPA), que associado a outras práticas, tais como a rotação de culturas, o plantio direto (PD) e o uso de genótipos melhorados permitem maior sustentabilidade aos agroecossistemas.

Apesar dos benefícios mútuos, a adoção do SIPA necessita de ajustes para obter bons rendimentos com a pecuária sem prejudicar as culturas de grãos em sucessão. O PD preconiza aporte de palhada que mantenha o solo coberto permanentemente para manter-se sustentável a longo prazo e, este é o fator chave do pastoreio que pode limitar a quantidade de biomassa para cobertura de solo e semeadura das lavouras de verão.

O acúmulo de C no solo depende da quantidade, qualidade e frequência das adições de material orgânico, da sua taxa de mineralização, da textura do solo, do clima, entre outros fatores. No entanto, em sistemas agrícolas, o manejo adotado tem grande influência nos estoques de matéria orgânica do solo (MOS), podendo diminuir, manter ou aumentar esses estoques.

Além da MOS, para se obter altos rendimentos agrícolas nos sistemas de produção em solos intemperizados é fundamental a melhoria dos atributos de fertilidade. Após a correção da acidez, o principal fator limitante ao rendimento das culturas tem sido os baixos teores de fósforo (P) disponível no solo. Nesse sentido, o desenvolvimento de estratégias eficientes de fertilização fosfatada é um dos pré-requisitos para a obtenção de altos rendimentos nos sistemas integrados de produção.

Compreender como ocorre a evolução dos estoques de Carbono orgânico total (COT) ao longo do tempo e a sua relação com a adubação fosfatada é de suma importância à definição de sistemas de manejo sustentáveis preservando o solo para as futuras gerações. Dessa forma, o presente trabalho foi realizado para testar a hipótese de que o manejo de áreas sob o sistema integrado de produção agropecuária com fontes mais solúveis de P, afeta a dinâmica da MOS, a agregação do solo e o balanço final de C em decorrência do aporte de resíduos vegetais ao solo.

2. OBJETIVO GERAL

- Compreender o impacto do uso de fontes de fósforo nos compartimentos de Carbono orgânico, na agregação do solo e no balanço de C, manejado em sistema integrado de produção agropecuária, sob plantio direto, tendo como referência a vegetação nativa.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O solo como fonte ou dreno de dióxido de Carbono (CO₂)

Práticas de manejo que adotam o revolvimento do solo favorecem a oxidação da matéria orgânica, resultando na liberação de CO₂ conduzindo o solo a atuar como uma fonte de CO₂ para a atmosfera. Por outro lado, o processo também pode ser inverso: o solo pode contribuir para retirar CO₂ da atmosfera e retardar seu retorno, quando práticas conservacionistas de manejo são utilizadas. Estas práticas, como o PD e SIPA, conduzem ao aumento da MOS, diminuindo a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (BAYER, et al., 2000). Deste modo, a agricultura pode potencialmente atuar como um dreno de CO₂ da atmosfera.

Lal (2004) estimaram que a agricultura em nível mundial pode compensar até 10% das emissões antrópicas de CO₂ com base no ano de 1990. Os SIPAs oferecem novas possibilidades de minimizar impactos ambientais enquanto maximiza a produtividade do ecossistema e serviços agrícolas (SOUSSANA & LEMAIRE, 2014; HAVET et al., 2014). Podem então, resultar em ganhos econômicos e ambientais uma vez que a agricultura conservacionista é potencializada pela diversidade do sistema integrado. Nesse contexto, a quantidade, a qualidade e a frequência dos resíduos vegetais adicionados ao solo no SIPA em PD constituem componentes básicos para o aumento do estoque de C sob uma ampla gama de taxas de decomposição, mineralogia do solo e características do perfil (BAYER et al., 2006b, SÁ et al., 2015).

3.2. Sistema integrado de produção agropecuária em plantio direto

A degradação dos solos agrícolas do sul do país nas décadas de 60, 70 e 80 foi causada pelo rompimento do equilíbrio natural do solo, provocado pelo sistema de preparo convencional, resultando em elevadas perdas de solo devido ao processo erosivo e oxidação da MOS (LAL & PIRCE, 1991). Neste contexto, o PD foi introduzido no Brasil na década de 1970, a fim de reduzir problemas com erosão do solo que assolavam lavouras de todo o país (KOCHHANN & DENARDIN, 2000). O PD é uma forma de manejo conservacionista que envolve todas as técnicas recomendadas para aumentar a produtividade, conservando ou melhorando continuamente o meio ambiente (SIX et al., 2002). Este sistema se baseia em três princípios básicos, os quais são: ausência de revolvimento do solo (restrito a linha de semeadura), cobertura permanente do solo, e rotação de culturas (FAO, 2008). Do ponto de vista da conservação do solo, segundo Mielniczuk (1988), em regiões tropicais e

subtropicais, cuja precipitação pluvial atua sobre a superfície do solo com grande intensidade, o sistema de manejo conservacionista, proporciona sensível redução das perdas de solo.

Atualmente na região Sul 16,7 milhões de ha são destinados para a produção de grãos no verão e na safrinha, e apenas 2,6 milhões de ha são utilizados para o mesmo fim no inverno (CONAB, 2016). Na mesma região a área de pastagens cultivadas, unindo as perenes e anuais, corresponde a cerca de 4,8 milhões de ha (IBGE, 2007), deste modo, uma grande parte da área fica sem gerar renda direta ao produtor, em função das condições climáticas ou da baixa competitividade das culturas hibernais (MORAES et al., 2007). Esse contexto tem estimulado o agricultor a buscar alternativas econômicas durante este período do ano (CARVALHO et al., 2010) e, a formação de pastagens na entressafra torna viável a inserção do animal, que pode ser uma fonte de renda mais segura ao produtor nesse período do ano em que a área fica ociosa (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Daí a importância dos SIPAs, possibilitando a diversificação da produção, considerando-se um sistema integrado onde há alternância temporária ou rotação do cultivo de grãos e pastejo de animais na mesma área, com o passar do tempo (MORAES et al., 2014).

Apesar da maior complexidade, os SIPAs com intensidade moderada de pastejo, podem aumentar a MOS até níveis iguais (ou superiores) à vegetação nativa (SALTON et al., 2011), pois o pastejo estimula o crescimento de raízes, comparativamente ao não pastejo de plantas forrageiras (SOUZA et al., 2009; SHI et al., 2013). O pastejo intenso, por sua vez, resulta em menores quantidades de resíduos aportados ao solo, o que também compromete o acúmulo de C ao solo (ASSMANN et al., 2014). Os benefícios que os SIPAs tem proporcionado são inúmeros, a exemplo: (i) aumento na diversidade de microrganismos; (ii) incremento da atividade biológica (ASSMANN et al., 2014); (iii) maior diversidade da fauna e flora; (iv) aumento das taxas de sequestro de C (SOUZA et al., 2008); (v) maior Controle de erosão e quebra do ciclo de pragas e doenças (MORAES et al., 2002); (vi) incremento no rendimento de grãos devido à ciclagem de nutrientes ser mais eficiente (MARTINS et al., 2014); (vii) maior ganho animal por área, devido à adubação do pasto (MORAES et al., 2012); (viii) diversificação das fontes de renda para o produtor; e (ix) maior lucratividade e rentabilidade da propriedade (SILVA, 2012), indicando que o SIPA no PD pode ser uma prática mais sustentável do ponto de vista técnico, econômico, ambiental e social (FLORES et al., 2007).

3.3. Adubação fosfatada em Sistema integrado de produção agropecuária

No Brasil, em grande extensão dos solos há elevada acidez, conteúdo de Al^{3+} tóxico causando restrição ao desenvolvimento radicular, baixa saturação em bases e deficiência de P. A baixa disponibilidade de P nos agrossistemas brasileiros tem sido considerada um dos principais fatores limitantes a produção das culturas no Brasil (NOVAIS & SMYTH, 1999), apesar do teor de P total no solo na camada 0-20 cm de vários solos variem de 370 a 832 $kg^{-1} ha^{-1}$, apenas 1,5 a 2,5 % do P está disponível para as plantas (SÁ, 2004).

Nos SIPAs a labilidade e/ou disponibilidade de P para as plantas é diretamente afetada pela presença dos animais e pela atividade de pastejo (MORAES et al., 2012). O P da solução é absorvido e incorporado na biomassa vegetal, que será consumida pelo animal, com pequena incorporação na carne e o restante do fósforo retorna ao solo, como resíduo da pastagem e da excreta animal (fezes e urina). A decomposição dos resíduos libera o nutriente para a solução do solo, para a biomassa microbiana e para as formas orgânicas e inorgânicas, de diferentes labilidades (CARVALHO et al., 2010; ANGHINONI et al., 2011).

No mercado brasileiro é possível encontrar fontes de P com características bem distintas. Essas características incluem teor de P, a solubilidade em água e/ou ácido cítrico, granulometria, presença de outros elementos associados e o custo de aquisição. No caso dos fosfatos acidulados (por exemplo, superfosfato triplo – SFT) – que apresenta elevada solubilidade em água + citrato neutro de amônio (CNA), tem sido observado maior resposta da cultura nos primeiros anos de aplicação (WERNER, 1986). Alternativamente, também tem sido empregado na agropecuária brasileira o termofosfato magnésiano (TFM) – insumo com baixíssima solubilidade em água e com elevada solubilidade em ácido cítrico. A resposta das plantas ao TFM, pode em algumas situações ser superior ao SFT, devido à liberação mais lenta do P e a presença dos silicatos que competem com os fosfatos pelos sítios de adsorção de P no solo (BÜLL et al., 1997). O melhor desempenho das fontes de maior solubilidade (superfosfato triplo e termofosfato) em relação às fontes de menor solubilidade (fosfato natural reativo- FNR) (SILVA et al., 2009) faz com que esta última apresente menor liberação de P para as culturas (BOHAC et al., 2007). As fontes que apresentam alta solubilidade em água e em ácido cítrico normalmente resultam em melhores rendimentos e eficiência agrônômica (RESENDE et al., 2006) e consequentemente em respostas mais rápidas em aporte de C.

A antecipação da adubação fosfatada no inverno em sistemas integrados é uma prática recente que possibilita maximizar a eficiência da semeadura das culturas de verão (MATOS, et al., 2005). Pode se tornar uma prática interessante devido a: (i) maior ciclagem de nutrientes que esse sistema proporciona (CARVALHO et al., 2010); (ii) liberação de ácidos

orgânicos devido às excretas dos animais, o que pode favorecer a disponibilização de P de fontes menos solúveis em água (RUSSELE & FRANZLEUBBERS, 2007); (iii) maior disponibilização de P devido a redução da adsorção aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, em função da competição dos ácidos orgânicos com os sítios de adsorção (PAVINATO & ROSOLEM, 2008).

Em solos tropicais, a MOS exerce importante papel, sendo uma das principais características que influencia na adsorção de P. Ocorre uma tendência de menor fixação e, portanto, maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada (RAMOS et al., 2010). A pastagem de longa duração em SIPA sob PD resulta em impactos semelhantes sobre a disponibilidade de P, em comparação com a produção de culturas de verão e no inverno culturas de cobertura. A longo prazo o SIPA aumenta a ciclagem de P garantindo um superávit P, e oferece maiores retornos econômicos do que um sistema sem pastejo (COSTA et al., 2014).

3.4. Dinâmica do C orgânico no solo

Em solos em condição natural, os estoques de C estão estáveis, mantendo-se em um equilíbrio dinâmico (BRUN, 2008). No entanto, com o cultivo agrícola, a taxa de perda de C usualmente é maior do que a de acúmulo. Fatores como distúrbio do solo, degradação da vegetação, fogo, erosão, escassez de nutrientes e déficit hídrico podem levar a uma rápida perda de C do solo (SOUSSANA & LEMAIRE, 2014).

O acompanhamento da sua evolução tem sido tema de vários estudos sobre essa dinâmica (LOVATO et al., 2004, SOUZA et al., 2014; YANG et al., 2015). Diversos modelos foram propostos para descrever as variações no estoque de C no solo ao longo do tempo (HÉNIN & DUPUIS, 1945; VAN VEEN & PAUL, 1981; JANSSEN, 1984). O modelo unicompartimental proposto por Hénin & Dupuis (1945) tem sido usado para estimar o balanço de C (BAYER et al., 2006a; FERREIRA et al., 2012) devido a sua simplicidade e ajuste em inúmeras situações experimentais e de campo. É descrito pela equação: $dC / dt = -K_2.C + K_1.A$, onde dC/dt expressa a taxa de variação temporal do conteúdo de C no solo ($Mg\ ha^{-1}$), K_2 é o coeficiente de perda anual do C no solo, C é o estoque de C ($Mg\ ha^{-1}$), K_1 é a fração do C adicionado anualmente que passará a constituir a MOS e A é a quantidade de C via resíduos adicionado ao solo ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

O parâmetro A representa a produção de biomassa (parte aérea/raiz) de cada sequência de culturas empregada ao longo do ano. No contexto de SIPAs, pastejos mais

intensivos terão, em contrapartida, menores adições anuais de C via resíduo ao solo, enquanto que sistemas de pastejo mais equilibrados, ou sem pastejo, terão maiores adições de C ao solo (ASSMANN et al., 2014). O parâmetro **K₁**, que representa a taxa de conversão do C presente nos resíduos em MOS, varia de acordo com o clima local (MIELNICZUK et al., 2003), é relatado que as raízes apresentam valores de **K₁** mais elevados, o que, possivelmente, seja relacionado à proteção física no interior de agregados (BALESDENT & BALABANE; 1996). O parâmetro **K₂** é afetado principalmente pela textura do solo e seu método de preparo. São encontradas menores taxas de mineralização da MOS em solos argilosos (DALAL & MAYER, 1986), devido a maior proteção física do C por microagregados.

3.5. Compartimentos do C no solo

Do ponto de vista do manejo do solo, Duxbury et al. (1989) sugere diferentes estágios da dinâmica do C, alocando em quatro compartimentos: 1) reservatório ativo ou lábil, representado por compostos orgânicos facilmente oxidáveis derivados de fragmentos de vegetais recentes e, controlado principalmente pela adição de resíduos culturais, pelo clima e é fortemente afetado pelo tipo de manejo do solo; 2) reservatório lentamente oxidável englobando os macroagregados e é controlado pela mineralogia e pelos fatores agronômicos que interferem na agregação e, também afetados pelo manejo; 3) reservatório muito lentamente oxidável constituído pelos microagregados e o fator controlador é a sua estabilidade em água. O sistema de manejo do solo tem pequeno impacto nesse compartimento; 4) reservatório recalcitrante o qual é constituído pelo C associado à fração mineral do solo e controlado pela mineralogia da fração argila, formando complexos organo-minerais e não são influenciados pelos sistemas de manejo do solo.

O caminho do C oriundo dos resíduos vegetais inicia através das frações lábeis em direção as estáveis (TIVET et al., 2013a) e tem implicações no tempo de residência do C atmosférico (BAYER et al., 2004). O C considerado não protegido (MIELNICZUK, 1999) compreende a biomassa microbiana e a fração lábil, associada às partículas de solo com diâmetro superior a 53µm, enquanto o C protegido é aquele associado aos minerais com tamanho inferior a 53 µm. O C não protegido é responsável pela agregação temporária e de acordo com Stürmer et al. (2011), essa fração é facilmente afetada por perturbações do meio, possui um tempo de residência no solo entre 1 a 5 anos e representa cerca de um terço do C orgânico total do solo. O C protegido é responsável pela agregação estável e

pela grande capacidade de troca de cátions do solo, podendo permanecer no solo por até 100 anos (MIELNICZUK, 1999). Esta fração também está relacionada com a quantidade e qualidade de resíduos depositados ao solo e ao tempo de remanescência, que é governado pelo clima, diferenciando-se entre regiões subtropicais e tropicais (BORTOLUZZI & ELTZ, 2000).

3.6. Índices de manejo de C

Os índices de manejo de C do solo tem sido propostos como indicadores precoces e eficientes para avaliar se determinado sistema de produção está direcionando o ecossistema a perder qualidade do solo (QS) (BAYER et al., 2009). O índice de manejo de C (IMC) é um indicador da qualidade do manejo e permite uma comparação entre os sistemas no que diz respeito aos seus efeitos sobre a QS (DIEKOW et al., 2005). Geralmente, os valores do IMC elevados estão associados à alta QS em sistemas de cultivo de grãos (BLAIR et al., 1995). O IMC leva em consideração a labilidade da MOS e busca unir as características quantitativas e qualitativas da MOS, como forma de avaliar o desempenho de um determinado sistema de manejo (BLAIR et al., 1995). O índice de resiliência (IR) é um indicador de qualidade, utilizado para determinar a resiliência do solo, que refere-se à habilidade intrínseca do solo em recuperar-se do estresse aplicado, o qual pode ser de origem antropogênica ou natural, e retornar a um novo equilíbrio semelhante ao estado antecedente (BLANCO & LAL, 2010).

3.7. Proteção e sequestro do C orgânico no solo

A formação dos agregados é o resultado da interação de diversos fatores incluindo o ambiente, o manejo do solo, o sistema radicular das plantas e as propriedades do solo, como a composição mineral, a textura, os íons trocáveis e metais polivalentes, os processos pedogênicos, a qualidade e a quantidade de material orgânico, a concentração de COT e a atividade microbiana (KAY, 1998). Os agregados de solo são constituídos por partículas minerais primárias e agentes de ligação orgânicos. De acordo com a teoria da hierarquização de agregados, os agregados podem ser classificados em cinco grupos quanto ao tamanho: < 2 µm; de 2 a 20 µm; de 20 a 250 µm e de 250 µm a 2 mm; e > 2 mm. Os menores que 250 µm são denominados microagregados e os maiores constituem os macroagregados, sendo cada agregado formado pela união dos agregados da classe que vêm logo abaixo, seguindo, assim, uma ordem hierárquica (TISDALL & OADES, 1982).

Os agentes orgânicos envolvidos na estabilização dos agregados do solo podem ser divididos em três grupos, quanto à sua resistência à ação microbiana: os transientes, os

temporários e os persistentes. Os primeiros referem-se aos polissacarídeos que são rapidamente decompostos pelos microrganismos (ANGERS & MEHUYS, 1989) e, normalmente, estão associados à estabilidade dos macroagregados do solo. Os agentes temporários são constituídos pelas hifas de fungos e raízes, que permanecem no solo por semanas, meses ou até anos, e estão associados aos macroagregados. As raízes podem apresentar ação mecânica, promovendo pressão nos constituintes do solo, e química por meio das exsudações. Os agentes persistentes são os materiais orgânicos humificados, representados pelos ácidos húmicos e fúlvicos, e estão principalmente associados aos óxidos de Fe e Al de baixa cristalinidade, constituindo a parte mais importante na formação de microagregados do solo (TISDALL & OADES, 1982).

As proporções de agregados do solo estáveis em água, muitas vezes mudam rapidamente quando as práticas de manejo e rotações de culturas são modificadas (ANGERS et al., 1992). Assim, a agregação do solo e o acúmulo de COT devido à proteção física são dois fenômenos intrinsecamente ligados (BARRETO et al., 2009). No SIPA assim como no PD, devido à não mobilização do solo, ocorre a manutenção dos agregados e da estrutura, proporcionando com o passar do tempo aumento de macroagregados (FABRIZZI et al., 2009) e acúmulo de COT (SÁ et al., 2001). O sequestro de COT em solos sob SIPA em PD é em grande parte influenciado pela agregação (SIX et al., 2000). Tem sido amplamente observado que o PD com rotações de culturas tem significativamente maior estabilidade de agregados, uma maior proteção do COT (BARRETO et al., 2009), agregados maiores e maior proporção do solo em maiores classes de tamanho de agregados (BARRETO et al., 2009; TIVET, et al., 2013b) em comparação com aqueles em preparo convencional (PC). Segundo Salton et al. (2008) os agregados estáveis de maior diâmetro são encontrados, de forma constante em todo o perfil, em sistemas com pastagem em rotação com soja. Por outro lado, Souza et al. (2010), em estudos na região Sul do Brasil, verificaram a presença de agregados com maior diâmetro na camada superficial do solo em função do tempo e das culturas utilizadas, aveia-preta e azevém, as quais apresentaram sistema radicular superficial.

A avaliação do potencial de sequestro de C no Brasil tem resultado em inúmeras publicações relatando a ocorrência de taxas de $-0,04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (McSHERRY & RITCHI, 2013) até $3,04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (CONANT et al., 2001). Essa amplitude nas taxas de sequestro de C está relacionada principalmente com a quantidade, qualidade e frequência dos resíduos aportados (AMADO et al., 2006; BAYER et al., 2006b e SÁ et al., 2015) e ocorrem principalmente nas camadas mais superficiais até 10 cm (BAYER et al., 2000; SÁ et al., 2001).

4. COMPARTIMENTOS DO CARBONO NO SOLO EM DECORRÊNCIA DO USO DE FÓSFORO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.

RESUMO

Tem sido bem documentado que o uso do fósforo em sistemas integrados de produção proporciona aumento na produção de biomassa resultando em maior ganho na produção animal. A hipótese desse trabalho foi concebida com base em que o tipo de fonte de P utilizada na adubação influencia o comportamento dos reservatórios de C no solo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi quantificar as alterações dos compartimentos de Carbono orgânico no solo, em decorrência da fonte utilizada (super fosfato triplo–SFT e termofosfato magnésiano–TFM) e da quantidade de P (doses de P = 0, 60 e 120 kg ha⁻¹) tendo como referência o solo sob vegetação nativa (VN). O experimento foi realizado em um Cambissolo Háplico argiloso localizado no município de Castro, estado do PR. O delineamento experimental foi o de blocos aleatorizados, em arranjo fatorial (2X3), com quatro repetições. O experimento foi implantado em abril de 2009, constitui-se de 5 tratamentos: (i) Controle – sem aplicação de P; (ii) SFT₆₀ - aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de SFT; (iii) SFT₁₂₀ – aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de SFT; (iv) TFM₆₀ - aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de TFM; (v) TFM₁₂₀ – aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de TFM. Também, foi adicionado como tratamento um solo de VN, adjacente ao experimento, caracterizando-se como referência de um solo não antropizado. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade e realizadas em março de 2013. Os compartimentos de C analisados foram: Carbono orgânico total (COT) na amostra integral e nas frações particulada (COP) e associada aos minerais (COAM); e também o C extraído por água quente (CAQ), o C oxidado por permanganato de potássio (COXP), o C extraído por pirofosfato de sódio (CPIR), o C recalcitrante (Crec), além dos polissacarídeos totais (PT) e lábeis (PL). Entre as camadas amostradas ocorreu o decréscimo de COT e nos compartimentos, nas amostras coletadas nas camadas mais profundas. O estoque de COT foi expressivamente reduzido com a conversão da vegetação nativa para áreas cultivadas, e pelo tempo de utilização de preparo do solo antecedente ao experimento, e resultaram em decréscimos de 26, 22, 22, 25 e 24% com os tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente, na camada de 0-100 cm. Quando comparados os tratamentos com adubação fosfatada (SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀) em relação ao Controle, ocorreu um acréscimo no sequestro de COT na camada de 0 -100 cm, e os estoques de C com o uso da fonte SFT foram superiores nos compartimentos lábeis na camada de 0-100 cm. Os tratamentos com fonte SFT apresentaram maior estoque de COP, CAQ e COXP sendo 22,65 e 22,53; 21,99 e 22,49; 4,98 e 4,85 Mg ha⁻¹, respectivamente, para o SFT₆₀ e SFT₁₂₀, respectivamente na camada de 0-100 cm. Os tratamentos com fonte SFT apresentaram alto índice de labilidade de C (ILC), índice de manejo de C (IMC) e índice de resiliência (IR). Deste modo, a fonte SFT de acordo com os índices de qualidade de C foi superior à fonte TFM, indicando assim um maior potencial em reverter o processo de degradação da qualidade do solo.

Palavras – chave: Fontes de P; frações lábeis de C; frações estáveis de C.

SOIL ORGANIC C POOLS UPON THE USE OF PHOSPHOROUS IN CROP LIVESTOCK INTEGRATION SYSTEM.

SUMMARY

It has been well reported that the use of phosphorous (P) in integrated production systems provide the increase in the biomass production resulting in higher gain in the animal production. The hypothesis of this study was that the use of P sources used in the fertilization influence the behavior of the SOC pools. In this way, the objective of this work was to quantify the alterations in the SOC pools upon the source used (triple superphosphate TSP and magnesium thermophosphate MTP) and the quantity of P (rates 0, 60 and 120 kg ha⁻¹) taking a nearby native vegetation area as a reference. The experiment was performed in a Haplic Cambisol with clayey texture localized in the city of Castro, PR. The experimental design was completely randomized blocks with factorial 2x3 and four replicates. The experiment was established in April 2009 with five treatments: (i) control: without P application; (ii) TSP₆₀: application of 60 kg ha⁻¹ in the form of triple superphosphate (TSP); (iii) TSP₁₂₀: application of 120 kg ha⁻¹ of P in the form of TSP; (iv) MTP₆₀: application of 60 kg ha⁻¹ of P in the form of magnesium thermophosphate (MTP); (v) MTP₁₂₀: application of 120 kg ha⁻¹ of P in the form of MTP. In addition, we used as a reference a nearby native vegetation area. The samples were collected in 2013 in the depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. The SOC pools assessed were total organic carbon (TOC) analysis in the full sample and in the particulate (COP) and mineral associated (COAM), hot water extractable organic carbon (HWEOC), permanganate oxidizable organic carbon (POXC), pyrophosphate oxidizable organic carbon (PIOC), recalcitrant carbon (Crec), and the total polysaccharides (PT) and labile (PL). The TOC and other SOC pools decreased with soil depth. The TOC was reduced with the conversion from native vegetation for crop systems, resulting in decreases of 26, 22, 22, 25 and 24% in the treatments control, TSP₆₀, TSP₁₂₀, MTP₆₀ e MTP₁₂₀, respectively, at the soil layer of 0-100 cm. When we compare the treatments with P fertilization (TSP₆₀, TSP₁₂₀, MTP₆₀ e MTP₁₂₀) regarding the control, there was an increase in the TOC sequestration at the layer of 0-100 cm, and the SOC stocks with TSP source were higher in all labile pools at the same depth. The treatments with TSP presented the highest stock of POC, HWEOC and POXC being 22.65 and 22.53; 21.99 and 22.49; 4.98 and 4.85 Mg ha⁻¹, respectively, for TSP₆₀ and TSP₁₂₀, respectively at the soil layer of 0-100 cm. The treatments with TSP presented high ILC, IMC and IR. In this way, the TSP source according to the SOC quality indexes was better than the TFM source, thus indicating a greater potential to reverse the process of degradation of soil quality.

Key - words: P sources; labile C; stable fractions of C

4.1. INTRODUÇÃO

A maioria dos estudos da MOS concentra-se no COT e N total (NT), todavia, as alterações nesses reservatórios são dificilmente detectáveis em curto prazo. Dessa forma, o declínio ou aumento de C, nas frações da MOS permite a mensuração do grau de preservação dos ecossistemas naturais e os possíveis impactos causados em sistemas agrícolas com diferentes tipos de manejo do solo. A fração lábil da MOS apresenta elevada taxa de decomposição em curto período de permanência no solo, e sua principal função é o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e C aos microrganismos do solo. A fração recalcitrante tem maior permanência no solo, sua principal função é atuar sobre as condições físicas e químicas do solo, além de ser importante no sequestro de C (SILVA & MENDONÇA, 2007). Aproximadamente um quarto da MOS é representado pelos polissacarídeos que são polímeros de açúcar contendo mais de 20 unidades de monossacarídeos. A celulose e o amido são os dois mais abundantes polissacarídeos vegetais (NELSON & COX, 2000).

O fracionamento granulométrico consiste na separação de duas frações orgânicas: COP e o COAM (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992). O COP representa a fração grosseira da MOS cujo tamanho é 53 a 250 μm , caracterizando-se por fragmentos oriundos dos resíduos de plantas e hifas de fungos com estruturas celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física dos agregados (GOLCHIN et al., 1994). O COAM é a fração da MOS associada às frações silte e argila ($< 53\mu\text{m}$), sendo definida como a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (CHRISTENSEN, 1996).

O IMC proposto por Blair et al. (1995), é uma medida relativa das alterações provocadas pelo manejo, quando comparadas a uma situação considerada original. Além disso, a sustentabilidade do uso do solo deve respeitar seu poder de resiliência, o IR do solo refere-se à habilidade intrínseca do solo em recuperar-se de degradação ou do estresse aplicado (BLANCO-CANQUI & LAL, 2010).

A hipótese desse trabalho foi que fontes de P mais solúveis associadas a doses são eficientes para aumentar os estoques de C nos diferentes compartimentos e conseqüentemente proporcionar maior QS. Para isso esse trabalho teve como objetivo quantificar as alterações dos compartimentos de Carbono orgânico no solo, entre a condição nativa e o solo manejado em SIPA, sob plantio direto, em decorrência do uso de fontes e doses de P, em adubação antecipada.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Caracterização do local

O experimento está instalado na Fazenda Capão do Cipó (latitude: 24°51'49"S, longitude: 49°56'61"W e altitude média de 1.020 m), no município de Castro (PR), em um solo classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO argiloso (EMBRAPA, 2006). O clima da região é Cfb, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com ocorrência de geadas frequentes (mesotérmico), verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida, segundo classificação de Köppen (IAPAR, 2014). As temperaturas do ar e precipitações médias no decorrer deste estudo e o histórico local são apresentadas na Figura 1.

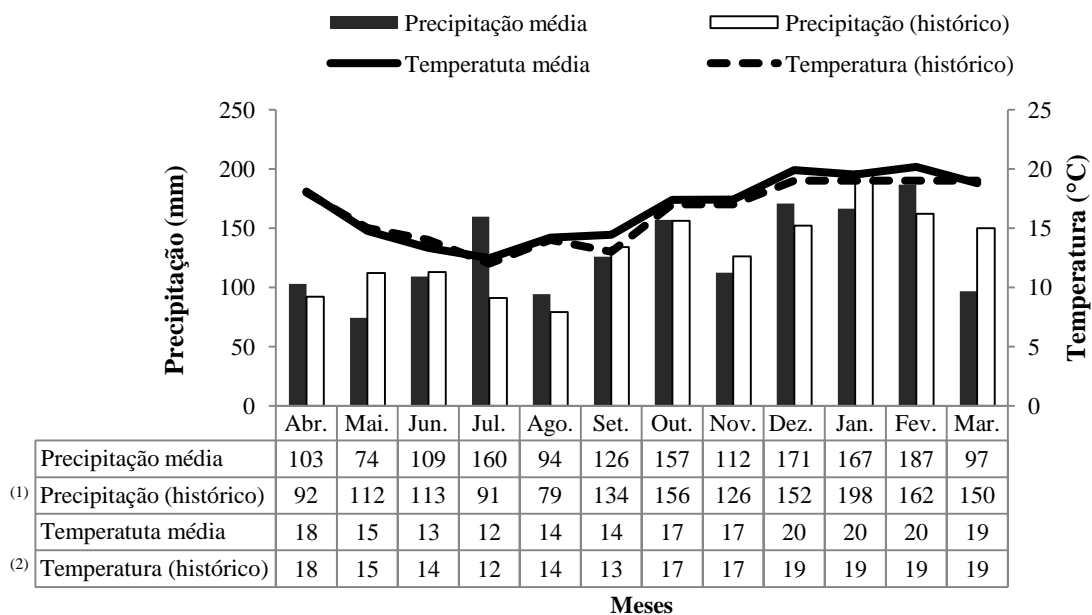


Figura 1. Temperatura e precipitação média referente ao período experimental (abril de 2009 a março de 2013) e os valores históricos. ⁽¹⁾ Média histórica para precipitação, ocorrida na área experimental nos últimos 40 anos. ⁽²⁾ Média histórica para a temperatura do ar, referente à área experimental nos últimos 8 anos.

Fonte: Sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC localizada a 550 m do experimento.

O solo da área experimental apresenta mineralogia, predominando, quartzo, caulinita e gibsitita e, subordinadamente, hematita e goetita. Na fração argila, os minerais caulinita e gibsitita são dominantes e os óxidos de Fe (principalmente hematita e goetita) são menos expressivos (REIFUR, 2011). Na instalação do experimento os resultados dos atributos químicos e granulométricos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados de análises químicas e granulométricas do solo da área experimental, em diferentes camadas, por ocasião da instalação do experimento (abril/2009).

Camada	pH ⁽¹⁾	H+Al	Al	Ca	Mg	K	CTC ⁽²⁾	V ⁽³⁾
--cm--		-----mmol _c dm ⁻³ -----						--%--
0-5	5,3	70,7	0,0	57,3	37,0	0,5	165,6	57,5
5-10	4,7	89,9	0,4	30,4	21,9	0,3	143,0	36,7
10-15	4,5	103,9	0,6	20,1	18,0	0,3	143,0	26,8
15-20	4,5	104,0	0,6	16,9	16,9	0,3	138,8	24,7
20-30	4,5	98,4	0,6	13,2	17,6	0,2	130,2	24,0
		P ⁽⁴⁾	S	COT ⁽⁵⁾	NT ⁽⁶⁾	Argila	Silte	Areia
		-----mg dm ⁻³ -----		-----g dm ⁻³ -----		-----g kg ⁻¹ -----		
0-5		9,0	10,4	47,5	2,9	570	252	178
5-10		4,6	11,4	42,9	1,8	610	218	172
10-15		2,0	13,4	39,1	1,7	620	212	168
15-20		1,0	16,1	36,8	1,4	620	217	163
20-30		2,0	19,6	32,6	1,1	640	214	146

⁽¹⁾ pH em solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹. ⁽²⁾ CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0. ⁽³⁾ V: saturação por bases. ⁽⁴⁾ P disponível por solução de Mehlich-1. ⁽⁵⁾ COT: Carbono orgânico total (combustão seca). ⁽⁶⁾ NT: nitrogênio total. (REIFUR, 2011).

A área vinha sendo manejada sob PD oito anos antes da implantação do experimento (Figura 2), o histórico de sequência de culturas inclui soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e milho (*Zea mays* L.) no verão e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), azevém anual (*Lolium multiflorum*) e trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno. O experimento foi instalado em abril/2009, e a sequência de cultivos desde então foi: aveia preta/milho (2009/2010), azevém anual/soja (2010/2011), aveia preta/milho (2011/2012), azevém anual/soja (2012/2013).

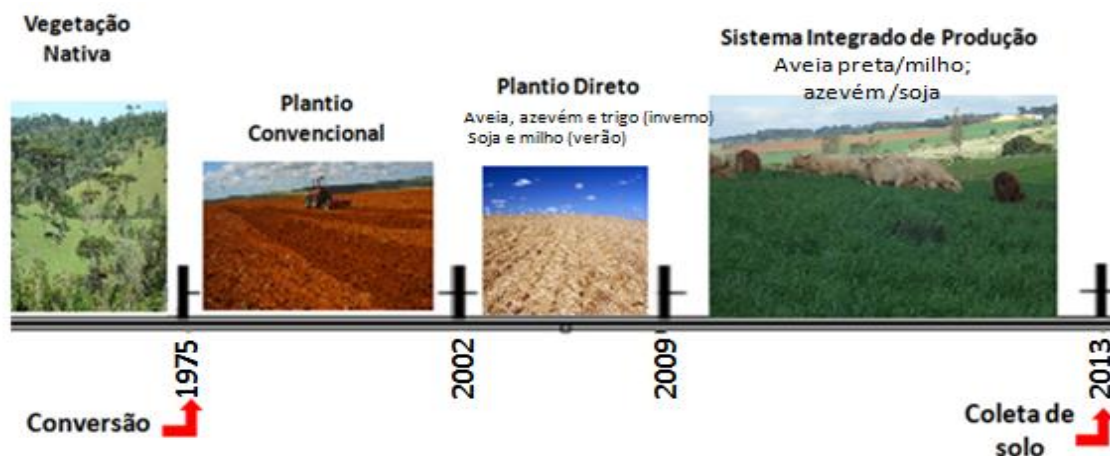


Figura 2 - Cronologia do uso do solo na área experimental

As amostras de solo para realização desse trabalho foram coletadas em um experimento que faz parte do projeto intitulado “Viabilidade Agrônomo-Econômico Ambiental de Fontes e Doses de Fósforo para a Produção Integrada de Sistema Agropecuário nos Campos Gerais do Paraná: Estudo da Nutrição das Plantas”. Esse projeto apresenta um total de 10 tratamentos, nos quais são testadas três fontes de P (SFT, TFM e FNR) e quatro doses (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅), aplicadas por ocasião da semeadura da forrageira de inverno. Entretanto, para esse trabalho foram utilizadas duas fontes (SFT e TFM), as quais apresentaram resultados para os compartimentos de C avaliados, e três doses (0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), totalizando assim cinco tratamentos, além da vegetação nativa.

O desenho experimental foi constituído em blocos aleatorizados, em arranjo fatorial 2x3, cujas fontes de P (SFT e TFM) e as doses de P (0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) são os fatores em estudo, com quatro repetições. O experimento constitui-se de 5 tratamentos: a) Controle – sem aplicação de P (Controle absoluto); b) SFT₆₀ - aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de SFT; c) SFT₁₂₀ – aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de SFT (SFT-granulado: 460, 380 e 130 g kg⁻¹ de P₂O₅ total, P₂O₅ solúvel em água e CaO, respectivamente); d) TFM₆₀ - aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de TFM; e) TFM₁₂₀ – aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de TFM (TFM- pó- 180, 165, 180, 70 e 100 g kg⁻¹ de P₂O₅ total, P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 20 g L⁻¹, CaO, MgO e SiO₂, respectivamente) Também, foi adicionado como tratamento um solo sob vegetação nativa adjacente ao experimento, caracterizando a referência antes do uso e ocupação do solo.

Cada parcela possuía área total e área útil de 425 m² (17 x 25 m) e 273 m² (desprezando-se 2,0 m de bordadura), respectivamente (Figura 3). No período de outono-inverno, a área experimental total (22100 m², contando com os 6 tratamentos que ficaram fora desse trabalho) foi dividida com cerca elétrica em quatro piquetes de iguais dimensões (5525 m², referente a cada bloco) para adoção do método de pastejo rotacionado. Nos anos 2009 até 2011 foram utilizados 15 novilhos das raças Canchim, Brangus e Senepol, com peso vivo médio de 300 kg, equivalente a 4,5 unidades animal (U.A) ha⁻¹, e no ano de 2012 os animais utilizados para o experimento corresponderam a 21 novilhas da raça holandesa com peso médio 250 kg, equivalente a 5,2 UA ha⁻¹. Os animais permaneceram em cada piquete de 4-5 dias com a cultura da aveia preta, totalizando 2 (devido ao deficit hídrico durante o desenvolvimento da cultura) e 3 ciclos de pastejo em 2009 e 2011, respectivamente. Já na cultura do azevém permaneceram de 6-7 dias, totalizando 3 e 5 ciclos de pastejo em 2010 e 2012, respectivamente. Para as duas culturas foram consideradas as alturas de 30 e 15 cm no momento da entrada e saída dos animais, respectivamente, sendo que a altura das plantas foi

medida através do bastão graduado (sward stick), conforme Barthram (1985).

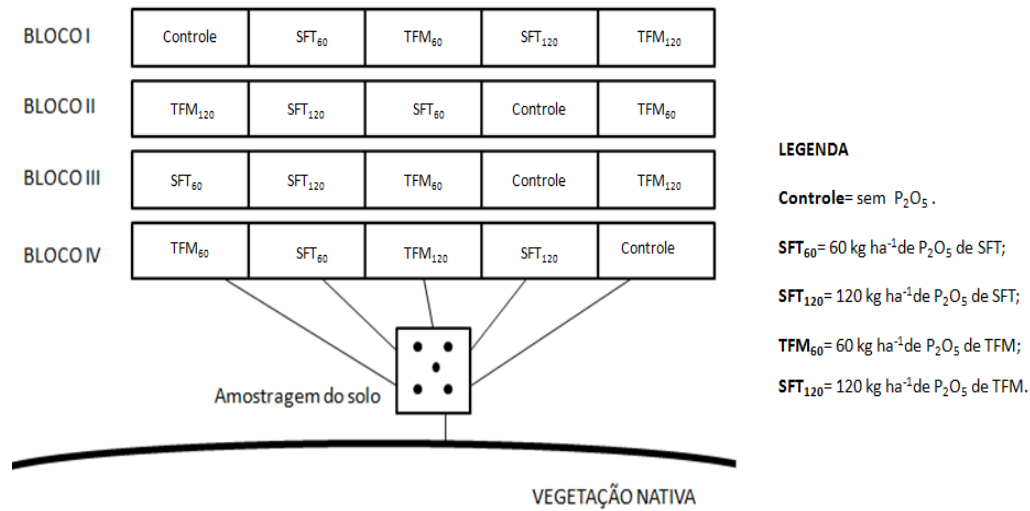


Figura 3. Croqui da distribuição dos tratamentos no experimento.

Os eventos na área experimental do início do experimento até a colheita da cultura da soja (2012/2013) são apresentados de forma resumida na tabela 2.

Tabela 2: Sequência de eventos das culturas em sucessão na área experimental: época de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo da cobertura ou colheita (HARKATIN, 2014).

Cultura	Data de semeadura	Espaçamento entre linhas e densidade de semeadura	Cultivar ou híbrido	Outras atividades	Manejo da cobertura (forragens) e ou colheita (grãos)
Aveia preta (2009)	28/04/2009	0,17 m e 250 sementes m ⁻²	IAPAR-61	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação aos 21 dias após a retirada dos animais da área
Milho (2009/10)	27/09/2009	0,80 m e 5 sementes m ⁻¹	30F53	-	14/04/2010
Azevém anual (2010)	17/04/2010	0,17 m e 450 sementes m ⁻²	FABC-1 e Barjumbo	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação 28 dias após a retirada dos animais da área
Soja (2010/11)	05/11/2010	0,40 m e 16 sementes m ⁻¹	BMX-Apolo	-	30/03/2011
Aveia preta (2011)	04/04/2011	0,17 m e 250 sementes m ⁻²	IAPAR-61	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação aos 21 dias após a retirada dos animais da área
Milho (2011/12)	20/09/2011	0,80 m e 5 sementes m ⁻¹	30F53	-	16/04/2012
Azevém anual (2012)	25/04/2012	0,17 m e 450 sementes m ⁻²	FABC-1 e Barjumbo	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação aos 04 dias após a retirada dos animais da área
Soja (2012/13)	15/11/2012	0,40 m e 16 sementes m ⁻¹	BMX-Apolo	-	05/04/2013

A semeadura da aveia preta (2009 e 2011) foi realizada após a aplicação superficial, em área total, dos fertilizantes fosfatados (para cada um dos tratamentos em questão). Por ocasião da semeadura da aveia preta foram aplicados 61 kg ha^{-1} de N, na forma de uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 - 450 \text{ g kg}^{-1}$ de N] e 59 kg ha^{-1} de K, na forma de cloreto de potássio ($\text{KCl} - 580 \text{ g kg}^{-1}$ de K_2O). A primeira fertilização de cobertura foi realizada aos 18 dias após a emergência (DAE) da aveia preta, empregando-se 60 kg ha^{-1} de N. A segunda fertilização de cobertura foi realizada aos 75 DAE empregando-se a mesma dose de fertilizante utilizado na primeira fertilização de cobertura.

Para a cultura do milho (2009/2010 e 2011/2012) foram aplicados, por ocasião da semeadura, 68 e 73 kg ha^{-1} de N (uréia) e K (cloreto de potássio), respectivamente. Todo fertilizante fosfatado foi aplicado (com exceção do tratamento T1) por ocasião da cultura anterior (aveia preta). A fertilização de cobertura foi realizada aos 15 DAE, quando o milho se encontrava no estágio V4, empregando-se 68 kg ha^{-1} de N, com condições climáticas adequadas para solubilização e disponibilização de N às plantas. O florescimento e a colheita do milho ocorreram aos 63 e 122 DAE.

Na semeadura do azevém (2010 e 2012), foi estabelecido o consórcio entre dois cultivares (Azevém Barjumbo + Azevém ABC1) buscando a otimização (maior período de pastejo) da oferta de forragem. Antes da semeadura, procedeu-se a aplicação dos tratamentos (doses e fontes de fertilizantes fosfatados distribuídos na superfície do solo, em área total). A fertilização por ocasião da semeadura do azevém anual foi realizada a base de 34 e 37 kg ha^{-1} de N (uréia) e K (cloreto de potássio). Esses produtos e doses também foram aplicados por ocasião da fertilização de cobertura, aos 132 DAE.

Para a cultura da soja (2010/2011 e 2012/2013), por ocasião da semeadura foram inoculadas estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (aproximadamente 10^5 bactérias g^{-1} de solo) e aplicados 97 kg ha^{-1} de K na forma de cloreto de potássio.

4.2.2. Amostragem

Em Março de 2013 foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas camadas de: 0-5; 5-10, 10-20; 20-40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm.

As amostras deformadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm foram coletadas em mini-trincheiras de 30X 30 cm, e nas demais camadas foi utilizado um trado holandês, foram amostrados cinco pontos dentro de cada parcela para formar uma amostra composta. Em laboratório foram secas ao ar, homogeneizadas e destorroadas para transpassar a peneira de 2

mm, nestas amostras além dos compartimentos do C, foram determinados os teores de fósforo disponível em solução de Mehlich-1.

As amostras indeformadas para análise de densidade do solo foram coletadas com estrutura preservada (BLAKE & HARTGE, 1986), utilizando-se anéis de aço inoxidável com peso e volume conhecidos, para a determinação da densidade do solo, que posteriormente foi utilizada para calcular o estoque de C (Tabela 3).

Tabela 3. Densidade do solo (Ds) de cada tratamento e para cada camada amostrada, afetada por diferentes fontes e doses de P em SIPA, comparados com a área de referência (vegetação nativa- VN) em um Cambissolo Háplico no município de Castro-PR.

Profundidade (cm)	Profundidade (cm)					
	VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀
	-----Ds (Mg m ⁻³)-----					
0-10	0,95 b	1,13 a	1,12 ab	1,13 a	1,23 a	1,18 a
10-20	1,13 ns	1,1	1,17	1,13	1,11	1,14
20-40	1,03 ns	1,06	1,12	1,04	1,11	1,1
40-60	1,04 ns	0,98	1,1	0,97	1,01	1,02
60-80	1,04 ns	0,99	1,05	0,99	0,97	0,91
80-100	1,09 ns	1,12	1,08	1,07	1,06	1,03

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si; ns, diferença não significativa na linha pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade. VN= vegetação nativa; Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano.

4.2.3. Biomassa total (parte aérea/raízz e esterco+urina) e entrada de C

A biomassa aérea de cada safra foi medida e a biomassa de raízes foi estimada a partir dos estudos anteriores (SÁ et al., 2001, 2014) (Tabela 4). Nas culturas da aveia preta e azevém anual foram avaliadas as quantidades de fitomassa antes e após cada pastejo animal e ainda, por ocasião da dessecação. Todas as avaliações foram realizadas mediante amostragem aleatória, com gaiolas de exclusão (duas gaiolas/parcela). O procedimento para amostragem constituiu-se na escolha, ao acaso, de áreas para alocação das gaiolas dentro de cada parcela. Em cada parcela, procedeu-se amostragem de 0,34 m² na ocasião de entrada e saída dos animais, visando à obtenção das amostras de pré e pós-pastejo, respectivamente, conforme método adaptado de Poli et al. (2008). Subamostras foram retiradas, acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório, onde foram realizados os procedimentos de (i) lavagem com água deionizada; (ii) secagem em estufa a 65°C com circulação forçada de ar até atingir massa constante; (iii) quantificação da MS.

Tabela 4. Adições anuais de resíduo vegetal e C (parte aérea/raiz), influenciadas por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção, até um metro de profundidade em um Cambissolo Háplico.

Ano	Sequência de cultivo		Tratamentos									
			Controle ⁽¹⁾		SFT ₆₀		SFT ₁₂₀		TFM ₆₀		TFM ₁₂₀	
	Inverno	Verão	Resíduo anual	C anual	Resíduo anual	C anual	Resíduo anual	C anual	Resíduo anual	C anual	Resíduo anual	C anual
			-----Mg ha ⁻¹ -----									
09/10	AP ⁽²⁾	ML	21,8	9,8	20,8	9,4	23,0	10,4	23,3	10,5	21,6	9,8
10/11	AZ	SJ	11,5	4,8	13,2	5,5	12,6	5,2	13,6	5,6	13,3	5,5
11/12	AP	ML	22,1	10,0	26,3	11,9	27,0	12,2	26,2	11,8	26,2	11,8
12/13	AZ	SJ	6,4	2,6	9,9	4,1	10,3	4,3	7,9	3,3	9,1	3,8
	TOTAL		61,8	27,2	70,2	30,8	72,9	32,1	70,9	31,2	70,2	30,9
	MÉDIA		15,4	6,8	17,5	7,7	18,2	8,0	17,7	7,8	17,6	7,7

⁽¹⁾ Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano. ⁽²⁾ AP= aveia preta; ML= milho; AZ=azevém e SJ= soja.

A cultura do milho quando se encontrava no estágio R3 (grão leitoso) foi amostrado 1,0 m de plantas por parcela, foram obtidas subamostras de folhas, colmos+inflorescência masculina e espigas, que foram enviadas para o laboratório, preparadas e analisadas de modo similar ao realizado para as amostras de aveia preta e azevém anual. Após a maturação fisiológica do milho (estádio R6), foram colhidas dez linhas centrais por 4,0 m de comprimento, perfazendo uma área de 32 m² por parcela. O milho colhido foi trilhado e procedeu-se a quantificação do rendimento de grãos. Já na soja foi colhido 1,0 m linear de plantas no estágio R6 numa altura de corte de 5 cm do solo. Após, procedeu-se a separação das plantas inteira em folhas, haste e vagem, para que fosse avaliado o acúmulo de biomassa. A soja foi colhida e trilhada para determinação do rendimento. Para cada parcela, foram colhidas seis linhas centrais por 5,0 m de comprimento, perfazendo uma área total de 13,2 m².

A concentração média de C nos resíduos de culturas, medido pelo método de combustão seca utilizando um analisador elementar CN (CN TruSpec, LECO, St. Joseph, MI, EUA) foi de 395, 455, 432 e 408 g kg⁻¹ para a soja, milho, aveia e azevém, respectivamente.

A estimativa de massa seca e C oriundos das excretas animais (esterco+urina), foi baseada em Assmann et al. (2014), que na altura de 20 cm, obteve um total de MS de 0,81 Mg ha⁻¹ e considerou que o C representa 45% da MS das excretas, ou seja, 0,36 Mg ha⁻¹, em 110 dias de pastejo com 905 kg ha⁻¹ de peso vivo (pv). Com isso a equação 1 foi utilizada para cálculo da MS via excretas animais. E o C foi considerado 45% da MS (Tabela 5).

$$MS_{\text{excretas}} = (pv_{\text{experimento}} * 0,81/905) * (DP_{\text{experimento}}/110) \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: MS_{excretas} é a massa seca proveniente do esterco+urina dos animais, $pv_{\text{experimento}}$ diz respeito ao peso vivo utilizado no experimento e $DP_{\text{experimento}}$ são os dias de pastejo.

Tabela 5. Estimativa de massa seca e Carbono provenientes de excretas animais, baseado em Assmann et al. (2014).

Dados estimados	Anos			
	2009	2010	2011	2012
	-----Mg ha ⁻¹ -----			
	-			
Massa seca	0,80	1,39	1,19	2,32
Carbono	0,36	0,63	0,54	1,04

4.2.4. Fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo- FGMOS

O FGMOS foi realizado de acordo com o método descrito por Feller (1994) e adaptado por Sá et al. (2001). O procedimento foi realizado em amostras secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e tamizadas em peneira de 2 mm. O solo em suspensão foi então passado em peneira de 53 µm, e o material retido foi seco à temperatura de 40°C, obtendo-se a fração 53-2000 µm, denominada C orgânico particulado (COP). O material que passou pela peneira foi transferido para uma proveta de 1L e após a completa sedimentação, o sobrenadante foi sifonado e o solo foi seco para a obtenção da fração menor que 53 µm, denominada C orgânico associado aos minerais (COAM).

4.2.5. Compartimentos da matéria orgânica do solo

Os conteúdos de C nas amostras integrais e nas frações COP e COAM obtidas pelo método de fracionamento granulométrico descrito anteriormente, foram determinados pelo método da combustão seca utilizando um determinador elementar de C e N (TruSpec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA).

Na escala de Oxidação do Carbono, foi realizada a determinação dos conteúdos de Carbono lábil dissolvido em água quente, Carbono lábil oxidável por permanganato de potássio e Carbono extraído por pirofosfato de sódio: essas três frações do C foram determinadas em um processo de extração sequencial, no qual 1,5 g de solo foram adicionados a um tubo de ensaio e em seguida foram adicionados, em sequência, extratores com potencial de oxidação de C crescente. O primeiro compartimento de C e mais lábil foi

extraído por água quente, em estufa a 80°C por 16h, de acordo com o método descrito por Ghani et al. (2003), obtendo-se o compartimento de C extraído por água quente (CAQ). Em seguida, na mesma amostra de solo, foi determinado o conteúdo de C extraído por permanganato de potássio, de acordo com a metodologia adaptada de Weil et al. (2003), obtendo-se o compartimento de C oxidável extraído por permanganato de potássio (COXP). Por final, após a extração por permanganato e procedimento de tríplex lavagem, para retirar resíduos de reagente da amostra, foi realizada a extração de C por pirofosfato de sódio (CPIR), de forma análoga ao método de Walkley-Black, com algumas variações através da metodologia adaptada de Defilipo (1981).

A determinação do conteúdo total e lábil de polissacarídeos foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Lowe (1993). Para a determinação de polissacarídeos totais (PT), 0,5 g de solo foi transferido para erlenmeyer de 125 mL, ao qual foram adicionados 4 mL de H₂SO₄ 12 mol L⁻¹. Depois de 2 h de repouso, foram adicionados 92 mL de água destilada para diluição da solução de H₂SO₄ a 0,5 mol L⁻¹. As amostras foram acondicionadas em banho-maria, aonde permaneceram por 2 horas e 30 minutos. Depois de frio, o conteúdo foi filtrado em papel-filtro quantitativo para um erlenmeyer de 125 mL. Desse conteúdo, foi pipetado 1 mL e transferido para um tubo de ensaio e, logo em seguida, foi adicionado 1 mL de solução de fenol a 5%, seguido pela adição de 5 mL de H₂SO₄ concentrado. Em seguida, os tubos de ensaio foram colocados em bandeja com água por 25 min. As soluções tiveram suas absorvâncias medidas em um espectrofotômetro a 490 nm. Para determinação do teor de polissacarídeos lábeis (polissacarídeos menos a celulose), foram seguidos os mesmos procedimentos utilizados para determinação de polissacarídeos totais, exceto o pré-tratamento das amostras com H₂SO₄ 12 mol L⁻¹ com posterior diluição, que foi substituída pela adição direta de H₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ ao erlenmeyer contendo 0,5 g de solo. A conversão dos valores de absorvância em polissacarídeos, em g kg⁻¹, foi realizada a partir de uma curva padrão construída com valores de absorvância e concentrações iniciais conhecidas de glicose.

A análise do Carbono recalcitrante foi realizada através de um método oxidativo, utilizando o peróxido de hidrogênio como agente oxidante (EUSTERHUES et al., 2005; HELFRICH et al., 2007). Os conteúdos de C_{rec} foram determinados pelo método da combustão seca utilizando um determinador elementar de C e N (TruSpec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA).

4.2.6. Estoque de COT

Para o cálculo do estoque de COT, em cada profundidade, foi utilizada a expressão:

$$\text{Est}_C = (\text{COT} \times D_s \times e)/10 \quad (\text{Eq.2})$$

Onde: Est_C é o estoque de Carbono orgânico total em determinada profundidade expresso em Mg ha^{-1} ; COT é o conteúdo de Carbono orgânico total (g kg^{-1}); D_s é a densidade do solo em cada profundidade expressa em Mg m^{-3} ; e representa a espessura da camada considerada expressa em cm. Os estoques de cada compartimento foram estimados até 1 m de profundidade com base na massa equivalente de solo conforme reportado por Ellert & Bettany (1995) (Tabela 3).

4.2.7. Cálculos dos índices

O índice de manejo do C (IMC) foi calculado a partir dos resultados do estoque de C, conforme proposto por Blair et al. (1995). Este índice considera o solo sob vegetação nativa como referência ($\text{IMC}=100$), comparando-o com o solo de área cultivada, e desta forma realizam-se medidas relativas das alterações provocadas pelo manejo do solo.

Para a obtenção do IMC, necessita-se do índice de estoque de C (IEC), (Eq.3)

$$\text{IEC} = \text{COT}_{\text{Trat}} / \text{COT}_{\text{VN}} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde o COT_{Trat} e COT_{VN} referem-se aos estoques de Carbono dos tratamentos e da vegetação nativa, respectivamente.

A labilidade (L) da MOS foi determinada pela seguinte equação (Eq.4)

$$L = \text{Est}_{\text{COP}} / \text{Est}_{\text{COAM}} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde Est_{COP} e Est_{COAM} referem-se aos estoques de Carbono orgânico particulado e Carbono orgânico associado aos minerais, respectivamente.

Em seguida calculou-se o índice de labilidade (IL) (Eq.5):

$$\text{IL} = L_{\text{Trat}} / L_{\text{VN}} \quad (\text{Eq.5})$$

Em que L_{Trat} e L_{VN} referem-se a labilidade dos tratamentos e da vegetação nativa, respectivamente.

O IMC de cada tratamento foi obtido pelo seguinte equação (Eq.6):

$$\text{IMC} = \text{IEC} * \text{IL} * 100 \quad (\text{Eq.6})$$

Onde: IEC e IL referem-se ao índice de estoque de Carbono e índice de labilidade de cada tratamento.

O índice de resiliência (IR) foi calculado para avaliar a taxa de recuperação de COT para diferentes fontes e doses de P. Este índice utiliza VN como limite superior e o Controle como o limite inferior dos níveis de COT (Eq. 7):

$$\text{IR} = (\text{COT}_{\text{Trat}} - \text{COT}_{\text{Cont}}) / (\text{COT}_{\text{VN}} - \text{COT}_{\text{Cont}}) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde, COT_{VN} , COT_{Trat} e COT_{Cont} referem-se ao estoque de C sob VN, sob os tratamentos com adubação fosfatada e sob o Controle, respectivamente.

4.2.8. Análise estatística

Os resultados de conteúdo e estoque de COT, de COT nas frações granulométricas e compartimentos da MOS foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade ($P=0,05$), através do programa R– versão 3.0.2 (R CORE TEAM, 2013).

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Fósforo e Carbono orgânico total influenciados por diferentes fontes e doses de P

O conteúdo de P no início deste experimento (abril de 2009) na camada de 0 a 20 cm era elevado (Tabela 1) e ao longo dos quatro anos a adubação acumulada de 240 e 480 kg ha⁻¹ de P₂O₅ promoveu incremento de P, enquanto na dose 0 kg ha⁻¹ (Controle) ocorreu um decréscimo na concentração de P (Tabela 1 e 6). Na camada de 0-5 cm, o conteúdo de P em resposta aos tratamentos com as maiores doses de P₂O₅ (TFM₁₂₀ e SFT₁₂₀) apresentaram os maiores ganhos em relação às demais camadas. A maior concentração de P foi obtida com os tratamentos com a adubação via SFT na camada de 0-40 cm quando comparados ao Controle, enquanto para a fonte de TFM a dose de 60 kg ha⁻¹ foi superior apenas na camada 0-5 cm e a de 120 kg ha⁻¹ na camada de 0-20 cm.

Tabela 6. Conteúdo de fósforo em mg dm⁻³, influenciado por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, até um metro de profundidade em um Cambissolo Háplico.

Profundidade (cm)	Tratamentos											
	VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀	Fósforo (mg dm ⁻³)					
0-5	5,21	d	4,78	d	12,6	b	13,91	ab	9,17	c	15,46	a
5-10	3,58	c	2,30	d	5,18	a	4,71	b	3,08	cd	5,55	a
10-20	2,57	b	1,82	c	2,67	b	3,27	a	1,57	c	2,65	b
20-40	3,59	a	1,51	d	2,41	bc	2,78	ab	1,66	cd	1,79	cd
40-60	3,76	a	0,47	c	1,39	bc	1,87	b	0,86	bc	0,92	bc
60-80	1,24	a	0,47	b	0,40	b	0,49	b	0,33	b	0,36	b
80-100	0,38	ns	0,28		0,21		0,35		0,26		0,23	

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si; ns, diferença não significativa na linha pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade. VN= vegetação nativa; Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano.

O conteúdo de COT na VN foi significativamente superior na camada de 0-60 cm em relação a todos os tratamentos (Tabela 7). Entre as camadas amostradas, houve um decréscimo de COT com o aumento da profundidade do solo evidenciando a estratificação do solo. Sob a VN, as concentrações de COT na camada de 0-5 cm foram de 76,80 g kg⁻¹ reduzindo para 17,71 g kg⁻¹ em 80-100 cm de profundidade. Nos tratamentos com diferentes fontes e doses de P₂O₅ o conteúdo de COT seguiu a mesma tendência de decréscimo apresentada na VN e também apresentou as maiores concentrações na camada de 0-5 cm.

Tabela 7. Conteúdo e estoque de Carbono orgânico total (COT) no solo, influenciados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, até um metro de profundidade em um Cambissolo Háplico.

Profundidade (cm)	Tratamentos											
	VN		Controle		SFT ₆₀		SFT ₁₂₀		TFM ₆₀		TFM ₁₂₀	
	-----Conteúdo de COT, g Kg ⁻¹ -----											
0-5	76,80	a	50,20	b	51,70	b	51,11	b	50,98	b	50,59	b
5-10	54,33	a	39,82	b	41,49	b	40,76	b	40,14	b	40,24	b
10-20	43,13	a	34,42	b	36,54	b	35,24	bc	34,61	c	34,65	c
20-40	33,43	a	25,73	b	27,41	b	26,64	b	25,86	b	26,18	b
40-60	25,03	a	18,90	b	20,33	b	21,07	b	19,29	b	19,79	b
60-80	21,80	*	15,25		15,28		15,59		15,12		15,41	
80-100	17,71	*	12,65		12,63		13,25		12,86		12,73	
	-----Estoque de COT, Mg ha ⁻¹ -----											
0-5	43,55	a	28,43	b	29,31	b	28,93	b	28,89	b	28,67	b
5-10	30,80	a	22,55	b	23,50	b	23,06	b	22,72	b	22,80	b
10-20	48,70	a	38,85	b	41,25	b	39,78	b	39,08	b	39,15	b
20-40	68,07	a	52,62	b	56,01	b	54,41	b	52,85	b	53,74	b
40-60	50,53	a	39,24	b	42,19	b	43,84	ab	39,98	b	41,23	b
60-80	43,78	*	31,05		31,45		32,05		31,04		31,75	
80-100	37,94	*	27,87		27,57		28,91		27,67		27,81	
Σ 0-100	323,37		240,61		251,29		250,97		242,23		245,14	

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade. VN= vegetação nativa; Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnésiano.

O estoque de COT na camada 0-100 cm foi 251,29; 250,97; 242,23 e 245,14 Mg ha⁻¹ para os tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente. Comparado ao tratamento Controle o ganho foi de 10,68; 10,36; 1,61 e 4,52 Mg ha⁻¹ ou de 4, 4, 1 e 2 % para os tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente, e esse incremento é proveniente principalmente dos compartimentos lábeis de C, o COP foi responsável por cerca de 60% do aumento do COT nos tratamentos com fontes fosfatadas, quando comparados ao Controle, enquanto CAQ aumentou cerca de 20% o COT. Isso demonstra que as fontes estão aportando C nos compartimentos lábeis, o que possibilita não só o maior COT, mas com o passar do tempo maiores aportes em compartimentos mais estáveis de C. O estoque de COT na camada de 0-20 cm representou 38% do estoque total da camada de 0-100 cm para a VN, comparado com 37 % nos tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ (Tabela 7).

4.3.2. Alterações nos compartimentos de C influenciadas pela utilização de diferentes fontes e doses de P

C orgânico particulado (COP) e C orgânico associado aos minerais (COAM)

A camada de 0-5 cm apresenta expressiva influência dos resíduos culturais depositados na superfície e refletiu no estoque de COP de todos os tratamentos (Tabela 8). Na camada de 0-20 cm os tratamentos com fertilização fosfatada via STF promoveram maior estoque de COP em relação aos demais tratamentos, porém, inferior ao encontrado na VN (31,34 Mg ha⁻¹). O estoque de COP na camada de 0-100 cm representou 6,8; 9,0; 9,0; 7,2 e 8,1% do estoque total de C, enquanto essa fração foi responsável por 17,6% do COT na VN. Em contrapartida, o estoque de COAM na mesma camada foi responsável por 92,9; 90,9; 91,1; 92,7; e 91,8% do estoque total de C, nos tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente, sendo que na VN representa 82,4% do COT.

O estoque de C na fração COAM seguiu a mesma tendência da fração lábil na sequência de tratamentos em todas as camadas amostradas, porém as diferenças não foram significativas, por conta da alta recalitrância desse compartimento, o que dificulta mudanças em curto período de tempo, como no presente estudo.

Tabela 8. Conteúdo e estoque de Carbono orgânico total nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS), influenciados por diferentes fontes e doses de P sob sistema integrado de produção agropecuária, até um metro de profundidade comparados com a área de referência (vegetação nativa- VN) em um Cambissolo Háplico.

Prof. (cm)	Tratamentos																							
	VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀	VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀												
	-----Conteúdo de COP (g kg ⁻¹)-----											-----Conteúdo de COAM (g kg ⁻¹)-----												
0-5	29,82	a	11,79	c	14,06	b	12,92	bc	12,35	c	12,37	c	47,43	a	38,42	b	37,52	b	38,40	b	38,52	b	38,25	b
5-10	12,78	a	5,48	c	5,86	bc	7,02	b	5,71	c	5,85	bc	41,65	a	34,34	b	35,59	b	34,50	b	34,51	b	34,32	b
10-20	6,60	a	1,80	d	4,01	b	4,18	b	2,62	c	3,02	c	36,55	a	32,16	b	32,40	b	31,33	b	31,84	b	31,53	b
20-40	3,57	a	0,69	c	1,12	b	0,87	bc	0,66	c	0,86	c	29,86	a	24,85	b	26,44	b	25,76	b	25,14	b	25,26	b
40-60	2,63	a	0,52	d	0,93	b	0,92	b	0,53	d	0,77	c	22,35	a	18,16	b	19,19	b	19,84	b	18,77	b	18,99	b
60-80	3,45	a	0,45	c	0,67	b	0,67	b	0,44	bc	0,73	b	18,33	ns	14,86		14,67		14,87		14,60		14,67	
80-100	2,63	a	0,42	b	0,56	b	0,67	b	0,54	b	0,58	b	15,09	ns	12,41		12,06		12,64		12,51		12,27	
	-----Estoque de COP (Mg ha ⁻¹)-----											-----Estoque de COAM (Mg ha ⁻¹)-----												
0-5	16,63	a	6,68	c	7,97	b	7,29	bc	7,00	bc	7,02	bc	26,90	a	21,76	b	21,26	b	21,75	b	21,82	b	21,66	b
5-10	7,27	a	3,10	c	3,32	bc	3,97	b	3,24	bc	3,29	bc	23,61	a	19,45	b	20,22	b	19,47	b	19,52	b	19,45	b
10-20	7,45	a	2,16	d	4,54	b	4,72	b	2,96	c	3,43	c	41,28	a	36,31	b	36,57	b	35,35	b	35,94	b	35,61	b
Σ 0-20	31,34	a	12,12	d	15,83	b	15,98	b	13,20	c	13,74	c	91,78	a	77,52	b	78,05	b	76,56	b	77,28	b	76,72	b
20-40	7,30	a	1,42	c	2,28	b	1,78	bc	1,36	c	1,76	bc	60,71	a	50,83	b	54,07	b	52,62	b	51,35	b	51,85	b
40-60	7,13	a	1,07	d	1,93	b	1,93	c	1,09	cd	1,60	c	45,05	ns	37,66		39,88		41,23		38,89		39,53	
60-80	5,48	a	0,94	b	1,38	b	1,37	b	0,97	b	1,49	b	36,68	ns	30,26		30,16		30,58		30,02		30,29	
80-100	5,69	a	0,93	b	1,23	b	1,47	b	0,96	b	1,31	b	32,26	ns	27,34		26,38		27,58		26,93		26,75	
Σ 0-100	56,94	a	16,64	c	22,65	b	22,53	b	17,59	c	19,89	bc	266,48	a	223,60	b	228,54	b	228,58	b	224,62	b	225,14	b

COP= Carbono orgânico particulado; COAM= Carbono orgânico associado aos minerais. Letras minúsculas iguais nas linhas, comparando tratamentos não diferem entre si; ns = diferença estatística não significativa pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade. VN= vegetação nativa; Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano.

No entanto, quando comparados os estoques totais de COAM, observou-se ganhos em relação ao Controle de 2% nos tratamentos com adução fosfatada proveniente do SFT, independente da dose, na camada de 0-100 cm. Em contraste o estoque de COAM na VN foi significativamente superior a todos os tratamentos na camada de 0-100 cm (Figura 4).

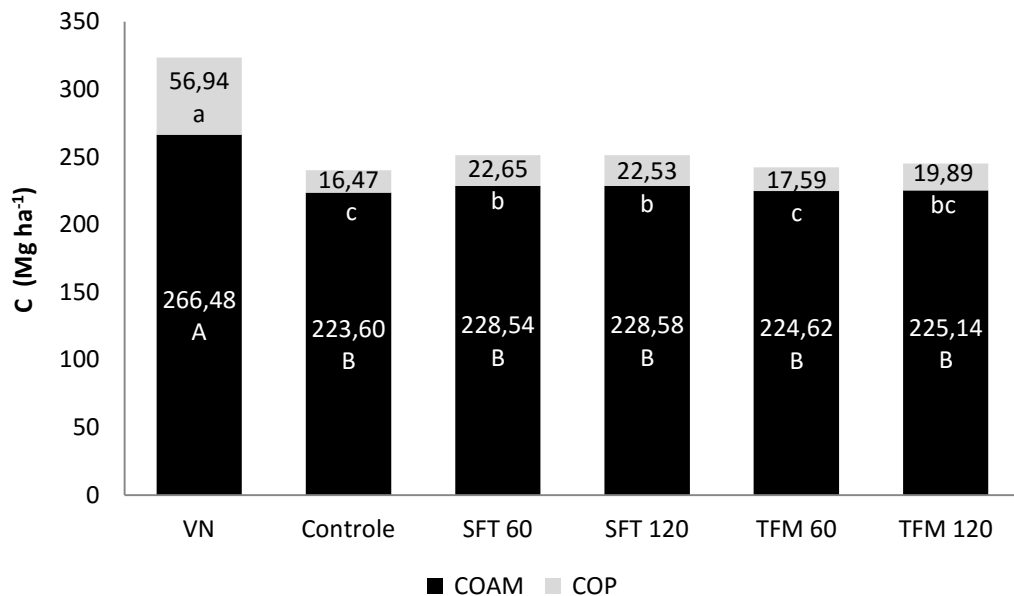


Figura 4. Estoque de Carbono nas frações Carbono orgânico particulado- COP- e Carbono orgânico associado aos minerais (COAM) na camada de 0-100 cm, em SIPA, em um Cambissolo Háplico. Letras maiúsculas (COAM) e minúsculas (COP) iguais, comparando tratamentos que não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade. VN= vegetação nativa; Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnésiano.

C extraído em água quente (CAQ), C oxidado por permanganato (COXP) e C extraído por pirofosfato (CPIR)

O conteúdo de CAQ no solo nos tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀, e TFM₁₂₀ representou em média 2,5% do COT na camada 0-5 cm e reduziu até 1,6% do COT na camada de 80-100 cm de profundidade (Tabela 9).

O conteúdo de CAQ na VN foi significativamente superior aos demais tratamentos até 100 cm de profundidade. Além disso, os tratamentos com SFT foram significativamente superior ao Controle na camada de 0-80 cm, com exceção da camada de 10-20 cm, que assim como a de 80-100 cm não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. O estoque seguiu a mesma tendência, sendo a VN significativamente superior aos tratamentos e os tratamentos com SFT superiores ao Controle. Na camada de 0-100 cm o estoque de CAQ seguiu a tendência de VN > SFT₆₀ e 120 > Controle e TFM₆₀, sendo que o TFM₁₂₀ foi inferior apenas a VN.

Tabela 9. Conteúdo e estoque de Carbono orgânico extraído por água quente (CAQ), Carbono orgânico extraído por permanganato (COXP) e Carbono orgânico extraído por pirofosfato (CPIR), afetados por diferentes fontes e doses de P em SIPA, comparados com a área de referência (vegetação nativa- VN) em um Cambissolo Háplico.

Prof.	TRATAMENTOS																																			
	VN						Cont.						SFT ₆₀						SFT ₁₂₀						TFM ₆₀						TFM ₁₂₀					
(cm)	-----Conteúdo de CAQ (g kg ⁻¹)-----												-----Conteúdo de COXP (g kg ⁻¹)-----												-----Conteúdo de CPIR (g kg ⁻¹)-----											
0-5	3,24	a	0,91	c	1,25	b	1,23	b	1,00	bc	0,99	bc	3,84	a	3,23	e	3,53	b	3,44	c	3,30	de	3,32	d	11,12	a	5,97	c	7,19	b	6,43	bc	6,02	bc	6,08	bc
5-10	2,46	a	0,69	c	0,98	b	0,94	b	0,80	bc	0,80	bc	3,54	a	2,63	b	2,92	b	2,97	b	2,69	b	2,81	b	9,10	a	5,03	c	6,41	b	5,70	b	5,20	c	5,20	c
10-20	1,64	a	0,51	b	0,69	b	0,65	b	0,58	b	0,59	b	2,93	a	2,39	b	2,48	b	2,46	b	2,33	b	2,38	b	7,82	a	3,99	b	5,30	b	5,04	b	4,43	b	4,48	b
20-40	1,10	a	0,30	c	0,54	b	0,50	b	0,45	bc	0,44	bc	2,48	a	2,12	b	2,17	b	2,15	b	2,12	c	2,13	b	6,06	a	3,43	b	4,50	b	4,50	b	3,68	b	3,95	b
40-60	0,78	a	0,26	c	0,38	b	0,39	b	0,30	bc	0,31	bc	2,29	a	1,88	b	1,87	b	1,94	b	1,70	b	1,84	b	5,43	a	2,58	b	3,37	b	3,42	b	3,07	b	3,15	b
60-80	0,59	a	0,21	d	0,30	b	0,30	b	0,24	cd	0,26	bc	2,10	a	1,74	b	1,73	b	1,84	b	1,65	b	1,74	b	4,46	a	1,82	b	2,51	b	2,82	b	2,34	b	2,40	b
80-100	0,45	a	0,15	b	0,21	b	0,19	b	0,17	b	0,17	b	1,91	a	1,66	bc	1,67	bc	1,76	ab	1,53	c	1,64	bc	3,80	*	1,40		2,04		2,31		1,84		1,90	
	-----Estoque de CAQ (Mg ha ⁻¹)-----												-----Estoque de COXP (Mg ha ⁻¹)-----												-----Estoque de CPIR (Mg ha ⁻¹)-----											
0-5	1,84	a	0,51	c	0,71	b	0,70	b	0,56	bc	0,56	bc	2,18	a	1,83	c	2,00	b	1,95	bc	1,87	bc	1,88	bc	6,29	a	3,38	c	4,08	b	3,64	bc	3,40	c	3,45	c
5-10	1,39	a	0,39	c	0,55	b	0,54	b	0,45	bc	0,45	bc	2,00	a	1,49	c	1,66	bc	1,68	b	1,52	bc	1,59	bc	5,13	a	2,85	c	3,63	b	3,22	bc	2,94	c	2,95	c
10-20	1,85	a	0,57	c	0,78	b	0,74	bc	0,66	c	0,67	c	3,30	a	2,70	b	2,80	b	2,78	b	2,63	b	2,69	b	8,82	a	4,50	b	5,99	b	5,66	b	4,99	b	5,06	b
20-40	2,25	a	0,61	c	1,09	b	1,02	b	0,92	bc	0,91	bc	5,05	a	4,33	c	4,43	b	4,39	b	4,33	c	4,37	b	12,31	a	7,02	c	9,24	b	9,07	bc	7,48	c	8,08	bc
40-60	1,65	a	0,54	c	0,79	b	0,81	b	0,62	bc	0,64	bc	4,73	a	3,91	b	3,89	b	4,04	b	3,54	b	3,82	b	11,09	a	5,33	b	7,04	b	7,11	b	6,31	b	6,57	b
60-80	1,23	a	0,44	c	0,61	b	0,63	b	0,50	bc	0,54	bc	4,34	ns	3,58		3,56		3,79		3,41		3,59		9,10	a	3,70	b	5,14	b	5,75	b	4,77	b	4,97	b
80-100	0,99	a	0,32	b	0,45	b	0,42	b	0,36	b	0,39	b	4,20	ns	3,63		3,66		3,85		3,34		3,60		8,49	a	3,12	b	4,46	b	4,96	b	3,92	b	4,15	b
Σ 0-100	11,20	a	3,38	c	4,98	b	4,85	b	4,07	c	4,16	bc	25,80	a	21,47	bc	21,99	b	22,49	b	20,65	c	21,55	bc	61,23	a	29,89	c	39,57	b	39,41	b	33,81	bc	35,22	bc

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si; ns = diferença não significativa pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade. Cont.= Controle, sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀ = 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano.

O conteúdo de COXP apresentou os maiores valores no solo sob VN até a profundidade de 80 cm enquanto que na camada de 80-100 cm o tratamento SFT₁₂₀ foi semelhante à VN. A comparação dos tratamentos demonstrou diferenças expressivas na camada de 0-5 cm na qual o SFT₆₀ (3,53 g kg⁻¹) teve o maior conteúdo. Em todos os tratamentos observou-se a estratificação no perfil com valores variando de 3,23 a 3,84 g kg⁻¹ (Controle e VN, respectivamente) na camada de 0-5 cm, e 1,51 a 1,91 g kg⁻¹ (TFM₆₀ e VN, respectivamente) em 80-100 cm. O estoque de COXP na VN foi superior aos tratamentos na camada de 0-60 cm, enquanto que o estoque de COXP no tratamento Controle foi inferior na camada de 0-5 cm ao SFT₆₀, na de 5-10 cm ao SFT₁₂₀ e na de 20-40 cm foi inferior aos tratamentos com adubação fosfatada via SFT e ao TFM₁₂₀, nas demais camadas foi semelhante aos demais tratamentos com exceção da VN. A ordem do estoque na camada de 0-100 cm seguiu a sequência VN > SFT₆₀ e 120 > TFM₆₀, os tratamentos Controle, TFM₁₂₀ não diferiram da fonte SFT e TFM₆₀.

O conteúdo e o estoque de C extraído por pirofosfato (CPIR) na VN foi superior aos demais tratamentos até a profundidade de 0-80 cm (Tabela 9). Entretanto, na camada de 0-5 cm o SFT₆₀ apresentou-se superior ao Controle e na de 5-10 os tratamentos com fonte SFT foram superiores ao Controle. Entre os tratamentos ocorreram diferenças estatísticas nos estoques de CPIR nas camadas de 0-40 cm, onde o SFT₆₀ foi superior. Na camada de 0-100 cm os tratamentos sob adubação fosfatada proveniente de SFT apresentaram estoques superiores ao Controle, e seguiram a sequência VN > SFT₆₀, SFT₁₂₀ > Controle e os tratamentos com fonte TFM foram similares aos com fonte SFT e ao Controle.

C- Polissacarídeos totais (PT) e C- Polissacarídeos lábeis (PL)

Os PT nos tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ representaram em média 21,4% do COT na camada de 0-5 cm e 47,7% na de 80-100 cm. O conteúdo de CAQ no solo sob VN e diferentes fontes e doses de P₂O₅, foi positivamente correlacionado com o conteúdo de PT sugerindo que os carboidratos solúveis foram os componentes predominantes do CAQ (Figura 5).

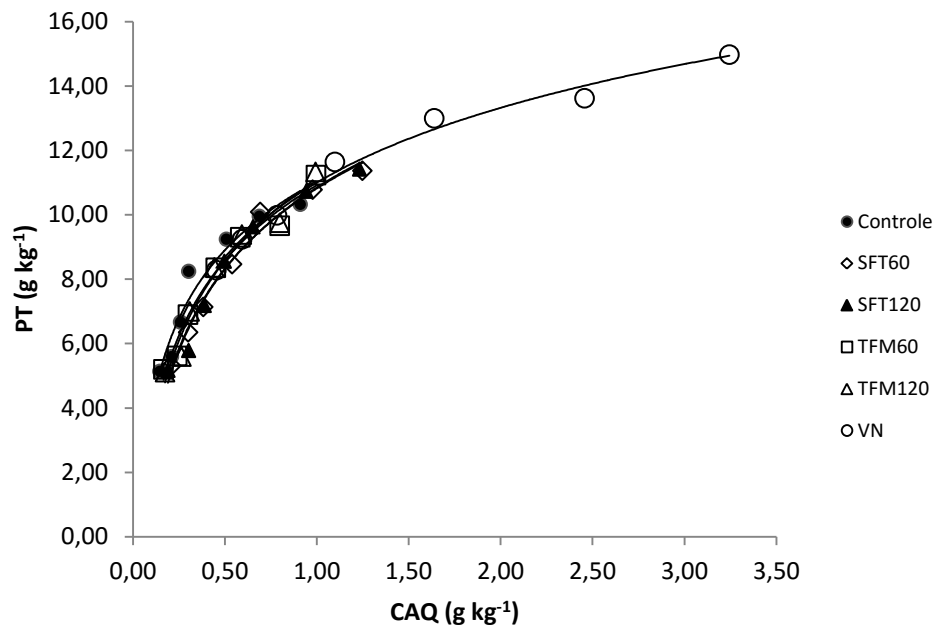


Figura 5. Relação entre o conteúdo de polissacarídeos totais (PT) e Carbono orgânico extraído por água quente nas diferentes camadas do solo para Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀ = 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano; VN= vegetação nativa.

O estoque de polissacarídeos totais na camada de 0-100 cm representou 32% do estoque do COT, indicando que a quantidade de compostos orgânicos oriundos da combinação de culturas adotada no experimento tem grande contribuição de carboidratos (Tabela 10). Por outro lado, a queda no estoque total de PT nos tratamentos em relação ao solo sob VN foi de 33, 28, 30, 32 e 31% para o Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente, na camada de 0-100 cm. Quando comparados os tratamentos na mesma camada, observa-se que SFT₆₀ foi superior ao Controle. Com relação ao ganho no estoque de PT nos tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ em relação ao tratamento Controle foi de 7, 5, 1 e 2 %, respectivamente.

O conteúdo de PL variou conforme o conteúdo de PT e com diferenças estatisticamente significativas entre a VN e os tratamentos na camada de 0-100 cm. Na comparação do estoque de PL da VN com os tratamentos na mesma camada constatou-se o decréscimo de 33, 24, 27, 28 e 27 % para o Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente. Em relação ao Controle o estoque de PL aumentou em 13, 9, 7 e 8 % respectivamente para os tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀. O estoque de PL representou cerca de 82 % do PT e 26 % do COT, indicando que nesse estágio, o COT está estreitamente relacionado com as formas lábeis.

Tabela 10. Conteúdo e estoque de polissacarídeos totais (PT), e lábeis (PL), afetados por diferentes fontes e doses de P em SIPA, comparados com a área de referência (vegetação nativa- VN), até um metro de profundidade, em um Cambissolo Háplico.

Prof.	Tratamentos																							
	VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀	VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀												
(cm)	-----Conteúdo de PT (g kg ⁻¹)-----						-----Conteúdo de PL (g kg ⁻¹)-----																	
0-5	14,97	a	10,32	c	11,37	bc	11,42	b	11,23	bc	11,33	bc	11,57	a	9,17	c	10,27	b	10,45	b	10,05	b	10,15	b
5-10	13,62	a	9,95	c	10,78	b	10,73	bc	9,66	c	9,74	c	10,49	a	8,05	b	9,56	b	9,40	b	8,53	b	8,53	b
10-20	12,99	a	9,24	b	10,09	b	9,63	b	9,30	b	9,39	b	9,93	a	7,45	c	8,52	b	8,16	bc	7,92	bc	8,03	bc
20-40	11,64	a	8,24	b	8,46	b	8,56	b	8,35	b	8,36	b	9,07	a	6,22	b	6,74	b	6,57	b	6,55	b	6,66	b
40-60	9,98	a	6,67	b	7,14	b	7,18	b	6,90	b	7,00	b	8,20	a	5,12	b	5,96	b	5,89	b	5,82	b	5,74	b
60-80	9,24	a	5,59	b	6,35	b	5,78	b	5,62	b	5,60	b	7,25	a	4,42	b	5,15	b	4,73	b	4,56	b	4,73	b
80-100	8,28	a	5,14	b	5,31	b	5,17	b	5,20	b	5,11	b	6,64	a	4,17	b	4,54	b	4,27	b	4,41	b	4,38	b
	-----Estoque de PT (Mg ha ⁻¹)-----						-----Estoque de PL (Mg ha ⁻¹)-----																	
0-5	8,48	a	5,85	c	6,44	bc	6,46	b	6,36	bc	6,41	bc	6,55	a	5,20	c	5,82	b	5,92	b	5,70	bc	5,75	b
5-10	7,71	a	5,64	b	6,11	b	6,09	b	5,48	b	5,51	b	5,94	a	4,56	c	5,41	b	5,33	b	4,82	c	4,83	c
10-20	14,67	a	10,44	b	11,40	b	10,86	b	10,49	b	10,57	b	11,21	a	8,42	c	9,61	b	9,26	bc	8,95	c	9,05	bc
20-40	23,72	a	16,86	b	17,30	b	17,49	b	17,07	b	17,13	b	18,54	a	12,70	b	13,75	b	13,48	b	13,41	b	13,53	b
40-60	20,42	a	13,85	b	14,78	b	14,83	b	14,30	b	14,48	b	16,81	a	10,53	c	12,38	b	12,23	b	12,09	bc	11,92	bc
60-80	18,76	a	11,45	b	12,94	b	11,91	b	11,57	b	11,50	b	14,81	a	8,93	c	10,57	b	9,70	bc	9,35	bc	9,68	bc
80-100	18,09	a	11,30	b	11,58	b	11,20	b	11,20	b	10,18	b	14,59	a	9,13	b	9,88	b	9,07	b	9,49	b	9,58	b
Σ 0-100	111,84	a	75,39	c	80,54	b	78,83	bc	76,47	bc	76,78	bc	88,45	a	59,48	c	67,42	b	65,00	bc	63,82	bc	64,35	bc

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade. Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀ = 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano.

C recalcitrante (Crec)

Alterações no Crec foram constatadas entre os tratamentos e a VN apenas para a camada de 0-10 cm. O conteúdo de Crec da VN na camada de 0-5 cm foi semelhante ao tratamento com adubação fosfatada proveniente de SFT na dose de 120 g kg⁻¹ de P₂O₅, e na camada 5-10 cm a VN foi superior a todos os tratamentos (Tabela 11).

O estoque de Crec apresentou diferenças nas camadas superficiais, no qual a VN foi superior aos tratamentos na camada de 0-10 cm, com exceção do SFT₁₂₀ na camada de 0-5 cm. Os estoques de Crec na camada de 0-100 cm nos tratamentos decresceram em relação ao encontrado na VN, em 10, 8, 12 e 5% para Controle, SFT₆₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente. O compartimento Crec representou cerca de 17% do COT na camada de 0-100 cm.

Tabela 11. Conteúdo e estoque de Carbono recalcitrante (Crec), afetados por diferentes fontes e doses de P em sistema integrado de produção agropecuária, comparados com a área de referência (vegetação nativa), até um metro de profundidade em um Cambissolo Háplico.

Profundidade (cm)	Tratamentos					
	<u>VN</u>	<u>Controle</u>	<u>SFT₆₀</u>	<u>SFT₁₂₀</u>	<u>TFM₆₀</u>	<u>TFM₁₂₀</u>
	-----Conteúdo de Crec, (g Kg ⁻¹)-----					
0-5	5,32 a	4,14 bc	4,38 b	4,74 ab	4,07 bc	3,40 c
5-10	5,23 a	3,61 c	3,90 b	4,36 b	3,29 c	3,35 c
10-20	4,37 ns	3,52	3,80	4,30	3,56	3,63
20-40	4,04 ns	3,91	3,78	4,48	3,72	4,06
40-60	4,11 ns	3,97	4,00	4,50	3,85	4,16
60-80	4,16 ns	3,79	3,91	4,82	3,85	4,29
80-100	4,24 ns	3,76	4,06	4,75	3,87	4,17
	-----Estoque de Crec, (Mg ha ⁻¹)-----					
0-5	3,01 a	2,35 bc	2,47 b	2,66 ab	2,29 bc	1,92 c
5-10	2,95 a	2,04 bc	2,21 bc	2,44 b	1,86 c	1,89 c
10-20	4,94 ns	3,87	4,29	4,78	4,01	4,11
20-40	8,13 ns	7,96	7,66	8,93	7,57	8,25
40-60	8,35 ns	8,18	8,22	9,24	7,92	8,58
60-80	8,43 ns	7,73	7,92	9,65	7,83	8,79
80-100	9,14 ns	8,30	8,76	10,06	8,22	9,09
0-100	44,95 ns	40,54	41,53	47,76	39,69	42,64

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si; ns: diferença entre tratamentos não significativa pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade. VN= Vegetação nativa; Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀ = 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano.

4.3.3. Índices de manejo do Carbono orgânico no solo afetados pela adubação fosfatada

O índice de labilidade de C (ILC) foi superior quando se utilizou o SFT em relação ao TFM (Tabela 12), na camada superficial de 0-5 cm o maior valor de ILC foi constatado com o

tratamento SFT₆₀. Observou-se diferença no ILC entre os tratamentos na camada de 0-80 cm, na qual os tratamentos com fonte SFT apresentaram-se superiores na maioria das profundidades, e o Controle foi inferior. Na camada de 0-100 cm o ILC variou de 0,35 e 0,47, para os tratamentos Controle e SFT₆₀ e 120, respectivamente (Tabela 12). Quanto ao índice de estoque do C (IEC) não houve diferença estatística entre os tratamentos em nenhuma das acamadas amostradas, e os valores variaram de 0,75 (Controle e TFM₆₀ e 120) a 0,78 (SFT₆₀ e 120) na camada de 0-100 cm.

Tabela 12. Índice de labilidade (ILC), índice de estoque (IEC) e índice de manejo de Carbono (IMC), em função de diferentes fontes e doses de P em SIPA, em um Cambissolo Háplico.

Profundidade (cm)	Tratamentos				
	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀
	-----Índice de labilidade de C-----				
0-5	0,50 c	0,61 a	0,54 b	0,52 bc	0,52 bc
5-10	0,52 b	0,53 b	0,66 a	0,54 b	0,55 b
10-20	0,36 c	0,69 a	0,74 a	0,54 b	0,53 b
20-40	0,23 c	0,35 a	0,28 b	0,22 c	0,28 b
40-60	0,23 c	0,40 a	0,38 ab	0,24 c	0,33 b
60-80	0,16 c	0,23 ab	0,26 a	0,21 bc	0,26 a
80-100	0,19 *	0,26	0,30	0,25	0,26
0-100	0,35 c	0,47 a	0,47 a	0,39 bc	0,41 b
	-----Índice de estoque de C-----				
0-5	0,65 *	0,67	0,66	0,66	0,65
5-10	0,73 *	0,76	0,75	0,74	0,73
10-20	0,80 *	0,85	0,82	0,80	0,80
20-40	0,77 *	0,82	0,80	0,78	0,77
40-60	0,78 *	0,83	0,87	0,79	0,78
60-80	0,79 *	0,79	0,80	0,75	0,79
80-100	0,89 *	0,86	0,90	0,86	0,89
0-100	0,75 *	0,78	0,78	0,75	0,75
	-----Índice de manejo de C-----				
0-5	32,41 b	40,83 a	36,03 b	34,44 b	34,49 b
5-10	37,95 b	40,75 b	49,64 a	39,76 b	40,71 b
10-20	28,44 c	58,20 a	60,36 a	43,16 b	42,87 b
20-40	17,98 cd	28,87 a	22,50 b	17,09 d	22,23 bc
40-60	18,15 c	33,20 a	33,32 a	18,68 c	27,22 b
60-80	12,61 c	18,55 ab	20,80 a	15,42 b	19,76 a
80-100	17,10 *	22,79	27,24	21,50	23,66
0-100	26,25 c	36,52 a	36,48 a	29,04 bc	31,34 b

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si; ns: diferença entre tratamentos não significativa pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade. Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀ = 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnésiano.

O índice de manejo de C (IMC) foi superior nos tratamentos SFT₆₀ e 120, na camada de 0-80 cm quando comparados ao Controle e a fonte TFM. O IMC na camada de 0-100 cm variou de 26,25 a 36,52, entre os tratamentos Controle e SFT₆₀, respectivamente (Tabela 12). A ausência de adubação fosfatada resultou em perda da qualidade do COT, decrescendo em 39, 39, 11 e 19% em comparação com os tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente.

O índice de resiliência (IR) aumentou de 0,02 no tratamento TFM₆₀ para 0,13 nos tratamentos SFT₆₀ e 120 na camada de 0-100 cm, indicando que a entrada de C via biomassa com os tratamentos pode restaurar o COT perdido com a conversão da VN. Os tratamentos com uso de SFT mostraram-se mais eficazes do que os com uso do TFM. A estreita relação entre o estoque de COT com o IR, indica que o aumento no COT melhora a qualidade do solo.

4.4. DISCUSSÃO

4.4.1. Fósforo no solo afetado por fontes e doses

A maior concentração de P na camada superficial de 0-5 cm (Tabela 6) foi proveniente das fontes e doses de P distribuídas em superfície, além das adições de esterco + urina animal (HAYNES & WILIAMS, 1993). Como revisado por Taboada et al. (2011), o pastejo altera a ciclagem de P, transformando nutrientes ligados a planta em nutrientes que retornam para o solo após o pastejo dos animais via fezes e urina, reforçando a atividade microbiana. Outra explicação é uma maior redistribuição desse elemento pelas raízes das plantas no PD porque não há o revolvimento do solo e após a morte das plantas as raízes ao decomporem liberam o P em camadas mais profundas (SÁ, 2004). Desta forma é importante a escolha das culturas que compõem a rotação, visando uma rotação de raízes com distribuição diferenciada de P no perfil do solo.

A disponibilidade de P para as plantas nos SIPAs é diretamente afetada pela presença dos animais e pela atividade de pastejo (MORAES et al., 2012), sendo que o movimento dos animais (comportamento) pode influenciar a distribuição espacial de excrementos neste sistema (DAMIAN, 2012). Assim, os animais são conhecidos como agentes aceleradores da ciclagem de nutrientes (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). O pastejo rotacionado é uma prática eficaz para aumentar a eficiência de utilização da pastagem e melhorar a distribuição espacial das excretas depositadas, reduzindo, assim, a heterogeneidade de nutrientes e propriedades do solo (FRANZLUEBBERS et al., 2014).

Mesmo em solo com níveis elevados de P no início do experimento, foi constatado o aumento do conteúdo de P (CARVALHO et al., 2010) com pastejo. Outros estudos que avaliaram a ciclagem de P em áreas pastejadas por bovinos, ovelhas e cervos tem mostrado aumento da disponibilidade de P para as plantas em solos com resíduo da pastagem associado ao excreta animal (esterco +urina) (KAYSER & ISSELSTEIN, 2005). De acordo com Oloya & Logan (1980), a ciclagem de resíduos (vegetais e animais) contínua nas camadas superficiais do solo, reduzem as reações de adsorção, isso associado às frequentes adubações via fertilizantes tornam-se os principais fatores responsáveis pelo aumento nas concentrações de P a longo prazo em condições de PD. A importância disso em SIPA pode ser explicada pela influência direta de P disponível no crescimento radicular (ANGHINONI & BARBER, 1980).

4.4.2. Alterações nos compartimentos de C em resposta ao uso de P

A conversão da VN resultou em decréscimos de 26, 22, 22, 25 e 24% nos estoques de COT sob os tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente, na camada de 0-100 cm (Tabela 7), corroborando com os reportados por Davidson e Ackerman (1993). Estes estimaram que a conversão de floresta nativa para áreas cultivadas resultou na queda de 20 a 30% dos estoques de COT originais. Em outra situação (Canadá) Van Den Bygaart et al. (2003) relataram o decréscimo de 24% nos estoques de COT quando a floresta nativa foi convertida para áreas cultivadas. No Brasil (Rio Grande do Sul), Tornquist et al. (2009) relataram um declínio de 44-50% do COT na conversão para em sistemas agrícolas.

Alterações em curto prazo nos estoques de C são pouco reportadas, principalmente em solos argilosos. Nesse estudo não foram observadas diferenças nos estoques de COT em função do manejo adotado e das fontes e doses de P, o experimento a curto prazo pode não ter fornecido tempo suficiente para os tratamentos expressarem seus efeitos sobre os estoques de COT, semelhante aos resultados obtidos por Silva et al. (2014), em experimento de médio prazo no Rio Grande do Sul. Os incrementos no conteúdo e no estoque de COT foram maiores na camada superficial de 0–5 cm em relação à camada de 5–10 cm, em razão do não revolvimento do solo ocorre o acúmulo na camada superficial. Esses dados corroboram com os de Santos et al. (2009), que analisaram seis experimentos em SIPAs no Rio Grande do Sul, em Latossolo Vermelho distrófico típico. Os autores verificaram que em todos os SIPAs ocorreu acúmulo de COT nas camadas superficiais do solo, ocorrendo decréscimo dos teores e estoques de COT em profundidade, refletindo a contribuição dos resíduos e a maior concentração de raízes (CONCEIÇÃO et al., 2005; SALTON, 2005; SILVA et al., 2011b)

responsável por até 80% do acréscimo na fração lábil de Carbono do solo (MAZZILLI et al., 2015). Resultados semelhantes foram reportados por Salton et al. (2011) em áreas de SIPA na região de Campo Grande, Dourados e Maracaju – MS e por Silva et al. (2011a) em áreas de SIPA no Cerrado após quatro e oito anos de implantação. Os autores atribuem esta ocorrência ao maior aporte de resíduo em superfície e ao revolvimento restrito a linha de semeadura.

O estoque de C na camada de 20-100 cm no presente trabalho foi responsável por 62% na VN, e 63% nos demais tratamentos (Tabela 7) do COT armazenado. Soussana & Lemaire (2014) observaram que o COT abaixo de 30 cm no perfil pode ser responsável por mais de 50% do COT armazenado no solo. O tempo de residência do C nas camadas mais profundas do solo é maior do que dentro das camadas superficiais, e isso é atribuído: (i) ao menor acúmulo de matéria orgânica lábil, (ii) a baixa atividade microbiana, e (iii) os sítios de ligação para a proteção de matéria orgânica nos argilo-minerais não estão saturados (SOUSSANA & LEMAIRE, 2014).

Os efeitos do pastejo incluem a estimulação da produção de perfilhos e de raízes e ao longo do período de pastejo moderado há um maior acúmulo de matéria seca (MORAES et al., 2014). Trabalho realizado por Souza et al. (2008) demonstraram que as intensidades de pastejo influenciam a quantidade total de resíduos orgânicos adicionados ao solo e a entrada de C no sistema, uma vez que há relação direta entre a altura do pasto e a massa de pastagem da parte aérea. Da mesma forma, a intensidade de pastejo tem influenciado a massa de raízes inversamente proporcional à altura do pasto (SOUZA et al., 2008). Nicoloso et al. (2008) constataram aumento da produção de resíduos em pastagens de azevém (*Lolium multiflorum*) + aveia preta (*Avena sativa*), após um intervalo de pastejo de 28 dias durante o inverno, e cultivo de milho durante o verão, resultando em acúmulo de COT em um Latossolo Vermelho distrófico, no Rio Grande do Sul. Por outro lado, a elevada frequência de pastejo (intervalo de 14 dias) e de soja (*Glycine max*) durante o verão após quatro anos de SIPA, provocou queda no estoque de COT devido à baixa adição de resíduo.

No presente estudo constatou-se redução na porcentagem de COP em relação ao COT conforme o aumento da profundidade de amostragem. Variou de 23 a 38 % na camada de 0-5 cm e 3 a 15% na camada 80-100 cm (Tabela 8). Bayer et al. (2001, 2004) e Diekow (2003) também reportaram essa redução dos estoques de COP, variando de 5 até 34% de participação na camada de 0-2,5 cm do solo até de 3 a 16% na camada de 2,5-7,5 cm de profundidade. A menor participação da fração particulada nas camadas subsuperficiais é dependente da adição de resíduos vegetais, isso ocorre devido à alta dependência do aporte de C via resíduos vegetais da parte aérea e raízes, para a manutenção desta fração. O acúmulo de C nesta fração

é fundamental para o sistema solo, porque libera compostos orgânicos para a solução do solo (CHRISTENSEN, 2000), os quais podem estar envolvidos no processo de agregação e na disponibilidade de nutrientes para as plantas.

O COP é considerado como uma fração relativamente sensível, e geralmente é relatado como um indicador de mudanças devido às práticas de manejo (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992; SALTON et al, 2011). Os resultados obtidos no presente estudo reforçam a sensibilidade desta fração na detecção de alterações impostas pelo uso agrícola do solo, conforme já relatado em outros trabalhos (SÁ et al., 2009). Segundo Rossi et al. (2012) em sistemas onde ocorre o maior aporte de biomassa, o acúmulo de Carbono ocorre preferencialmente na matéria orgânica particulada. Souza et al. (2008) avaliaram o estoque de Carbono orgânico em um latossolo vermelho distroférico sob SIPA, submetido por cinco anos a diferentes intensidades de pastejo no inverno e monocultura de soja no verão, e encontraram redução significativa no estoque de Carbono orgânico particulado na área com maior intensidade de pastejo, contudo, sem alterações nos estoques de Carbono orgânico total. Para os autores a manutenção dos estoques totais deve-se à proteção física da matéria orgânica em solos argilosos, como o do presente estudo.

Em contrapartida, os estoques de Carbono orgânico associado aos minerais (COAM), são dependentes da transferência de C do COP e do grau de proteção coloidal exercida pelas superfícies minerais (CHRISTENSEN, 1996). Quanto maior o tempo de residência do COP no interior dos agregados, maior a probabilidade de que este C presente na fração particulada venha a ser incorporado à fração associada a minerais (JASTROW, 1996).

Os estoques de COT do presente estudo são compostos em média por 90 % de COAM (Tabela 8) e corroboram com os reportados por Bayer et al. (2004), que encontraram participação dessa fração em 80% do estoque de COT. Assim como relatado em outros estudos (BAYER et al., 2001, CONCEIÇÃO et al., 2005), nesse estudo essa fração não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, por conta do curto prazo do experimento, apenas 4 anos, corroborando com os resultados encontrados por Bayer et al. (2004), no qual reportaram baixa sensibilidade dessa fração ao manejo em curto período, devido a sua ciclagem mais lenta, a interação com a fração mineral do solo e a formação de compostos organominerais, num processo de estabilização química (CHRISTENSEN, 1996) e recalcitrância bioquímica (BAYER, 1996).

O COAM na área com VN representou 62, 77 e 85% de participação no COT quando nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm respectivamente (Tabela 8). Resultados semelhantes foram encontrados por Salton (2005), que verificaram de maneira geral, valores entre 77 % e

93 % do COT correspondendo à fração associada aos minerais do solo. Nicoloso (2005) em estudo em áreas de SIPA no Rio Grande do Sul, também verificou o aumento da participação do COAM em profundidade, dessa forma, se existe elevada participação do COAM no COT, significa que na área está ocorrendo grande estabilização do C e provavelmente diminuição da emissão de C. Como a formação de COAM é resultado da decomposição de COP (CHAN et al., 2001) devido à sua associação com a fração argila, a tendência é que esta fração ocorra em camadas mais profundas após sua associação com a superfície dos minerais, principalmente em solos com alto teor de argila, como ocorre no presente trabalho. Além disso, o sistema radicular das gramíneas forrageiras pode ter liberado mais material orgânico, por rizodeposição, nesta camada, com consequente formação de COAM.

Escala de oxidação do Carbono orgânico no solo

As formas de C extraídas por água quente, permanganato e pirofosfato consistem em importantes indicadores de qualidade do solo por possuírem alta correlação com a atividade microbológica do solo e serem altamente sensíveis a mudanças causadas pelo manejo do solo (CULMAN et al., 2012).

O estoque de CAQ representa a maior parte do C ligado à biomassa microbiana e foi maior nos tratamentos com adubação fosfatada via SFT, indicando que é o componente principal do fluxo contínuo de C (Tabela 9). O aumento neste compartimento indica condições favoráveis para o aumento da atividade microbiana do solo, o que proporciona o suporte para a transferência de C lábeis para formas mais estáveis (TIVET et al., 2013a).

O teor CAQ diminuiu com o aumento da profundidade no perfil do solo, demonstrando que a estratificação no perfil do solo é um processo natural (Tabela 9). Embora este fato tenha sido bem relatado em PD (FRANZLUEBBERS, 2002; SÁ et al., 2009), o efeito é ainda mais acentuado em SIPAs porque os excretas animais (esterco+urina) são facilmente oxidados e são utilizados como uma fonte de energia para a atividade da comunidade microbiana. A atividade microbiana do solo estimula um processo de mineralização contínua da matéria orgânica (BALESDENT et al., 1998).

O COXP faz parte da fração com alta instabilidade e é influenciado pelos sistemas de manejo que fornecem material orgânico ao solo (BAYER et al., 2002). Apesar de o teor de COT (0–5 cm) apresentar redução média de 57%, em comparação ao da VN (Tabela 7), verificou-se a redução para 12% no teor de COXP, corroborando com Silva et al. (2011a) que em SIPA com 8 anos o COT reduziu em 45%, enquanto o COXP decresceu em 16% (Tabela 9). Blair et al. (1995), ao avaliar solos da Austrália e do Brasil, constataram que o cultivo de

trigo em rotação com leguminosas e cana-de-açúcar resultou em maior redução do COXP, em comparação a observada para o COT, sugerindo o uso do COXP como um indicador sensível da dinâmica do C no sistema.

O C extraído pelo pirofosfato de sódio (CPIR) representa o C associado com as formas ativas de Fe e Al. No presente estudo o estoque de CPIR representou em média 15% dos estoques de COT na camada de 0-100 cm, o que demonstra um potencial do solo estudado em funcionar como um dissipador para COT que poderia estar relacionado com a formação de complexos com as formas ativas de Fe e Al. Erich et al. (2012) relataram que CPIR provavelmente representa o material que foi sorvido quimicamente a superfície do solo e protegido da decomposição devido a esta sorção.

Polissacarídeos totais e lábeis

Os polissacarídeos totais e lábeis representaram em média 32 e 26 % do COT, respectivamente, na camada de 0-100 cm (Tabela 10). Os resultados descritos por OADES (1978) constataram que os polissacarídeos representam cerca de um quarto da matéria orgânica no solo. Martins (2008) verificou que a quantidade de Carbono dos PT representou em média, 23% do COT. Por sua vez, o PT foi constituído em 79-84% por PL (Tabela 10). Esses resultados indicam grande participação de polissacarídeos de cadeias não-celulósicas no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Martins (2008), em que o PL representou 81–90% do PT.

Os polissacarídeos são fortemente adsorvidos por argilas caulínicas no solo (PARFITT & GREENLAND, 1970) e essa adsorção pode ocorrer tanto nas superfícies dos minerais quanto em espaços interlamelares dos minerais. Os polissacarídeos são ligados às argilas por pontes de hidrogênio formadas entre os grupos OH dos polissacarídeos e átomos de oxigênio da fase sólida do solo (KOHL & TAYLOR, 1961). Íons, como Fe^{+3} , Al^{+3} , Sr^{+2} , Ca^{+2} , Mg^{+2} e Na^{+} , participam da adsorção de polissacarídeos às argilas (EDWARDS & BREMNER, 1967).

Carbono recalcitrante

O aumento de formas de C mais recalcitrante na camada superficial é altamente influenciado pela presença de material em estágio inicial de decomposição em áreas de PD, a agregação e a redução da decomposição, que possibilitam a proteção do C lábil, o qual se processa humificando progressivamente e possibilita a formação de formas recalcitrantes de C. Os resíduos vegetais provenientes deste estudo são ricos em lignina (DIAS et al., 2010),

precursor químico da humina, ácidos húmicos e outros compostos recalcitrantes (SANTOS & CAMARGO, 1999), o que contribui para explicar o conteúdo de Crec. As frações de Crec são as menos responsivas a alterações no uso do solo, mas apresentam os maiores tempos médios de residência no solo (ROVIRA & VALLEJO, 2002), o que possibilitaria maior estocagem desses elementos no ecossistema.

4.4.3. Índices do C orgânico no solo

As maiores alterações no estudo foram observadas no índice de labilidade do C (ILC). Os valores de IMC inferiores a 100 são indicativos negativos das práticas de manejo sobre a MOS e a QS (BLAIR et al., 1995; DE BONA, 2005). Todos os tratamentos em todas as profundidades avaliadas, apresentaram IMC inferiores a condição original (VN), evidenciando um efeito negativo no Carbono do solo (Tabela 12), mostrando que os sistemas avaliados a curto prazo, ainda não foram eficientes na recuperação do C perdido durante os anos de preparo do solo anteriormente a implantação do experimento. Estes resultados corroboram com os obtidos por Souza et al. (2009), que analisaram o IMC em SIPA submetido a diferentes alturas de pastejo (10, 20 e 40 cm), no Rio Grande do Sul, e observaram que nas alturas de pastejo de 40 e 20 cm os IMC foram semelhantes a referência (100 e 107), porém na maior intensidade de pastejo (10 cm) esse índice foi inferior (65), o que mostra o efeito da intensidade do pastejo. Salton (2005) apresentou resultados discrepantes ao presente estudo, estudando a matéria orgânica e agregação do solo em rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical em Latossolo Vermelho Distroférico no município de Dourados – MS, verificou valores de IMC superiores nos sistemas com a presença de pastagem, com valores de IMC de 137 para sistema de pastagem permanente (*Brachiaria decumbens*) e 104 para SIPA (soja-braquiária), os quais superaram a área de referência e os sistemas apenas com lavouras anuais com IMC de 82 (PD) e 71 (SPC), ressaltando que a pastagem utilizada foi braquiária sendo uma espécie com elevada capacidade de produção de fitomassa.

4.5. CONCLUSÕES

O estoque de COT reduziu expressivamente com a conversão da vegetação nativa para áreas cultivadas, levando em consideração que a área foi convertida em meados de 1975 para PC, e passou por um longo período sendo manejada nesse sistema. O uso de P associado ao SIPA em curto prazo não foi suficiente para recuperar o COT perdido. Quando comparados os tratamentos com adubação fosfatada (SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀) em relação ao Controle, ocorreu um acréscimo no sequestro de COT na camada de 0 -100 cm, e os tratamentos com adubação fosfatada proveniente da fonte SFT mostraram tendência de superioridade, no entanto essas diferenças não foram comprovadas estatisticamente, pois o experimento a curto prazo pode não ter fornecido tempo suficiente para os tratamentos expressarem seus efeitos sobre os estoques de COT.

Na vegetação nativa constataram-se conteúdos e estoques superiores na camada de 0-100 cm nos compartimentos do Carbono orgânico no solo (COP, COAM, CAQ, COXP, CPIR, PT, PL), com exceção do Crec. Os compartimentos de C tiveram maior acréscimo com o P via SFT em relação ao TFM. Sendo que os compartimentos lábeis (COP, CAQ, COXP), foram mais sensíveis na detecção dessas diferenças.

Os tratamentos com SFT na camada de 0-100 cm apresentaram maior ILC, IMC e IR do que os com o TFM, mostrando-se mais eficientes do que os tratamentos com TFM.

5. BALANÇO DE C EM CLASSES DE AGREGADOS, EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA EM RESPOSTA AO USO DE FÓSFORO .

RESUMO

A agregação do solo tem efeito importante na ciclagem do Carbono do solo, no desenvolvimento radicular e na resistência do solo à erosão, constituindo um dos mecanismos importantes para proteger e sequestrar o Carbono no solo. A hipótese desse trabalho foi concebida com base em que a fonte solúvel de P em água associada a doses é mais eficiente para aumentar o C orgânico no solo na fase inicial de implantação do sistema integrado de produção. O objetivo deste trabalho foi avançar no entendimento do balanço de C em classes de agregados do solo, visando obter a quantidade mínima de C via palha para manter o sistema em equilíbrio nas respectivas classes, afetada pelo uso de fontes (super fosfato triplo – SFT e termofosfato magnesiano –TFM) e doses (0, 60, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) de P. O experimento foi realizado em um Cambissolo Háplico argiloso no município de Castro, PR. O delineamento experimental foi o de blocos aleatorizados, em arranjo fatorial (2X3), com quatro repetições. O experimento foi implantado em abril de 2009 e constituiu-se de 5 tratamentos: (i) Controle – sem aplicação de P; (ii) aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de super fosfato triplo - SFT₆₀; (iii) aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de super fosfato triplo - SFT₁₂₀; (iv) - aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de termofosfato magnesiano - TFM₆₀; (v) aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de termofosfato magnesiano - TFM₁₂₀. Foi adicionado como tratamento o solo sob vegetação nativa adjacente, ao experimento, para constituir-se como a referência. O solo foi coletado em março de 2013 nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 cm e separado em sete classes de agregados, nas quais foram analisados o conteúdo e o estoque de Carbono orgânico total (COT), para elaborar o balanço de C e obter a quantidade mínima de resíduos culturais para manter o equilíbrio. A fonte solúvel (SFT) proporcionou maior conteúdo e estoque de C na classe 8-19 mm de agregados na camada de 0-5 cm em relação ao Controle, e este superior nas classes de meso e microagregados. Na mesma camada constatou-se acréscimo no tamanho de agregados, em relação ao Controle em 23, 22, 18 e 15 %, para SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente. O acúmulo de COT em resposta a adubação fosfatada ocorreu principalmente, nos macroagregados extra-grandes (8-19 mm) e nos microagregados embora não tenha diferido entre o STF e TFM. O estoque de COT na fração 8-19 mm foi superior às demais classes de agregados e o tratamento SFT₆₀ resultou no maior ganho na profundidade de 0-20 cm. A taxa de sequestro de C estimada pelo modelo unicompartimental na classe de 2-19 mm foi de 0,62, 0,91, 0,94, 0,90 e 0,89 Mg ha⁻¹ e decrescendo até atingir 0,03, 0,03, 0,03, 0,02 e 0,03 Mg ha⁻¹ na classe de 0,053- 0,25 mm. A soma das taxas de sequestro de C em cada classe de agregados resultou na taxa de sequestro de 0,82, 1,06, 1,14, 1,09 e 1,06 Mg ha⁻¹, para os tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente, na camada de 0-20 cm. A quantidade mínima de palhada estimada para manter os tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ em equilíbrio estável variou de 6,98, 8,17, 7,93, 7,98 e 8,03 Mg ha⁻¹ a 0,32, 0,21, 0,27, 0,19 e 0,23 Mg ha⁻¹, nas classes 2-19 e 0,25-0,053 mm, respectivamente.

Palavras – chave: Estabilidade de agregados em água, sequestro de C, resíduos culturais

CARBON BALANCE IN SOIL AGGREGATES CLASSES IN FUNCTION OF PHOSPHORUS FERTILIZATION IN INTEGRATED CROP LIVESTOCK SYSTEMS.

SUMMARY

Soil aggregation plays a key role in soil C cycling, roots development and soil resistance against erosion, being one of the most important mechanisms to protect and sequester C in soils. It was hypothesized that water soluble sources of P associated with doses would be more efficient in promote C accumulation in soils in the initial phases of crop livestock integrated systems. The aims of this study were promote an advance in the knowledge of C ballance in soil aggregates classes and understand the minimum C input via straw to keep the equilibrium of the system as affected by P sources (Triple superphosphate – TPS and Magnesian thermophosphate – MTP) and doses (0, 60, 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅). The experiment was developed in a clay Dystrudept (Soil taxonomy classification) in the municipality of Castro, PR, in 2009 and was composed by 5 treatments: (i) Control – without P fertilization; (ii) fertilization with 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in STF form - STF₆₀; (iii) fertilization with 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in TPS form - TPS₁₂₀; (iv) - fertilization with 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in MTP form - MTP₆₀; (v) fertilization with 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in MTP form - MTP₁₂₀, it was arranged in a factorial (2x3) complete block design, with 4 repetitions. Soil blocks were collected in march of 2013 in 0-5, 5-10, 10-20 cm depths, the soil of a native forest closer to the experiment was also sampled and used as native vegetation reference. The blocks were separated in 7 classes of aggregates, in with were analysed total organic C (COT). The soluble P source (TPS) promoted higher contents and stocks of C in 8-19 mm aggregates classes in 0-5 cm soil layer compared to control. The treatments TPS₆₀, TPS₁₂₀, MTP₆₀ and MTP₁₂₀ promoted aggregates 23, 22, 18 e 15 % bigger than control. The COT accumulation in the P fertilized plots occurred mainly in 8-19 mm aggregates and microaggregates, but don't differ in STF and MTP treatments. The COT stock was higher in 8-19 mm aggregates compared to the other classes and the treatment TPS₆₀ result in higher COT stock in 0-20 cm depth. The C sequestration rate estimated by the unicompartimental model in 2-19 mm aggregates class was 0.62, 0.91, 0.94, 0.90 and 0.89 Mg ha⁻¹ and it decrease until 0.03, 0.03, 0.03, 0.02 and 0.03 Mg ha⁻¹ in 0,053- 0,25 mm class. The sum of the C sequestration rates in all the aggregates classes results in 0.82, 1.06, 1.14, 1.09 and 1.06 Mg ha⁻¹, to the treatments Control, TPS₆₀, TPS₁₂₀ MTP₆₀ and MTP₁₂₀, respectively in 0-20 cm depth. The minimum quantity of straw estimated to keep the equilibrium of the system in the treatments Control, TPS₆₀, TPS₁₂₀, MTP₆₀ and MTP₁₂₀ varied between 6.98, 8.17, 7.93, 7.98 and 8.03 Mg ha⁻¹ to 0, 32, 0.21, 0.27, 0.19 and 0.23 Mg ha⁻¹, in 2-19 and 0,25-0,053 mm aggregates classes, respectively.

Key – Words: Water stable aggregates, C sequestration, crop residues

5.1. INTRODUÇÃO

A adoção de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs) associado ao plantio direto (PD) torna-se uma alternativa importante para reduzir o impacto da exploração agropecuária e mitigar as emissões de gases de efeito estufa (LAL, 2007). O acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo com o passar dos anos reflete diretamente na conversão de C para o solo, porque cria um fluxo contínuo de C em direção aos compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) (SÁ et al., 2001; SÁ et al., 2006).

O acúmulo da MOS devido à proteção física ocorre pela influência da agregação durante a formação dos agregados que atuam como barreiras entre os microorganismos. Rozane et al. (2010) observaram que a influência da MOS na agregação é um processo dinâmico em que os efeitos benéficos estão associados à atividade microbiana.

A agregação tem efeito importante na ciclagem do C do solo, no desenvolvimento radicular e na resistência do solo à erosão (KAY, 1998) e é um dos mecanismos importantes para proteger e sequestrar C (FELLER & BEARE, 1997; TIVET et al., 2013b; BOENI et al., 2014). As proporções de agregados estáveis em água muitas vezes mudam rapidamente quando as práticas de manejo são modificadas (ANGERS et al., 1992). A relação positiva entre COT e a estabilidade de agregados do solo tem sido relatada como um indicador de práticas sustentáveis de manejo. (TISDALL & OADES, 1982; BRIEDIS et al, 2012; TIVET et al., 2013b).

As raízes vivas ou em estágio de decomposição juntamente com os resíduos culturais em decomposição atuam como fonte de energia para o desenvolvimento da microbiota do solo. Esses organismos por sua vez são capazes de liberar quantidades consideráveis de polissacarídeos, os quais são altamente eficazes na agregação do solo (OADES, 1984). Blainiski et al. (2012) citam que o suprimento contínuo de restos culturais fornece substrato e energia para a atividade microbiana do solo, possibilitando a formação de agregados mais estáveis. Outro fator atuante na agregação em solos são as argilas, os óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio (DUFRANC et al., 2004). No SIPA, ocorre a manutenção dos agregados e da estrutura, devido à não mobilização do solo e, com o passar do tempo, incremento na quantidade de macroagregados (FABRIZZI et al., 2009), e no acúmulo de COT (SÁ et al., 2001).

O sequestro de Carbono consiste na transformação do CO₂ atmosférico em acumulações de C no solo (LAL, 2004). Do ponto de vista agrícola, o solo torna-se fonte de CO₂ para a atmosfera quando as perdas por oxidação são maiores do que as adições de

Carbono na forma de palhada (SÁ et al., 2001). O balanço no solo é positivo, quando as entradas de C são superiores as saídas na forma de CO₂ resultantes da oxidação pela microbiota.

A avaliação do potencial de sequestro de C no Brasil revela enorme amplitude nas taxas anuais variando de -0,04 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (McSHERRY & RITCHIE, 2013) até 3,04 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (CONANT et al., 2001). Essa amplitude está relacionada principalmente com a quantidade, qualidade e frequência dos resíduos aportados (BAYER et al., 2006b; AMADO et al., 2006 e SÁ et al., 2015) e ocorrem principalmente nas camadas mais superficiais até 10 cm (BAYER et al., 2000; SÁ, 2001). Sá (2004) ressalta que o plantio direto atinge a consolidação do sistema ao redor de 20 anos. No entanto, em SIPAs, os efeitos na QS ocorrem em menor tempo conforme Silva et al. (2011a). Esses autores reportaram que após oito anos de SIPA na região do Cerrado a QS foi similar a 23 anos de PD.

O uso de modelos matemáticos para simular a dinâmica do C tem proporcionado expressivos avanços no entendimento das etapas de transformação do C. A complexidade dos modelos varia desde uma abordagem simplificada e unicompartmental como a proposta de Hênin & Dupuis (1945) aos modelos multicompartimentais propostos por Van Veen & Paul (1981), Janssen (1984) e Parton et al. (1987). Alguns autores têm utilizado modelos mais simplificados para entender as transformações na MOS provocadas por sistemas de culturas e preparo (BAYER et al., 2006a).

Assim sendo, o uso alternado ao longo do ano entre pecuária e lavoura em plantio direto é potencializado pela diversidade do sistema integrado. Criam-se novas rotas de ciclagem de nutrientes e novos processos ecossistêmicos emergem (ANGHINONI et al., 2013).

A adubação fosfatada, pode alterar os mecanismos de flocculação, formação e estabilização de macro e microagregados. Contudo, estudos relacionados à esse assunto ainda são escassos. A hipótese desse trabalho foi concebida com base em que a fonte solúvel de P associada a doses é mais eficiente para aumentar o C orgânico no solo na fase inicial de implantação do sistema integrado de produção proporcionando o balanço positivo de C. Neste estudo foram avaliados o conteúdo e o estoque de COT nas classes de agregados do solo em resposta ao uso de fontes e doses de P, visando estimar o balanço de C e a quantidade mínima de palha necessária para manter o sistema em equilíbrio.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

No item 4.2 referente ao Material e métodos do capítulo anterior, foi descrita a localização, a caracterização da área experimental, o delineamento experimental, os tratamentos, os aportes de C, as análises granulométricas e mineralógicas, o cálculo de estoque de C, e a análise estatística empregados. Nesse capítulo serão descritos os métodos referentes a separação das classes de agregados e o método para a elaboração do balanço de Carbono.

5.2.1. Coleta de agregados

As amostras de solo foram coletadas em março de 2013, retirando um bloco indeformado de dimensões de 15 x 30 cm com auxílio de espátulas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Cada bloco foi envolvido por filme plástico, identificado e encaminhado para o laboratório. O bloco de solo foi rompido delicadamente com os dedos nas linhas de fraqueza (BARRETO et al., 2009) e passado em uma peneira de 19 mm, e acondicionados em bandejas de isopor para a manutenção da umidade.

5.2.2. Estabilidade de agregados em água

Neste processo (Figura 6) as classes de agregados foram separadas por peneiramento úmido baseado em Yoder modificado por Castro Filho et al. (1998), constituído de uma sequência de 7 peneiras (8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,053 mm). Três sub-amostras de 100 g, foram umedecidas simultaneamente por ascensão capilar por 10 minutos, colocando-as em um papel filtro no topo da peneira de 8 mm, uma sub- amostra em cada um dos três conjuntos de peneiras.

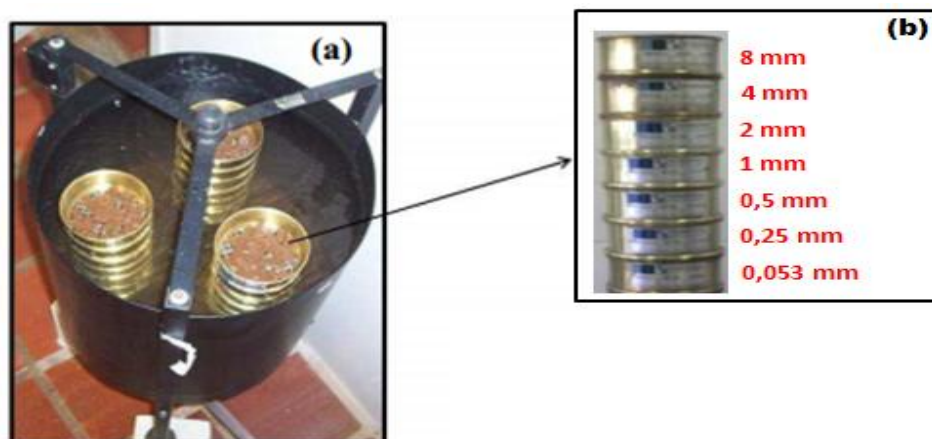


Figura 6- Detalhe do procedimento de tamisamento a úmido utilizando Yoder modificado por Castro Filho et al. (1998) (a); peneiras de 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,053 mm (b).

O volume de água no reservatório foi ajustado até o nível de molhamento do papel filtro visando o umedecimento dos agregados por capilaridade. Após o umedecimento dos agregados o papel filtro foi removido e o processo de peneiramento úmido conduzido através da agitação vertical, com 30 oscilações por minuto, durante um período de 15 minutos. No final, cada classe de agregado estável em água foi passada para um recipiente plástico e secada à temperatura de 40°C. Foi utilizada a seguinte classificação: macroagregados (2-4 a 8-19 mm), mesoagregados (0,25-0,5 a 1-2 mm) e microagregados (0,053-0,25 mm).

5.2.3. Distribuição de agregados estáveis em água e índices de agregação do solo.

O estado de agregação do solo é expresso, por índices de agregação que caracterizam os diferentes tamanhos de agregados que compõem o solo: Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Diâmetro Médio Geométrico (DMG). O DMP é uma estimativa da quantidade relativa de solo em cada classe de agregados e é expresso em milímetros. O DMG mostra o tamanho mais frequente dos agregados e é também expresso em milímetros (CASTRO FILHO et al., 1998).

O Diâmetro Médio Ponderado dos agregados (KEMPER & ROSENAU, 1986):

$$DMP = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (\text{Eq.8})$$

Onde, w_i = proporção de cada classe de agregados em relação ao total; x_i = diâmetro médio de cada classe de agregados.

O Diâmetro Médio Geométrico dos agregados (KEMPER & ROSENAU, 1986):

$$DMG = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \log x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde w_i = peso de agregados (g) dentro de uma classe de agregados de diâmetro médio x_i .

5.2.4. Concentrações de C orgânico e N total do solo associado com as classes de agregados.

As sub-amostras de solo de cada classe de tamanho dos agregados foram finamente moídas para a determinação do COT e NT associados ao agregado pelo método de combustão seca usando um analisador elementar CN (CN TruSpec, LECO, St. Joseph, EUA).

5.2.5. Cálculo do balanço de C

O cálculo do balanço de C foi baseado no modelo unicompartmental proposto por Hênin & Dupuis (1945) e adaptado por Bayer (1996). Os cálculos foram efetuados para a camada de 0-20 cm em cada uma das sete classes de agregados. Este modelo preconiza o balanço de C através do conceito de equilíbrio dinâmico da MOS em função das quantidades de C que são adicionadas e caracterizadas pelas “entradas” e as perdas por oxidação denominadas de “saídas” do sistema. O modelo geral é representado pela seguinte expressão matemática:

$$dC/dt = - K_2.C + K_1.A \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

dC/dt = taxa anual de variação do Carbono orgânico no solo em Mg ha⁻¹

A = quantidade de Carbono via resíduos (vegetal aérea/raiz e animal esterco+urina) adicionado anualmente em Mg ha⁻¹

K1 = coeficiente de humificação que representa a porcentagem do Carbono adicionado anualmente que passa a constituir o Carbono orgânico no solo.

C = estoque de Carbono orgânico no solo em Mg ha⁻¹

K2 = coeficiente anual de perda do Carbono orgânico no solo por oxidação da MOS

Para o balanço de C, foram consideradas as entradas de C e MS provenientes de excretas animal (esterco+urina) da Tabela 5, divididos pelos 5 tratamentos, e depois somados ao C e MS oriundo das culturas.

5.2.5.1. Parâmetros adicionais para o balanço de C dos sistemas de manejo

- **Índice de massa seca de raiz:** refere-se à quantidade de massa seca de raiz produzida por Mg de grãos, ou seja, porcentagem da produção de grãos que corresponde em massa seca de raiz.
- **Porcentagem de Carbono na palhada:** refere-se ao conteúdo de C nos resíduos culturais das espécies, conforme Sá et al. (2001).
- **K1:** refere-se ao coeficiente de humificação para o sistema de rotação de culturas, representa a taxa de conversão em MOS do C presente nos resíduos, varia de acordo com o clima local. Para o cálculo do balanço de C, foi utilizado o coeficiente adaptado de Sá et al. (2001) em um experimento de longa duração em um LATOSSOLO Vermelho argiloso situado na mesma região climática do presente estudo (Tabela 13).
- **K2:** refere-se ao coeficiente de oxidação da MOS, é afetado principalmente pela textura do solo e seu método de preparo. Para o cálculo do balanço de C, foi utilizado o coeficiente proposto por Cecagno, (2015) ($K_2 = 0,011$) em experimento de longa duração sob SIPA em um LATOSSOLO Vermelho argiloso, coeficiente similar ao encontrado por Bayer (1996) e por Campos et al. (2011).
- **Equivalente em palhada:** refere-se a quantidade mínima de palhada (massa seca de parte aérea e raiz) necessária para manter o equilíbrio estável do sistema

Tabela 13. Índice de massa seca de raiz e porcentagem de C na palhada, utilizados para o balanço de Carbono.

Cultura	Índice de massa seca de raiz †	Porcentagem de C na palhada ††	K_1 †
Aveia preta	0,27	43,20	0,265
Milho	0,25	45,50	0,265
Azevém anual	0,27	40,80	0,265
Soja	0,20	39,50	0,265

† adaptado de Sá et al. (2001); † índice obtido com medições nas culturas e representa: Índice 0,25 para cultura de milho significa que 1 ton de grãos de milho produz o equivalente a 0,25 ton de raiz de milho. †† Resultados obtidos com a determinação de C por combustão seca para cada cultura.

Para a condição onde $dC/dt = 0$, o sistema está em equilíbrio estável e indica que as entradas de C são equivalentes as saídas de C do sistema. Ao contrário, para a condição de $dC/dt \neq 0$, duas situações podem ocorrer: a) quando as adições forem superiores as saídas indicará que o sistema estará acumulando C e o balanço será positivo; b) quando as adições forem inferiores as saídas indicará que o sistema estará perdendo C e o balanço será negativo.

5.3. RESULTADOS

5.3.1 Distribuição de classes de tamanho de agregados e índices de agregados do solo.

Os tratamentos que receberam adubações fosfatadas seja via superfosfato triplo ou termofosfato magnésiano não apresentaram um efeito significativo sobre a distribuição de tamanho de macro, meso e microagregados nas três profundidades, com exceção do SFT₆₀, o qual foi superior ao TFM₆₀ na camada de 5-10 cm (Tabela 14).

Tabela 14. Distribuição das classes de agregados (g solo na fração de agregado kg⁻¹ de solo) influenciada por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, e na vegetação nativa (VN) utilizada como referência, até 20 cm de profundidade em um Cambissolo Háplico.

Prof.	Classes	TRATAMENTOS					
		VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀
(cm)	(mm)	-----g de solo na fração do agregado kg ⁻¹ de solo-----					
0-5	8-19	49,52 a	34,99 c	45,96 ab	41,52 b	44,96 ab	45,01 ab
	4-8	14,34 ns	15,07	11,45	12,34	13,53	12,05
	2-4	5,78 b	7,98 a	5,72 b	6,55 b	6,60 b	6,04 b
	1-2	3,62 c	6,78 a	3,76 bc	4,83 bc	4,92 b	4,04 bc
	0,5-1	2,63 b	5,14 a	2,97 b	3,63 b	3,36 b	2,77 b
	0,25-0,5	1,42 c	3,27 a	1,91 bc	2,14 b	2,15 b	1,73 bc
	0,053-0,25	0,93 c	2,65 a	1,88 b	1,70 b	1,29 bc	1,45 bc
		-----g de solo na fração do agregado kg ⁻¹ de solo-----					
5-10	8-19	45,72 ab	33,25 c	49,57 a	42,07 ab	40,35 bc	42,53 ab
	4-8	17,35 ns	16,63	11,61	15,82	14,90	16,15
	2-4	7,45 ns	7,96	5,78	6,32	7,70	6,76
	1-2	5,35 ab	6,49 a	3,83 c	4,86 bc	5,19 abc	4,59 bc
	0,5-1	3,84 ns	5,03	3,19	4,20	3,78	3,15
	0,25-0,5	2,02 ns	2,67	1,96	2,57	2,32	1,89
	0,053-0,25	1,00 b	2,09 a	1,68 ab	2,24 a	1,94 a	1,56 ab
		-----g de solo na fração do agregado kg ⁻¹ de solo-----					
10-20	8-19	48,90 a	26,16 c	45,10 ab	40,15 b	37,62 b	37,17 b
	4-8	13,58 ns	17,78	11,86	13,24	14,84	15,30
	2-4	6,14 ns	12,80	6,53	6,49	8,39	7,75
	1-2	4,74 b	9,78 a	4,70 b	4,90 b	6,09 b	5,91 b
	0,5-1	4,63 ns	6,91	3,61	4,41	4,35	4,08
	0,25-0,5	2,71 ns	3,95	2,55	3,48	2,84	2,71
	0,053-0,25	1,23 ns	2,88	1,74	2,27	1,73	2,11

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade. VN= vegetação nativa; Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnésiano.

O Controle apresentou valores significativamente inferiores na classe de 8-19 mm em todas as camadas amostradas e superiores nos meso e microagregados na camada de 0-5 cm de profundidade (Tabela 14). Na profundidade de 0-5 cm os tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ apresentaram 31, 19, 28 e 29 %, respectivamente, maiores proporções de macroagregados de 8-19 mm do que o Controle. Esta maior proporção de macroagregados sob os tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ reduziram as proporções de meso e microagregados.

A massa de macroagregados de 8-19 mm na VN foi superior ao Controle em todas as camadas amostradas, em contraste, nos meso e microagregados (0-5 cm: 2-4, 1-2, 0,5-1, 0,25-0,5 e 0,053-0,25 mm; 5-10 cm: 1-2 mm) o tratamento Controle apresentou valores superiores. A proporção de macroagregados nos tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ não apresentou diferenças expressivas em relação à VN em todas as camadas. Esta tendência enfatiza a importância de SIPAs com o PD na re-agregação dos solos. Em média, a proporção da classe de agregado de 8-19 mm foi de 31, 47, 41, 41, 42 e 48% no Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀, TFM₁₂₀ e VN, respectivamente em todas as profundidades do solo, e obedeceram a sequência :VN> SFT₆₀ > TFM₁₂₀ > SFT₁₂₀ > TFM₆₀> Controle. Esta proporção diminuiu com o aumento das profundidades do solo tanto em VN quanto nos solos cultivados.

Não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos para o DMG em nenhuma das camadas amostradas. Entretanto o DMP do tratamento Controle foi estatisticamente inferior a todos os tratamentos nas camadas de 0-5 e 10-20 cm (Figura 7).

Na camada de 0-5 cm o maior DMP encontrado foi no tratamento SFT₆₀, seguido dos tratamentos TFM₁₂₀, TFM₆₀ e SFT₁₂₀, e sendo inferior no tratamento Controle. Seguindo essa mesma sequência observou-se um acréscimo no tamanho de agregados, em relação ao Controle em 23, 22, 18 e 15 %. Tal fato pode ter ocorrido devido aos benefícios químicos ao solo promovidos pela adubação fosfatada, com possível maior entrada de C via resíduos ao sistema. O solo sob VN apresentou DMP 26, 9 e 7 % superior aos solos cultivados sob Controle, SFT₁₂₀ e TFM₆₀, respectivamente, na profundidade de 0-5 cm, nas camadas de 5-10 e 10-20 cm o DMP sob VN foi 15 e 43%, respectivamente, superior ao Controle.

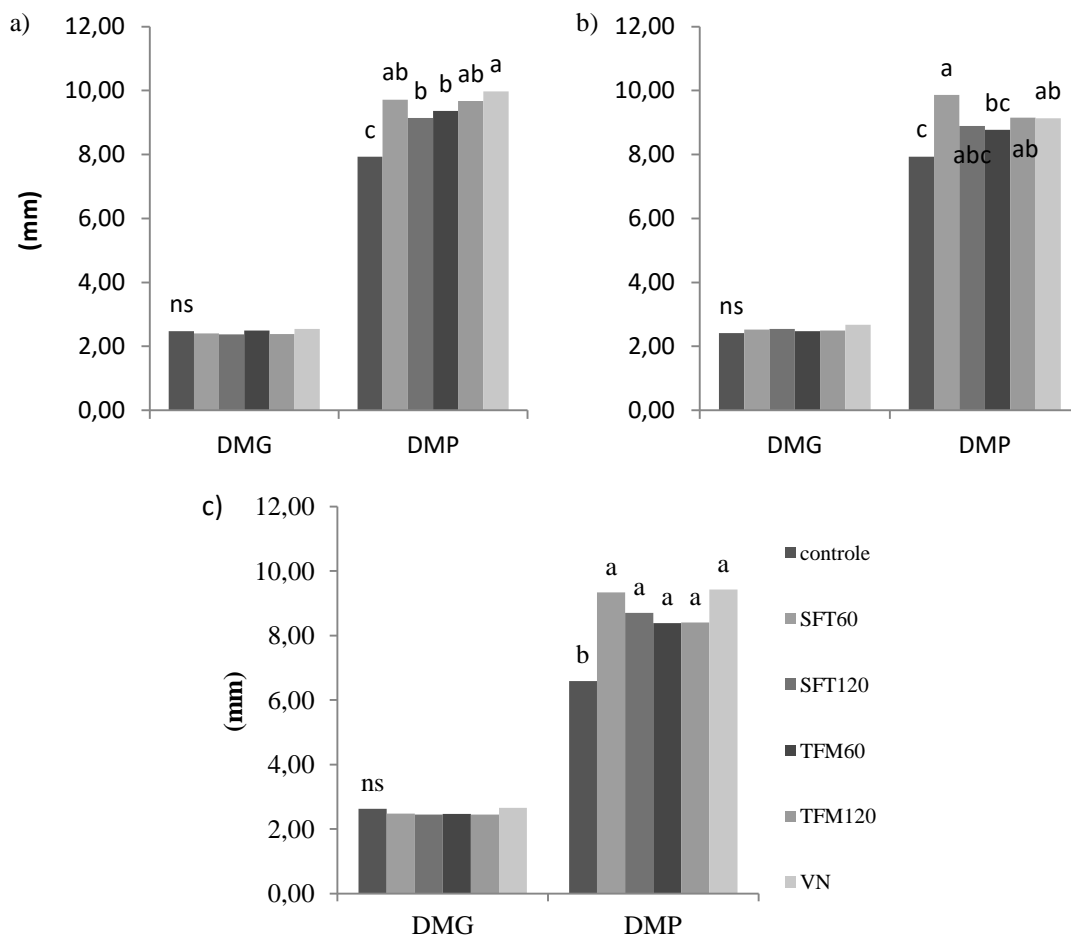


Figura 7. Diâmetro médio geométrico (DMG) e Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados afetados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária e na vegetação nativa (VN) utilizada como referência, a) camada de 0-5 cm; b) 5-10 cm e c) 10-20 cm de profundidade em um Cambissolo Háplico. Letras minúsculas iguais, comparando tratamentos que não diferem entre si, ns= diferença estatística não significativa pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade. Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnésiano.

5.3.2. Alterações no C e N associados aos agregados

As concentrações de C e N associados com agregados foram constantes entre as classes de tamanho em todas as profundidades. As fontes e as doses de P não afetaram as concentrações de COT e NT em todas as classes de tamanho de agregados (Tabela 15). As concentrações de COT na camada de superfície foram maiores do que na camada de subsolo. A adubação fosfatada proporcionou acúmulo de COT nas classes de agregados na camada de 0-5 e 5-10 cm, principalmente, na classe de agregados de 4- 8 mm. Em todas as camadas constatou-se que as concentrações de COT nos agregados maiores que 0,5 mm foram superiores às concentrações da classe 0,25-0,5 mm, as quais foram inferiores às da classe 0,053-0,25 mm.

Tabela 15. Conteúdo de Carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nas classes de agregados afetados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, até 20 cm de profundidade em um Cambissolo Háplico.

Prof. (cm)	Classes (mm)	TRATAMENTOS						TRATAMENTOS					
		VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀	VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀
0-5		-----Conteúdo de COT (g kg ⁻¹)-----						-----Conteúdo de NT (g kg ⁻¹)-----					
	8-19	55,55 a	40,71 b	42,10 b	43,66 b	45,88 b	43,25 b	6,11 a	3,32 b	2,84 b	3,26 b	3,40 b	3,77 b
	4-2	57,35 a	38,65 c	44,96 b	45,56 b	45,83 b	46,15 b	6,27 a	3,37 bc	3,02 c	3,36 bc	3,54 bc	4,12 b
	2-4	65,00 a	43,56 b	46,25 b	46,96 b	47,28 b	48,14 b	7,07 a	3,53 bc	3,12 c	3,44 c	3,46 c	4,26 b
	1-2	65,85 a	44,61 b	47,06 b	47,85 b	48,51 b	48,65 b	7,15 a	3,62 bc	3,13 c	3,48 c	3,58 bc	4,34 b
	0,5-1	52,13 a	42,10 b	42,93 b	43,59 b	43,14 b	45,88 b	5,21 a	3,48 bc	2,92 c	3,17 c	3,29 c	4,04 b
	0,25-0,5	48,23 a	36,55 c	37,50 bc	38,59 bc	38,24 bc	42,43 b	4,67 a	3,07 c	2,54 bc	2,80 bc	2,80 bc	3,67 b
	0,053-0,25	61,03 a	45,65 b	45,39 b	46,80 b	44,10 b	50,15 b	6,63 a	3,37 c	3,13 c	3,48 bc	3,26 c	4,45 b
5-10		-----Conteúdo de COT (g kg ⁻¹)-----						-----Conteúdo de NT (g kg ⁻¹)-----					
	8-19	41,85 ns	34,05	35,98	35,84	33,31	35,26	3,78 a	2,38 b	2,18 b	2,45 b	1,93 b	2,00 b
	4-2	49,03 a	34,84 b	36,13 b	36,18 b	34,86 b	36,25 b	4,97 a	2,43 b	2,24 b	2,41 b	2,15 b	2,18 b
	2-4	49,43 a	35,41 b	37,28 b	37,05 b	35,46 b	37,75 b	4,93 a	2,47 b	2,26 b	2,46 b	2,11 b	2,39 b
	1-2	48,98 a	36,68 b	37,70 b	36,85 b	35,80 b	37,20 b	4,87 a	2,54 b	2,30 b	2,48 b	2,15 b	2,35 b
	0,5-1	44,00 a	34,83 b	33,39 b	33,59 b	33,18 b	34,78 b	4,21 a	2,49 b	2,00 b	2,18 b	1,91 b	1,99 b
	0,25-0,5	41,65 a	32,70 b	29,61 bc	30,64 bc	27,03 c	30,66 bc	3,83 a	2,36 b	1,83 bc	2,01 bc	1,51 c	1,65 c
	0,053-0,25	49,60 a	35,85 b	37,05 b	34,61 b	33,75 b	36,28 b	5,23 a	2,60 b	2,35 b	2,43 b	1,98 b	2,42 b
10-20		-----Conteúdo de COT (g kg ⁻¹)-----						-----Conteúdo de NT (g kg ⁻¹)-----					
	8-19	36,60 ns	34,15	29,66	32,44	29,14	33,90	3,06 ns	1,99	1,63	1,98	1,44	1,62
	4-2	41,30 a	31,35 b	31,23 b	33,76 b	30,76 b	33,78 b	3,57 a	1,97 b	1,71 b	2,05 b	1,47 b	1,59 b
	2-4	43,38 a	32,00 b	32,09 b	34,10 b	30,94 b	34,41 b	3,83 a	2,03 b	1,80 b	2,07 b	1,56 b	1,72 b
	1-2	42,18 a	31,98 b	31,39 b	34,46 b	30,96 b	34,56 b	3,65 a	2,02 b	1,75 b	2,13 b	1,44 b	1,70 b
	0,5-1	36,40 ns	30,40	28,73	32,04	28,49	32,75	2,97 ns	1,93	1,61	1,95	1,41	1,49
	0,25-0,5	33,85 ns	27,29	25,43	29,63	25,60	29,80	2,62 ns	1,74	1,46	1,79	1,11	1,32
	0,053-0,25	40,33 ns	29,73	28,48	33,85	28,91	33,66	3,89 a	1,94 b	1,69 b	2,04 b	1,55 b	1,74 b

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade. VN= vegetação nativa; Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano.

A comparação dos tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀, TFM₁₂₀ com o Controle, na camada de 0-5 cm, mostrou que a adubação fosfatada proporcionou um ganho no conteúdo de COT de 3, 16, 6, 5, 2 e 3 %; 7, 18, 8, 7, 4 e 6 %; 13, 19, 9, 9, 2 e 5 %; 6, 19, 11, 9, 9 e 16%, respectivamente, para as classes de 19-8, 8-4, 4-2, 2-1, 1-0,5 e 0,5-0,25 mm, respectivamente. Isso demonstra que o acúmulo de COT devido à adubação fosfatada ocorreu nos macroagregados e microagregados. Em média, quando comparados ao Controle os tratamentos SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ aumentaram em 5, 7, 7 e 11% respectivamente, as concentrações de COT em 0-5 cm de profundidade, enquanto na camada de 5-10 cm o SFT₆₀ e TFM₁₂₀ apresentaram concentrações 1 e 2% superiores ao Controle, e na de 10 -20 cm a concentração média foi aumentada em 6 e 7 % pelos tratamentos SFT₁₂₀ e TFM₁₂₀, respectivamente, em relação ao Controle. Resultados das concentrações de NT foram parcialmente consistente com COT, os tratamentos SFT₁₂₀ e TFM₁₂₀ foram os que apresentaram maiores incrementos nos conteúdos de NT quando comparados ao Controle. O TFM₁₂₀ aumentou em 21% na camada de 0-5 cm e o SFT₁₂₀ em 3% na camada de 10-20 cm de profundidade.

As concentrações de COT e NT associados aos agregados foram maiores em macro, meso e microagregados em solos sob VN em comparação com aqueles sob SIPA na camada de 0-10 cm de profundidade, enquanto na camada de 10-20 cm ocorreram diferenças menores, observadas nos macro (2-4 e 4-8 mm) e mesoagregados (1-2 mm).

As doses de P podem ter proporcionado o maior acúmulo de COT devido à proteção física intra-macroagregados. O maior nível de agregação demonstrado pelo aumento do DMP nesses tratamentos (Figura 7) suporta esses argumentos. Portanto, práticas culturais que afetam a dinâmica dos macroagregados, como a demonstrada nesse estudo (uso de P), tem implicações de longo alcance no sequestro de COT e estabilização da MOS.

O estoque de COT nos agregados foi amplamente afetado pela distribuição de massa de solo nas frações de agregados (Tabela 16). Devido a maior proporção do solo retida na peneira de 8 mm, o estoque na fração 8-19 mm foi expressivamente superior às demais classes de agregados, representando 41, 61, 54, 53 e 54 % do estoque total para os tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente, enquanto na VN representou 58%.

Tabela 16. Estoque de Carbono orgânico total (COT) nas classes de agregados afetados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, até 20 cm de profundidade em um Cambissolo Háplico.

Prof. (cm)	Classes (mm)	TRATAMENTOS					
		VN	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀
		-----Estoque de COT (Mg ha ⁻¹)-----					
0-5	8-19	26,98 a	12,94 c	17,80 b	16,28 b	16,95 b	17,05 b
	4 - 8	7,90 a	5,40 b	4,75 b	5,00 b	5,12 b	4,89 b
	2 - 4	3,65 a	3,18 ab	2,45 c	2,74 bc	2,56 c	2,56 c
	1 - 2	2,36 ab	2,74 a	1,64 c	2,07 bc	1,94 bc	1,74 c
	0,5 - 1	1,37 b	1,95 a	1,18 b	1,40 b	1,18 b	1,12 b
	0,25 - 0,5	0,69 b	1,10 a	0,67 b	0,74 b	0,67 b	0,64 b
	0,053-0,25	0,59 ns	1,12	0,82	0,71	0,47	0,66
5-10	8-19	15,99 a	9,91 c	14,99 ab	12,43 bc	11,88 c	12,52 bc
	4 - 8	7,04 a	5,11 b	3,55 c	4,75 bc	4,57 bc	4,89 bc
	2 - 4	3,04 a	2,49 ab	1,82 c	1,95 bc	2,42 abc	2,13 bc
	1 - 2	2,20 a	2,10 ab	1,22 c	1,49 c	1,63 bc	1,42 c
	0,5 - 1	1,42 ns	1,52	0,90	1,16	1,11	0,90
	0,25 - 0,5	0,70 ns	0,76	0,49	0,65	0,55	0,47
	0,053-0,25	0,41 ns	0,66	0,54	0,62	0,58	0,47
10-20	8-19	27,88 a	14,17 c	24,16 ab	21,06 b	19,10 bc	19,43 bc
	4 - 8	8,75 ns	8,34	6,69	7,22	7,94	7,97
	2 - 4	4,24 ns	5,75	3,81	3,56	4,51	4,09
	1 - 2	3,17 b	4,56 a	2,66 b	2,73 b	3,27 b	3,16 b
	0,5 - 1	2,59 ns	3,12	1,87	2,31	2,15	2,09
	0,25 - 0,5	1,36 ns	1,60	1,17	1,65	1,25	1,27
	0,053-0,25	0,72 ns	1,31	0,90	1,24	0,86	1,14
Σ 0-20	8-19	70,86 a	37,02 d	56,94 b	49,77 bc	47,93 c	49,00 c
	4 - 8	23,69 a	18,85 b	14,99 c	16,96 bc	17,62 bc	17,75 bc
	2 - 4	10,93 a	11,41 a	8,08 b	8,25 b	9,48 ab	8,78 b
	1 - 2	7,73 a	9,41 a	5,53 c	6,29 bc	6,84 bc	6,32 bc
	0,5 - 1	5,38 ab	6,59 a	3,95 c	4,88 abc	4,44 bc	4,11 c
	0,25 - 0,5	2,75 ns	3,45	2,32	3,04	2,48	2,38
	0,053-0,25	1,72 ns	3,09	2,26	2,57	1,90	2,27

Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos, não diferem entre si pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade. VN= vegetação nativa; Controle= sem P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano.

5.3.3. Balanço de C influenciado pela fonte e doses de P

Para o cálculo de balanço de C as classes de agregados foram separadas em macro (2-19 mm), meso (0,25-2 mm) e microagregados (0,053 a 0,25 mm). O estoque inicial de C do experimento representou a amostragem em 2009 e foi de 90,34 Mg ha⁻¹ na camada de 0-20

cm. Para determinar o C inicial, o aporte de C e o aporte de resíduos culturais em cada classe de agregados, foram utilizados os percentuais de distribuição de estoque de COT para cada classe de tamanho de agregado (Tabela 17).

Tabela 17. Percentuais de distribuição do estoque de Carbono orgânico total em cada classe de tamanho dos agregados, afetados por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, em 0- 20 cm de profundidade.

Classes (mm)	Tratamentos				
	Controle	SFT ₆₀	SFT ₁₂₀	TFM ₆₀	TFM ₁₂₀
	-----% de COT em cada classe-----				
2-19	74,9	85,3	82,0	82,9	83,9
0,25-2	21,7	12,3	15,2	15,0	13,8
0,053-0,25	3,4	2,4	2,8	2,1	2,4

Controle= sem adição de P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano.

O modelo revelou balanço positivo de C para as sete classes de tamanhos de agregados independente da fonte e dose de P. A média do dC/dt para o período em cada tratamento (Tabela 18) mostrou que a presença de sucessão de gramíneas na rotação foi suficiente para manter o balanço de C positivo em todas as classes e tamanhos de agregados dos tratamentos.

A taxa de sequestro de C estimada pelo modelo unicompartimental na camada de 0-20 cm decresceu dos macroagregados para os microagregados, totalizando uma taxa de sequestro de 0,82, 1,06, 1,14, 1,09 e 1,06 Mg ha⁻¹, para os tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀ TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente. As maiores diferenças ocorreram nos macroagregados, e o tratamento SFT₁₂₀ foi 52%, superior ao Controle não diferindo dos demais. Nos meso e microagregados a diferença foi menos expressiva.

A quantidade de C adicionado (parte aérea/raiz e esterco+urina) no tratamento Controle foi de 6,92 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ comparado aos tratamentos SFT₆₀ e SFT₁₂₀ os quais variaram de 7,84 a 8,15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. A principal contribuição nesse aporte veio da cultura de milho e representou 60 % indicando que a sequência das culturas dentro da rotação faz a diferença na contribuição do sequestro de C. O desafio do SIPA sob PD em regiões subtropicais e tropicais é manter um fluxo contínuo de C ao solo visando à distribuição nos distintos compartimentos e visando atingir o equilíbrio estável da MOS.

Tabela 18. Balanço de C nos macroagregados (2-19 mm), mesoagregados (0,25-2) e microagregados (0,053-0,25), afetado por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, em um Cambissolo Háplico, para a camada de 0-20 cm utilizando o modelo unicompartmental adaptado de Bayer et al. (2006a).

Ano	Sequência de culturas [†]	Tratamentos ^{††}	C anual* (vegetal/ excretas)	Classes de tamanho de agregados														
				2-19 mm				0,25-2 mm				0,053-0,25 mm						
				A*K ₁	COT	C*K ₂	dC/dt	Média dC/dt	A*K ₁	COT	C*K ₂	dC/dt	\dot{x} dC/dt	A*K ₁	COT	C*K ₂	dC/dt	\dot{x} dC/dt
------(Mg ha ⁻¹)-----																		
09/10	AP/ML	Controle	9,92	1,97	67,68	0,74	1,22		0,57	19,58	0,22	0,35		0,09	3,08	0,03	0,06	
10/11	AZ/SJ	Controle	4,88	0,97	68,91	0,76	0,21		0,28	19,94	0,22	0,06		0,04	3,13	0,03	0,01	
11/12	AP/ML	Controle	10,08	2,00	69,12	0,76	1,24		0,58	20,00	0,22	0,36		0,09	3,14	0,03	0,06	
12/13	AZ/SJ	Controle	2,82	0,56	70,36	0,77	-0,21	0,62	0,16	20,36	0,22	-0,06	0,18	0,02	3,20	0,04	-0,01	0,02
09/10	AP/ML	SFT ₆₀	9,46	2,14	77,09	0,85	1,29		0,31	11,10	0,12	0,19		0,06	2,14	0,02	0,04	
10/11	AZ/SJ	SFT ₆₀	5,59	1,26	78,38	0,86	0,40		0,18	11,29	0,12	0,06		0,04	2,18	0,02	0,01	
11/12	AP/ML	SFT ₆₀	11,97	2,71	78,79	0,87	1,84		0,39	11,35	0,12	0,27		0,08	2,19	0,02	0,05	
12/13	AZ/SJ	SFT ₆₀	4,33	0,98	80,63	0,89	0,09	0,91	0,14	11,61	0,13	0,01	0,13	0,03	2,24	0,02	0,00	0,02
09/10	AP/ML	SFT ₁₂₀	10,44	2,27	74,05	0,81	1,45		0,42	13,75	0,15	0,27		0,08	2,53	0,03	0,05	
10/11	AZ/SJ	SFT ₁₂₀	5,34	1,16	75,51	0,83	0,33		0,22	14,02	0,15	0,06		0,04	2,58	0,03	0,01	
11/12	AP/ML	SFT ₁₂₀	12,30	2,67	75,84	0,83	1,84		0,50	14,08	0,15	0,34		0,09	2,60	0,03	0,06	
12/13	AZ/SJ	SFT ₁₂₀	4,51	0,98	77,67	0,85	0,12	0,94	0,18	14,43	0,16	0,02	0,17	0,03	2,66	0,03	0,00	0,03
09/10	AP/ML	TFM ₆₀	10,60	2,33	74,92	0,82	1,50		0,42	13,51	0,15	0,27		0,06	1,91	0,02	0,04	
10/11	AZ/SJ	TFM ₆₀	5,75	1,26	76,42	0,84	0,42		0,23	13,78	0,15	0,08		0,03	1,95	0,02	0,01	
11/12	AP/ML	TFM ₆₀	11,92	2,62	76,84	0,85	1,77		0,47	13,86	0,15	0,32		0,07	1,96	0,02	0,05	
12/13	AZ/SJ	TFM ₆₀	3,49	0,77	78,62	0,86	-0,10	0,90	0,14	14,18	0,16	-0,02	0,16	0,02	2,01	0,02	0,00	0,02
09/10	AP/ML	TFM ₁₂₀	9,84	2,19	75,75	0,83	1,35		0,36	12,43	0,14	0,22		0,06	2,16	0,02	0,04	
10/11	AZ/SJ	TFM ₁₂₀	5,66	1,26	77,10	0,85	0,41		0,21	12,65	0,14	0,07		0,04	2,20	0,02	0,01	
11/12	AP/ML	TFM ₁₂₀	11,91	2,65	77,51	0,85	1,79		0,43	12,72	0,14	0,29		0,08	2,21	0,02	0,05	
12/13	AZ/SJ	TFM ₁₂₀	3,98	0,88	79,31	0,87	0,01	0,89	0,15	13,01	0,14	0,00	0,15	0,03	2,26	0,02	0,00	0,02

[†] AP= aveia preta; ML= milho; AZ= azevém; SJ= soja. ^{††} Controle = sem adição de P; SFT₆₀ e SFT₁₂₀= 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte superfosfato triplo, respectivamente; TFM₆₀ e TFM₁₂₀=60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fonte termofosfato magnesiano. *Carbono anual= C vegetal (parte aérea+radicular) e Carbono dos excretas (urina+esterco); animal. A*K₁= adição de C anual* 0,265 proposto por Sá et al. (2001). C*K₂= Estoque de C medido em 2009* coeficiente de oxidação, K₂ = 0,011 proposto por Cecagno (2015). dC/dt=A*K₁-C*K₂.

O balanço do C também demonstrou que o sistema influencia na quantidade do C produzido anualmente e nos estoques, os quais vão ao longo do tempo lentamente aumentando nos sistemas que tem balanço positivo de C. Todos os tratamentos obtiveram balanço positivo de C para todas as classes de tamanho dos agregados, em relação a 2009, que variou de 3,3 a 4,6 Mg ha⁻¹ quando somadas todas as classe (Tabelas 18) e levando em consideração os quatro anos do experimento.

5.3.4. Quantidade de resíduo cultural para manter o equilíbrio estável

Os resultados do balanço de C foram transformados para a obtenção do Equivalente em palhada. A quantidade mínima de palhada para manter o tratamento Controle em equilíbrio estável variou de 6,98 a 0,32 Mg ha⁻¹, nos macro e microagregados, respectivamente, ou seja ocorreu uma redução de 95% na necessidade entre essas classes. Já os tratamentos com P variaram de 8,17, 7,93, 7,98 e 8,03 Mg ha⁻¹ nos macroagregados a 0,23, 0,27, 0,20 e 0,23 Mg ha⁻¹ nos microagregados, no SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente. Entre os macro e microagregados, a redução da necessidade de palhada foi de 97% para todos os tratamentos (Tabela 19). A necessidade mínima total de palhada foi de 9,32, 9,57, 9,67, 9,62 e 9,58 Mg ha⁻¹ nos tratamentos Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀ (Tabela 19). Entretanto, a quantidade média de palhada adicionada foi superior a necessidade em todos os tratamentos e em todas as classes de tamanho de agregados. Esse estado de equilíbrio depende dos mecanismos de proteção do C nos agregados, que está estreitamente associado às características da mineralogia do solo.

Na tabela 19 o C*K2 representa a parte do estoque de C que é anualmente perdido para a atmosfera. A maior perda ocorreu nos macroagregados no tratamento SFT₆₀. Nas outras classes as maiores perdas foram observadas no tratamento Controle.

Os tratamentos com uso de P produziram mais MS, independente da fonte ou dose, que a necessidade de reposição de C do solo e indicou acréscimo anual de resíduo vegetal de 6,13, 7,97, 8,56, 8,11 e 7,97 Mg ha⁻¹ano⁻¹, para o Controle, SFT₆₀, SFT₁₂₀, TFM₆₀ e TFM₁₂₀, respectivamente, em todas as classes de agregados. O SFT₁₂₀ mostrou-se superior aos outros tratamentos de adubação fosfatada em até 1,39, 1,05, 1,04 e 1,10 vezes mais produção de MS que são mantidas no sistema.

Tabela 19. Equivalente em palhada dos atributos do balanço de C para os macroagregados (2-19 mm), mesoagregados (0,25-2 mm) e microagregados (0,053-0,25 mm), afetado por diferentes fontes e doses de P, sob o sistema integrado de produção agropecuária, em um Cambissolo Háplico, para a camada de 0-20 cm.

Tratamentos	C*K2	dC/dt ≠ 0	Equivalente em Palhada**			
			dC/dt ≠ 0	dC/dt = 0	Adição anual	Balanço geral
-----C na classe 2-19 mm (Mg ha ⁻¹)-----						
Controle	0,76	0,62	5,16	6,98	11,57	4,59
SFT ₆₀	0,87	0,91	7,60	8,17	14,97	6,80
SFT ₁₂₀	0,83	0,94	7,85	7,93	14,94	7,02
TFM ₆₀	0,84	0,90	7,55	7,98	14,70	6,72
TFM ₁₂₀	0,85	0,89	7,48	8,03	14,72	6,69
-----C na classe 0,25-2 mm (Mg ha ⁻¹)-----						
Controle	0,22	0,18	1,49	2,02	3,35	1,33
SFT ₆₀	0,12	0,13	1,09	1,18	2,16	0,98
SFT ₁₂₀	0,15	0,17	1,46	1,47	2,78	1,30
TFM ₆₀	0,15	0,16	1,36	1,44	2,65	1,21
TFM ₁₂₀	0,14	0,15	1,23	1,32	2,41	1,10
-----C na classe 0,053-0,25 mm (Mg ha ⁻¹)-----						
Controle	0,03	0,03	0,23	0,32	0,53	0,21
SFT ₆₀	0,02	0,03	0,21	0,23	0,42	0,19
SFT ₁₂₀	0,03	0,03	0,27	0,27	0,51	0,24
TFM ₆₀	0,02	0,02	0,19	0,20	0,38	0,17
TFM ₁₂₀	0,02	0,03	0,21	0,23	0,42	0,19

‡ Valores foram calculados a partir dos parâmetros a seguir: O coeficiente de oxidação representado pela expressão C* K2. O dC/dt ≠ 0 representa a média do balanço de C para cada tratamento. O Equivalente em Palhada do dC/dt ≠ 0, representa a transformação da média do balanço de C em Massa Seca. O Equivalente Palhada do dC/dt = 0, representa a quantidade perdida do estoque até o presente momento. Média do aporte anual = Produção média de Massa seca anual pelas culturas. O balanço geral representado pelo □ (Adição anual - dC/dt= 0). = Média do aporte anual de MS - Equivalente palha do dC/dt = 0.

No balanço geral o Equivalente Palhada para os tratamentos com SFT apresentaram em média um superávit de palhada anual de 8,26 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, 3% superior a manutenção de palhada dos tratamentos com TFM que foi de 8,04 Mg ha⁻¹, e 26% superior ao Controle. Entre os tratamentos sob a fonte SFT o que recebeu a dosagem de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou uma manutenção 7% superior ao SFT₆₀, isso permite ao sistema apresentar maiores estoques de C, menor emissão de CO₂ para a atmosfera, resultado do sistema de manejo que diminui as taxas de oxidação da matéria orgânica permitindo a permanência por mais tempo do C no solo e em seus compartimentos.

5.4. DISCUSSÃO

5.4.1 C e N nos agregados e índices de agregação afetados pelo uso de P

O uso de P no SIPA sob PD aumentou a proporção de macroagregados extra-grandes (8-19 mm) comparado ao tratamento Controle. Esses macroagregados dominaram a distribuição sob adubação fosfatada, assim como no Controle e na Vegetação nativa (Tabela 14). Com a ocorrência de elevado fluxo de energia via C, o nível de organização do solo é mais elevado, desenvolvendo agregados maiores e formando estruturas grandes e complexas (VEZZANI, 2001). Em contraste, a redução nos fluxos C resulta em nível de organização baixo, com estrutura do solo mais simples, e predomínio de microagregados.

Elevadas proporções de grandes macroagregados em solos argilosos foram relatados em outros estudos nos climas tropicais e subtropicais (TIVET et al., 2013b). E o COT e o NT associados a esses agregados embora mais susceptíveis ao ataque da microbiota do solo, são mais estáveis à decomposição microbiana devido a proteção física (OADES, 1984).

Souza et al. (2010) reportaram que o pastejo em SIPAs sob PD promove maior agregação do solo em relação a áreas não-pastejadas, devido ao maior crescimento e desenvolvimento das raízes, uma vez que as mesmas são o atributo que mais se correlaciona com os estoques de COT (ALBUQUERQUE et al., 2015), sendo responsável por até 80% do acréscimo na fração lábil de Carbono no solo (MAZZILLI et al., 2015). Quando vivas, elas podem liberar compostos ricos em C que servem como fonte de energia para o desenvolvimento microbiano (OADES, 1978), exsudando polissacarídeos capazes de estabilizar agregados (HAYNES & FRANCIS, 1993; MARTINS et al., 2009). As raízes atuam no agrupamento de micro e mesoagregados, formando macroagregados, através do emaranhamento das partículas (TISDALL & OADES, 1982). Quando mortas, elas podem ser o núcleo para a formação de novos macroagregados, sendo o C derivado de raízes mais eficaz na macroagregação que o C derivado de resíduos de parte aérea (GALE et al., 2000). Segundo Tisdall & Oades (1982), a estabilidade de agregados com diâmetro superior a 2,00 mm é relacionada ao crescimento de raízes e hifas; desta forma, sistemas de manejo que permitam o contínuo crescimento de raízes, como nas áreas pastejadas, acarretaram em maior proporção de agregados nas classes > 2,00 mm.

As duas fontes de P, são fontes também de Ca^{+2} (130 e 180 g kg^{-1} em SFT e TFM, respectivamente). O aumento na estabilidade de agregados por meio da adição de Ca^{+2} foi reportado em estudo com solos de textura média e argilosa, dominados por caulinita (WUDDIVIRA & CAMPS-ROACH, 2007), em Trinidad e Tobago, e esse efeito foi ainda

mais pronunciado através da adição de matéria orgânica (BRIEDIS et al.,2012). Amezketá (1999) observaram que os agentes estabilizadores inorgânicos, incluindo argilas, cátions metálicos polivalentes tais como Ca^{2+} , Fe^{3+} e Al^{3+} , Óxidos e hidróxidos de Fe e Al e carbonatos, afetam positivamente a formação e estabilização de agregados do solo. Assim, estes fatores poderão contribuir parcialmente para os efeitos de práticas de curto prazo em SIPAs com entradas elevadas e diversificadas de C, no reforço da formação de macroagregados, corroborando parcialmente com Tivet et al. (2013b) que concluiu que os principais agentes de agregação em LATOSSOLOS não são apenas os teores de argila e óxidos, mas também a constante rizodeposição de matéria orgânica, a qual mantém o efeito de ligação e aumenta a proporção de agregados estáveis em água. As mudanças significativas podem ser detectadas com o tempo, devido à entrada contínua de C, e agentes de ligação de agregados e de resíduos de culturas sob SIPAs.

Embora as fontes e doses de P não promoveram aumento significativo no DMG quando comparados todos os tratamentos e a vegetação nativa, o DMP foi sensivelmente afetado pela fonte e dose de P de forma consistente, com maior proporção de macroagregados (8-19mm) especialmente na camada superficial do solo (Figura 7). O fator que contribuiu pode estar relacionado a contínua oferta de C através de sistemas de alta intensidade de cultivo e a ausência de ruptura física nos SIPAs sob PD, influenciando o aumento da macroagregação no solo. Além disso, a maior produção de raízes de culturas diversificadas sob SIPA também é um fator envolvido na estabilização de macroagregados (TISDALL & OADES, 1982).

O DMP é influenciado diretamente pelo tamanho dos agregados, nesse estudo a maior porcentagem de agregados grandes ($> 2\text{mm}$) estavam associados ao uso de P e especialmente ao SFT. Esse efeito proporciona tanto benefícios físicos, como maior infiltração de água e menor erosão (FRANZLUEBBERS, 2002), indicando maior proteção física da MOS (MIKHA & RICE, 2004). Esse incremento na formação de macroagregados grandes pode ter impacto positivo no desenvolvimento das culturas em anos com limitação hídrica, por períodos longos, uma vez que haverá maior porosidade intra-agregado que irá contribuir para o armazenamento de água no solo.

Salton et al. (2008) apontaram que a rotação lavoura-pastagem com ciclo de dois anos ou pastagem permanente, foram responsáveis pela manutenção do maior DMP ao avaliarem a agregação em diferentes sistemas de manejo na camada de 0 – 20 cm. Oliveira et al. (2008), ao avaliarem agregação e Carbono orgânico em diferentes usos do solo, observaram tendência de diminuir o DMP com a profundidade e concluíram que esta redução está

relacionada com redução dos teores de C em maiores profundidades no perfil, passando a predominar a ação agregante da argila sobre os agentes de cimentação associados à MOS.

É consistente que o COT associado com macroagregados foi superior aos microagregados em todos os tratamentos e na VN (Tabelas 15 e 16). Este comportamento pode ser provavelmente explicado pelo conceito de hierarquia de agregados (OADES, 1984; TISDALL & OADES, 1982), que indicou que a matéria orgânica em grandes macroagregados tende a ser mais elevada do que em agregados menores porque a matéria orgânica lábil é o precursor na formação de macroagregados (TIVET et al., 2013b). Como resultado da elevada acumulação de resíduos vegetais na superfície do solo sob SIPA em PD, os resíduos são facilmente acessíveis por microrganismos que conduzem a uma grande entrada de compostos orgânicos metabolizáveis na MOS (BAYER et al., 2002).

Tem sido conhecido que gramíneas e leguminosas utilizadas como culturas de cobertura agem como uma fonte de N ao solo (WAGGER et al., 1998), de modo que o N do solo pode ser aumentado com um aumento na quantidade de resíduo vegetal (GHIMIRE et al., 2012). Por conseguinte, a agregação do solo sob SIPA é promovida devido ao aumento da biomassa e atividade microbiana que por sua vez sintetiza polissacarídeos que atuam como agentes de agregação (JASTROW et al., 1996). A ausência de ruptura física do solo sob SIPA pode também contribuir para o aumento do N, porque a perturbação mecânica do solo por meio de operações pode permitir a liberação de N a partir de resíduos culturais para ser mineralizado mais rapidamente devido à falta de proteção física. Six et al. (2002) relatou que o N é protegido contra a mineralização dentro de agregados.

5.4.2. Balanço de C e quantidade de resíduo cultural para manter o equilíbrio estável em decorrência do uso de P

As taxas de sequestro de C variaram de 0,82 a 1,14 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ sendo o menor valor para o Controle e o maior valor para o SFT₁₂₀ (Tabela 18), respectivamente, na camada de 0-20 cm. Resultados semelhantes (0,81 e 0,99 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹) foram reportados por Sá et al. (2001, 2006), em um LATOSSOLO VERMELHO com textura argilosa na mesma região desse estudo. Quando as condições climáticas e mineralógicas são semelhantes a variação entre as taxas de sequestro de C é influenciada pela quantidade, qualidade e frequência do aporte de C. Essa abordagem foi discutida por Bayer et al. (2000) em solos do Rio Grande do Sul e por Zinn et al. (2005) para LATOSSOLOS da região dos cerrados em que afirmaram a interdependência entre o C e a textura. Entretanto, a quantidade, qualidade e frequência do resíduo cultural tem sido mencionadas em vários trabalhos como componentes de maior

impacto para o sequestro de C em solos da região subtropical e tropical (BAYER et al., 2006b; SÁ et al., 2015).

Zanatta & Salton (2010) reportam que há um maior incremento na taxa de sequestro de C em SIPAs, do que no plantio direto com culturas anuais, possivelmente devido ao efeito do animal atuando como um catalisador dos processos que ocorrem no solo (ANGHINONI et al., 2013). Sistemas envolvendo gramíneas forrageiras possuem um maior aporte de raízes do que sistemas de culturas graníferas (REES et al., 2005). Em SIPAs, há um maior crescimento radicular da pastagem (CARVALHO et al., 2011)

O aporte de C pelos resíduos culturais nos trabalhos citados estão entre 4,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (equivalem a aproximadamente 9,1 a 13,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de resíduos culturais), já a média no período do experimento foi de 6,92 a 8,15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Parte aérea/raiz e excretas esterco+urina) (Tabela 18). Constatou-se nos anos com a sucessão azevém-soja, que o aporte foi bastante reduzido quando comparado a sucessão aveia preta-milho. Os resultados de Sisti et al. (2004) constataram que sucessões de culturas como o trigo-soja ou mesmo aveia preta-soja em plantio direto tem tido balanço de C negativo e podem gerar emissões de CO₂ próximas ao PC. Sá et al. (2006) também constataram que quando a sucessão era trigo-soja o balanço de C era negativo nos sistemas de manejo que incluía o preparo, porém quando a sucessão era aveia preta-milho o balanço de C foi positivo em todos os sistemas de manejo. Esse argumento pode ser respaldado por outros estudos realizados em condições subtropicais (Rio Grande do Sul), que mostraram que a introdução da cultura de milho na rotação, e quando associada com leguminosas como cultura antecessora, aumenta expressivamente o potencial de sequestro de C (AMADO et al., 2006), devido a um alto aporte de resíduo e uma incorporação maior de Carbono, visto que espécies C₄ são mais eficientes na captação de CO₂ (WANG et al., 2014). Enquanto, Cecagno et al. (2015) constataram que sistemas integrados de produção de soja em plantio direto e bovinos de corte apresentam balanço positivo de Carbono, trabalhando com diferentes intensidades de pastejo no inverno em LATOSSOLO.

A adição de resíduos (parte aérea/raiz e excretas esterco+urina) variou de 15,73 a 18,51 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ entre os tratamentos Controle e SFT₁₂₀, respectivamente (Tabela 19), enquadrando-se nas faixas reportadas por Sá et al. (2006) para a mesma região desse estudo para o PD. Os mesmos autores afirmaram que para a região dos Campos Gerais a quantidade mínima de palha a ser adicionada à superfície do solo é de 7,0 a 8,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Com a manutenção do sistema radicular na íntegra e da palhada na superfície do solo, a MOS fica menos exposta aos processos microbianos, reduzindo a taxa de mineralização e resultando em

menor fluxo de CO₂ para a atmosfera (REICOSKY et al., 1995). Bayer et al. (2006a) ressaltam a importância de adicionar ao solo, pelo menos, 3,9 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹, em condições de plantio direto. Em um SIPA, em plantio direto, Nicoloso et al. (2008) também encontraram quantidade semelhante, de 4,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Quando houve o revolvimento de solo, Lovato et al. (2004) determinaram que a adição anual de Carbono requerida para manter os estoques num ARGISSOLO são 8,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Já, em LATOSSOLO sem revolvimento, essa quantidade é de apenas 4,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (CAMPOS, 2006). Isso se deve à grande proteção física que a matéria orgânica de solos argilosos apresenta. Estes solos perdem menos MOS quando submetido ao preparo convencional, e necessitam menor adição para manter os estoques (BAYER, 1996).

5.5. CONCLUSÕES

A ausência de P resultou na camada de 0-5 cm em menor proporção de macroagregados na classe de 8-19 mm e maior proporção de meso e microagregados. O uso de P, independente da fonte ou dose resultou em DMP superior quando comparados ao Controle, e o tratamento SFT₆₀ mostrou superioridade aos demais tratamentos.

O estoque de C na fração 8-19 mm foi expressivamente superior às demais classes de agregados e o tratamento com SFT na dose de 60 kg ha⁻¹ apresentou estoque superior aos tratamentos com TFM e ao Controle nessa classe na profundidade de 0-20 cm.

Somando o estoque de C de todas as classes de agregados constatou-se a maior taxa de sequestro de C com o tratamento SFT₁₂₀, na camada de 0-20 cm.

A quantidade mínima de palha para manter o equilíbrio estável foi maior na classe de 8-19 mm (3,83 - 5,83 no Controle e SFT₆₀, respectivamente), e menor na de 0,053- 0,25 mm (0,19- 0,26 para o TFM₆₀ e SFT₁₂₀, respectivamente). O tratamento com adubação proveniente do SFT na dose de 120 kg ha⁻¹ apresentou maior manutenção de palhada anual.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estoque de COT foi expressivamente reduzido devido à conversão da vegetação nativa para áreas cultivadas por longo período de tempo em PC, e o uso de fontes e doses de P em SIPA so PD, não foram suficientes para recuperar o COT perdido. Após 4 anos, o uso de P promoveu aumentos no conteúdo e no estoque dos compartimentos de COT (COP, CAQ, COXP, CPIR, PT, PL), nas unidades experimentais com o uso da fonte altamente solúvel em água (SFT). Embora as diferenças sejam menos expressivas, a fonte TFM também incrementou conteúdo e estoque de C na maioria dos compartimentos, principalmente na maior dose (120 g kg^{-1} de P_2O_5), indicando que a longo prazo essa fonte pode obter resultados tão satisfatórios quanto as fontes altamente solúveis em água.

Nos agregados, a adubação fosfatada proporcionou acúmulo de COT principalmente na profundidade de 0-10 cm. Os tratamentos com SFT apresentaram maiores DMP, o que proporcionou elevado estoque de COT na classe de agregados 8-19 mm. O uso de P no sistema integrado de produção agropecuária com retorno de adequada quantidade de resíduos culturais promoveu benefícios à estruturação e aumento de C nos agregados, conduzindo o solo a atuar mais como dreno do que como fonte de CO_2 para a atmosfera, sendo que a fonte altamente solúvel em água e em maior dose apresentou maior taxa de sequestro de C na camada de 0-20 cm.

Concluí-se com isso, que a adubação fosfatada a lanço, e antecipada superficial em um Cambissolo Háplico argiloso, sob SIPA em PD em experimento de curto prazo, em região com clima subtropical, traz benefícios à estruturação do solo e promove aumento de C na amostra integral e nos agregados, sendo que a fonte solúvel em água promoveu os maiores benefícios indicando o potencial em reverter o processo de degradação da qualidade do solo. Entretanto, são necessários mais anos de estudo para que as fontes possam expressar seus efeitos nos compartimentos mais recalcitrantes de C e no COT, pois o experimento a curto prazo pode não ter fornecido tempo suficiente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M. A.; DIECKOW, J.; SORDI, A.; PIVA, J.T.; BAYER, C.; MOLIN, R.; PERGHER, M.; RIBEIRO-JUNIOR, P.J. Carbon and nitrogen in a Ferralsol under zero-tillage rotations based on cover, cash or hay crops. *Soil Use and Management*, Lismore, v. 31, p. 1-9, 2015.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B. H.C.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. *J. Environ. Qual.* 35:1599-1607. 2006.
- AMEZKETA, E. Soil aggregate stability: A review. *J. Sustain. Agric.* 14:83-151. 1999.
- ANGERS, D.A.; MEHUYS, G.R. Effects of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil Sci.*, 69:373-380, 1989.
- ANGERS, D. A.; PESANT, A.; VIGNEUX, J. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter, and microbial biomass. *Soil Science Society of America Journal*, 56(1), 115–119. 1992.
- ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. *Soil Sci. SOC. Am. J.* 44,1041-1044. 1980.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa*, v. 8, p. 221- 278, 2013.
- ANGHINONI, I; ASSMANN, J.M.; MARTINS, A.P.; COSTA, S. E.; CARVALHO, P.C.F. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. III Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil. UTFPR. Pato Branco-PR, 2011.
- ASSMANN, T. S.; BORTOLLI, M. A.; ASSMANN, A. L.; SOARES, A.B.; PITTA, C. S.R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLIENKE, C. L.; ASSMANN, J. M. Does cattle grazing of dual-purpose wheat accelerate the rate of stubble decomposition and nutrients released?. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190 37-42. 2014.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v.39, n.6, 2009.
- BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 28, p. 1261-1263, 1996.
- BALESDENT, J.; BESNARD, E.; ARROUAYS, D.; CHENU, C. The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a forest-cultivation sequence. *Plant Soil*, 201:49- 57, 1998.
- BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132(3–4), 243–251. 2009.
- BARTHAM, G.T. Experimental techniques: the HFRO sward stick. Hill Farming Research Organization/Biennial Report. p.30, 1985.

BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejos de solos. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo). Programa de Pós Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1996

BAYER, C.; DIECKOW, J.; AMADO, T.J.C.; ELTZ, F.L.F.; VIEIRA, F.C.B. Cover crop effects increasing carbon storage in subtropical no-till Sandy Acrisol. *Commun. Soil Sci> Pant* 40, 1499-1511. 2009.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 91, p. 217-226, 2006a.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de Carbono em frações lábeis na matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, 39: 677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no- till. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 86, p. 237-245, 2006b.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 65:1473-1478, 2001.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, p. 599-607, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on subtropical soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, 238:133-140, 2002.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; NANNI, M. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 36:79-87, 2012.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.46, p.1459-1466, 1995.

BLAKE, G.R.; HARTAGE, K.H. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Parte 1, 2. Ed., Agron. 9, p 364-367, 1986.

BLANCO- CANQUI, H.; LAL, R. Soil Resilience and Conservation. In: *Principles of Soil Conservation and Management*, Columbus: Springer Science Business Media B.V, p.15-33, 2010.

BOENI, M.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; CONCEIÇÃO, P.C.; DICK, D.P.; KNICKER, H.; SANTON, J.C.; MACEDO, M.C.M. Organic matter composition in density fractions of Cerrado Ferralsols as revealed by CPMAS ¹³C NMR: Influence of pastureland, cropland and integrated crop-livestock. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 190, p. 80-86, 2014.

BOHAC, E.A.F.; CÂMARA, D.S.G.M.; SEGATELLI, C.R. Estado nutricional e produção do capim-pé-degalinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. *Bragantia*, v.66, n.02, p.259-266, 2007

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.449-457, 2000.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; FERREIRA, A.O.; QUADROS NETO, C.; CANALLI, L.B.; DOS SANTOS, J.B. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. *Geoderma*, 170(0), 80–88. 2012.

BRUN, E.J. Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* em duas regiões do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado em Engenharia Floresta)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 119f. 2008

BÜLL, L.T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfato: alterações em propriedades químicas em um Latossolo vermelho-escuro e eficiência agrônômica. *Bragantia*, v.56, n.1, p.169-79, 1997.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 56, n 2, p. 777-783, 1992.

CAMPOS, B. H. C.; AMADO, T.J.C.; BAYER,C.; NICOLOSO, R.S.; FIORIN, J.E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, p. 805-817, 2011.

CAMPOS, B. H. C. Dinâmica do Carbono em Latossolo vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas. 2006. 188 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, J.P.C.; LOPES, M.L.T.; SILVA, J.L.S.; CONTE,O.; WESP, C.L.; LEVIEN,R.; FONTANELI, R.S.; BAYER,C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.88, p.259-273, 2010.

CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T.R.; MARTINS, A.P.; COSTA, S.E.V.G.A.; SILVA, F.D.; ASSMANN, J.M.; LOPES, M.L.T.; PFEIFER, F.M.; CONTE, O.; SOUZA, E.D. Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 60 p., 2011.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de Carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, p. 527–538. 1998.

CECAGNO, D. Carbono orgânico no solo em sistema integrado de produção agropecuária. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 70p. (Dissertação de Mestrado). 2015.

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*.2001.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. IN: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton: CRC Lewis. p. 97-165. 1996.

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: Dias 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30). 2000.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO.
Acompanhamento da safra brasileira – grãos – safra 2015/2016 – sétimo levantamento –
abril / 2016.

CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELIOTT, E. T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications*, Ithaca, v. 11, p. 343-355, 2001.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.777-788, 2005.

COSTA, S.E.V.G.A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P.; KUNRATH, T.R.; CECAGNO, D.; BALERINI, F. Impact of an integrated no-till crop–livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190 43–51. 2014.

CULMAN, S. W.; SNAPP, S. S.; FREEMAN, M. A.; SCHIPANSKI, M. E.; BENISTON, J.; LAL, R.; WANDER, M. M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Science Society of America Journal*, 76(2), 494–504. 2012.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. II Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Australian Journal of Soil Research*, Lismore, v. 24, p. 281-292, 1986.

DAMIAN, F. Distribuição espacial e temporal de placas de esterco e produtividade da soja em sistema de integração soja-bovinos de corte. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 2012.

DAVIDSON, E.A.; ACKERMAN, I.L. changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* 20, 161-193. 1993.

DE BONA, F.D. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 154p. Dissertação Mestrado. 2005.

DEFILIPPO, V. B. Análise Química do Solo. Viçosa: UFV. 36p. 1981.

DIAS, F. J.; JOBIM, C.C.; FILHO, J.L.S.; JUNIOR, V. H. B.; POPPI, E.C.; SANTELLO, G.A.; Compisição química e perdas totais de material seca na silage de planta de soja. *Acta Scientiarum. Animal Sciences Maringá*, v. 32, n. 1, p. 19-26, 2010.

DIEKOW, J. Estoque e qualidade da material orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no plantio direto. Porto Alegre, 2003. 164f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. *Plant and Soil*, 268(1), 319–328. 2005.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 28:505-517, 2004.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: *DYNAMICS of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: University of Hawai, Cap.2, p.33-67. 1989.

EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. *The Journal of Soil Science*, Oxford, v.18, p.64-73, 1967.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science* 75, 529-538. 1995.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 2006.

ERICH, M. S.; PLANTE, A. F.; FERNÁNDEZ, J. M.; MALLORY, E. B.; OHNO, T. Effects of profile depth and management on the composition of labile and total soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 76(2), 408–419.2012.

EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KOGEL-KNABNER, I. Stabilization of soil organic matter isolated via oxidative degradation. *Organic Geochemistry* 36: 1567–1575. 2005

FABRIZZI, K.P.; RICE, C.W.; AMADO, T.J.C.; FIORIN, J.; BARBAGELATA, P.; MELCHIORI, R. Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: effect of native and agroecosystems. *Biogeochemistry*, 92:129–143, 2009.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Investing in Sustainable Agricultural Intensification: The Role of Conservation Agriculture - A Framework for Action. Rome, Italy. 2008.

FELLER, C. Lá matière organique dans le sols tropicaux à argiles 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. These Doct. Es Science, Univ. Strasbourg (ULP). 393p.1994.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79(1–4), 69–116.1997.

FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F. de; LEITE, J.G.D.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em plantio direto em integração

lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.771-780, 2007.

FRANZLUEBBERS, A.J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Till. Res.*, 66:197–205, 2002.

FRANZLUEBBERS, A.J.; SAWCHIK, J.; TABOADA, M.A. Agronomic and environmental impacts of pasture-crop rotations in temperate North and South America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90, 18-26. 2014.

FERREIRA, A.O.; SÁ, J.C.M.; HARMS, M.G.; MIARA, S.; BRIEDIS, C.; NETO, C. Q.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L.B. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in Campos Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 36, p. 1583-1590, 2012.

GALE, W. J.; CAMBARDELLA, C. A.; BAILEY, T. B. Surface residue and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:196–201, 2000.

GHANI, A.; DEXTER, M.; PERROTT, K.W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 35:1231-1243, 2003.

GHIMIRE, R.; ADHIKARI, K.; CHEN, Z.-S.; SHAH, S.; DAHAL, K. Soil organic carbon sequestration as affected by tillage, crop residue, and nitrogen application in rice–wheat rotation system. *Paddy and Water Environment*, 10(2), 95–102. 2012.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.32, p.1043-1068, 1994.

HARKATIN, S. Aplicação de fosfatos em sistema integrado de produção agropecuária: aproveitamento pela soja e atributos quali- quantitativos do azevém anual. Ponta Grossa, 2014. 83f. Dissertação (Mestrado em Agricultura- Uso e manejo do solo). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2014.

HAVET, A.; COQUIL, X.; FIORELLI, J.L.; GIBON, A.; MARTEL, G.; ROCHE, B.; RYSCHAWY, J.; SCHALLER, N.; DEDIEU, B. Review of livestock farmer adaptations to increase forages in crop rotations in western France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190 120–127. 2014.

HAYNES, R. J.; FRANCIS, G. S. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science*, 44(4), 665–675. 1993.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient Cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. *Adv. Agron.* 49, 119-199. 1993.

HELFRICH, M.; FLESSA, H.; MIKUTTA, R.; DREVES, A.; LUDWIG, B. Comparison of chemical fractionations methods for isolating stable soil organic carbon pools. *Eur. J. Soil Sci.* 58: 1316-1329, 2007.

HÉNIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique du sol. *Annales Agronomiques*, Paris, v. 15, p. 161-172, 1945.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. Classificação climática-Segundo Köppen. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>. Acesso em: 01 junho. 2014.

IBGE, Censo Agropecuário 1920/2006. Até 1996, dados extraídos de: Estatísticas do Século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

JANSSEN, B. H. A simple method for calculating decomposition and accumulation of "Young" soil organic matter. *Plant and Soil*, The Hague, v. 76, p. 297-304, 1984.

JASTROW, J.D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, 28:665-676, 1996.

KAY, B. Soil structure and organic carbon: a review. In R. Lal, J. Kimble, R. Follett & B. Stewart (Eds.), *Soil Processes and the Carbon Cycle* (Vol. 198, pp. 169–197). 1998.

KAYSER, M.; ISSELSTEIN, J. Potassium Cycling and losses in grassland systems: a review. *Grass Forage Sci.* 60, 213-224. 2005.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: *Methods of soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods*. A. Klute (eds) (Monograph no.9, 2nd edn). ASA, Madison, Wis, America. 1986.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. *Implantação e Manejo do Plantio direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36p. (Embrapa Trigo, Documentos, 20). 2000.*

KOHL, R.A.; TAYLOR, S.A. Hydrogen bonding between the carbonyl group and wyoming bentonite. *Soil Science*, Baltimore, v.91, p.223-227, 1961.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, Amsterdam, v. 123, p. 1-22, 2004.

LAL, R. Soil science and the carbon civilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:1425- 1437. 2007.

LAL, R.; PIERCE, F.J. The vanishing resource. In LAL, R. & PIERCE, F.J. (Eds.) *Soil management for sustainability*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society. P. 1-15. 1991.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de Carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, p. 175-187, 2004.

LOWE, L.E. Total and labile polysaccharide analysis of soils. *Soil sampling and Methods of Analysis*. M.R. CARTER, Ed. Canadian Society of Soil Science. 373 – 376. 1993.

MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; COSTA, S.E.V.G.A.; CARLOS, F.S.; NICHEL, G.H.; SILVA, R.A.P.; CARVALHO, P.C.F. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 144, p. 141-149, 2014.

MARTINS, M. R; CORÁ, J.E.; JORGE, R.F.; MARCELO, A.V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage, *Soil & Tillage Research* 104:22-29, 2009.

MARTINS, M.R. Carbono Orgânico e polissacarídeos em agregados de um latossolo vermelho eutrófico em seqüências de culturas sob semeadura direta. Jaboticabal-SP. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp. 2008.

MATOS, M. A.; SALVI, J. V.; MILAN, M. Avaliação do custo indireto da pontualidade na semeadura direta da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) através da antecipação da adubação. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2005, Canoas - RS. Anais Conbea. Canoas - RS: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2005.

MAZZILLI, S. R.; KEMANIAN, A.R.; ERNST, O.R.; JACKSON, R.B.; PIÑEIRO, G. Greater humification of belowground than aboveground biomass carbon into particulate soil organic matter in no-till corn and soybean crops. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 85, p. 22-30, 2015.

McSHERRY, M.E.; RITCHIE, M.E. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Glob. Change Biol.* 19, 1347-1357. 2013.

MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas à produtividade, conservação e recuperação de solos. In: MONIZ, A. (Coord.). A responsabilidade social da ciência do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 109-116. 1988.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solos e culturas e sua relação com os estoques de Carbono e nitrogênio do solo. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v. 3, p. 209-248, 2003.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, p. 1-8. 1999.

MIKHA, M.M.; RICE, C.W. Tillage and manure effects on soil and aggregate associated carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:809–16, 2004.

MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J.; LANG, C.R. Sistemas de integração lavoura-pecuária no Sub-tropico da América do Sul: Exemplos do Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba. Anais. Curitiba: UFPR, CD-ROM. 2007.

MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S.E.V. G.A.; KUNRATH, T. R. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal Agronomy* 57 4–9 , 2014 .

MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; LUSTOSA, S.B.; BARRO, R.S.; PIVA, J.T.; SOUZA, E.D.; LANG, C.R. Sistemas integrados de produção agrícola e pecuária: caminhos para intensificação sustentável. Anais, FERTIBIO, Maceió-AL, 2012.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J.; CARVALHO, P.C.F.; CASSOL, L.C. Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil. In: MELLO, N.A., ASSMANN, T.S. (Eds.). I Encontro de integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. p.3-42. 2002.

NELSON, D.L.; COX, M.M. *Lehninger Principles of Biochemistry*, 3.ed. New York: Worths Publishers. 949p. 2000.

NICOLOSO, R. S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.A.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do Carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 2425-2433, 2008.

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

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76(1-3), 319-337, 1984.

OADES, J.M. Mucilages at the root surface. *The Journal of Soil Science*, Oxford, v.29, p.1-16, 1978.

OLIVEIRA, J. T.; MOREAU, A. M. S. S.; PAIVA, A. Q.; MENEZES, A. A.; COSTA, O. V. Características físicas e Carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 2821-2829, 2008.

OLOYA, T.O.; LOGAN, T.J. Phosphorus desorption from soils and sediments with varying levels of extractable phosphate. *J. Environ. Qual.* 9, 526-531. 1980.

PARFITT, R.L.; GREENLAND, D.J. Adsorption of polysaccharide by montmorillonite. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.34, 862-866, 1970.

PARTON, W. J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 51, p. 1173-1179, 1987.

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*. 32:911-920, 2008.

POLI, C. H. E. C.; MONTEIRO, A. L.; BARROS, C. S.; MORAES, A.; FERNANDES, M.A.M.; PIAZZETTA, H.V.L.; Produção de ovinos de corte em quatro sistemas de produção. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, p.666-673, 2008.

RAMOS, S.J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C.R.; SILVA, C.A. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. *Bragantia*, v.69, p.149-155, 2010.

REES, R. M.; BINGHAM, I.J.; BADDELEY, J.A.; WATSON, C.A. The role of plants and land management in sequestering soil carbon in temperate arable and grassland ecosystems. *Geoderma*, Amsterdam, v. 128, p. 130-154, 2005.

REICOSKY, D.; KEMPER, W.; LANGDALE, G.; DOUGLAS, C.; RASMUSSEN, P. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *Journal of Soil and Water Conservation*, 50(3), 253-261. 1995.

REIFUR, H.I. Dinâmica do fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. 72 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L. & CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.453-466, 2006.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

ROVIRA, P.; VALLEJO, V. R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma*, Amsterdam, v.107, n 1-2, p 109-141,2002.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de Carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 26, n.1, p. 24-32, Jan./Feb. 2010.

RUSSELE, M. P.; FRANZLEUBBERS, A. J. Introduction to symposium: integrated crop-livestock system for profit and sustainability. *Agronomy Journal*, v.99, p.323-324, 2007.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chornosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, v.104, p. 56-64, 2009.

SÁ, J. C. M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 136, 38–50.2014.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE-FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1486–1499, 2001.

SÁ, J.C.M.; SANTOS, J. B.; CARDOSO, E. G.; JUNIOR, D. S.; FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA, A.; SÁ, M. F. M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S. Usos alternativos da palhada residual da produção de sementes para pastagens. In: *Perspectivas do uso da palhada no “plantio direto”*. São Paulo: Embrapa, cap.10. p.193-221. 2006.

SÁ, J.C.M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P.R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J.B.; HARTMAN, D.C.; BERTOLONI C.G.; ROSA, J.; FRIDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. *Land Degradation & Development*. 24, 115. 2015.

SÁ, J.C.M. Adubação fosfatada no plantio direto. In: *Fósforo na Agricultura Brasileira*, (eds.) T.Yamada & Abdalla, S.R.S., São Pedro-SP, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e Fosfato, Piracicaba-SP, p.201-222, 726p. 2004.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Teor e dinâmica do Carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, jan./fev. 2008.

SALTON, J.C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura pastagem em ambiente tropical. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em ciência do solo, faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 158 p. 2005.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O.. Fundamentos da material orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Ed. Genesis, Porto Alegre, Brasil. 508 p. 1999.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; TOMM, G.O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. Acta Scientiarum. Agronomy, v.31, p.719-727, 2009.

SHI, X. M.; LI, X.G.; LI, C.T.; ZHAO, Y.; SHANG, Z.H.; MA, Q. Grazing exclusion decreases soil organic C storage at an alpine grassland of the Qinghai-Tibetan Plateau. Ecological Engineering, Amsterdam, v. 57, p. 183-187, 2013.

SILVA, E. F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHETTI, M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 46, p. 1321-1331, 2011a.

SILVA, F. D. Distribuição espacial e temporal de placas de esterco e produtividade da soja em sistema de integração soja-bovinos de corte. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SILVA, F. D. ; AMADO, T.C.J.; FERREIRA, A.O.; ASSMANN, J.M.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop-livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brasil. Agriculture, Ecosystems Environment, v. 190, p. 60-69, 2014.

SILVA, F.N.; FURTINI, A.E.; CARNEIRO, L.F.; MAGALHÃES, C.A.S.; CARNEIRO, D.N.M. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes em solos distintos. Ciência e Agrotecnologia, v.33, p.1220-1227, 2009.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017p. 2007.

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

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. DOS, KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R. B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M., Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. Soil & Tillage Research. 76, 39-58. 2004 .

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 2099–2103. 2000.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.; SÁ, J.C.M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Sciences*, v.22, p.755–775, 2002.

SOUSSANA, J. F.; LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190 9–17. 2014.

SOUZA, E. D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de Carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

SOUZA, E. D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; OLIVEIRA, E.V.F.; MARTINS, A.P.; CAO, E.; ANDRIGHETTI, M. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 1365-1374, 2010.

SOUZA, E. D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARNEIRO, M.A.C.; MARTINS, A.P.; BAYER, C. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 139, p. 28-36, 2014.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S. Carbono orgânico e fósforo microbiano em SIPA submetidos à intensidade de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008.

STÜRMER, S.L.K.; ROSSATO, S.B.; COPETTI, A.C.C.; SANTOS, D.R.; CALEGARI, A.; BRUM, B. 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, abr.-jun., 2011.

TABOADA, M.A.; RUBIO, G.; CHANETON, E.J. Grazing impacts on soil physical, chemical and ecological properties in forage production systems. In: HATFIELD, J.L.; SAUER, T.J. (Eds.), *Soil management: Building a Stable Base for Agriculture*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, p 301-320. 2011.

TISDALL, J.; OADES, J. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2), 141–163. 1982.

TIVET, F.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; SÁ, M.F.M.; HARTMAN, D.C.; EURICH, G.; FARIAS, A.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Geoderma*, 209–210, 214–225. 2013a.

TIVET, F.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; SANTOS, J. B.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D.C.; NADOLNY JUNIOR, M.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs

under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Soil and Tillage Research*, 126, 203–218. 2013b.

TORNQUIST, C.G.; MIELNICZUK, J. CERRI, C.E.P. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibiruba (Brazil) with the Century Model. *Soil Till. Res.* 105, 33-43. 2009.

VAN DEN BYGAART, A.J.; GREGORICH, E. G.; ANGERS, D.A. Influence of agricultural management on soil organic carbon: a compendium and assessment of Canadian studies. *Can. J. Soil Sci.* 83, 363-380. 2003.

VAN VEEN, J. A.; PAUL, E. A. Organic carbon dynamics in grassland soil. I. Background information and computer simulation. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 61, p. 185-201, 1981.

VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 184p. (Tese de Doutorado), 2001.

WAGGER, M.; CABRERA, M.; RANELLS, N. Nitrogen and carbon cycling in relation to cover crop residue quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(3), 214–218. 1998.

WANG, Y.; LONG, S. P.; ZHU, X. G. Elements required for an efficient NADP- malic enzyme type C4 photosynthesis. *Plant Physiology*, Waterbury, v. 164, p. 2231-2246, 2014.

WEIL, R.R., ISLAM, K.R.; STINE, M.A.; GRUVER, J.B.; SAMSON-LIEBIG, S.E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. of Alt. Agric.* 18: 3–17. 2003.

WERNER, J.C. Adubação de pastagens. Nova Odessa, Instituto de Zootecnia, 49p. (IZ. Boletim Técnico, 18). 1986.

WUDDIVIRA, M. N.; CAMPS-ROACH, G. Effects of organic matter and calcium on soil structural stability. *European Journal of Soil Science*, 58:722–727, 2007.

YANG, J.; GAO, W.; REN, S. Long-term effects of combined application of chemical nitrogen with organic materials on crop yields, soil organic carbon and total nitrogen in fluvo-aquic soil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 151, p. 67-74, 2015.

ZANATTA, J. A.; SALTON, J. C. Soil carbon sequestration affected by no-tillage and integrated crop-livestock systems in Midwestern Brazil. In: *WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE*, 19., 2010, Brisbane. Proceedings... Brisbane: WCSC, p.1-6. 2010.

ZINN, Y.L., R. LAL, AND D.V.S. RESCK. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil Tillage Res.* v.84, p.28–40, 2005.