

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

CARLOS AUGUSTO ROCHA DE MORAES REGO

**CONTRIBUIÇÕES DO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA
SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS, FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E
ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM LATOSSOLO VERMELHO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2019

CARLOS AUGUSTO ROCHA DE MORAES REGO

**CONTRIBUIÇÕES DO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA
SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS, FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E
ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM LATOSSOLO VERMELHO**

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

Orientador: Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientador: Dr. Jean Sérgio Rosset

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2019

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

Moraes Rego, Carlos Augusto Rocha de
Contribuições do sistema de integração lavoura-pecuária sobre os atributos químicos, frações da matéria orgânica e índice de manejo de carbono em Latossolo Vermelho / Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego; orientador(a), Paulo Sérgio Rabello de Oliveira; coorientador(a), Jean Sérgio Rosset, 2019.
68 f.

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

1. Carbono orgânico total. 2. Compartimentos de carbono orgânico. 3. Sistemas integrados de produção agropecuária. I. Oliveira, Paulo Sérgio Rabello de. II. Rosset, Jean Sérgio. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

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

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

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

Marechal Cândido Rondon - PR.



CARLOS AUGUSTO ROCHA DE MORAES REGO

Contribuições do sistema de integração lavoura-pecuária sobre os atributos químicos, frações da matéria orgânica e índice de manejo de carbono em Latossolo Vermelho

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

Orientador(a) - Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

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

Cláudio Yuji Tsutsumi

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

Leandro Rampim

Universidade Estadual do Centro-Oeste - Campus de Guarapuava (UNICENTRO)

Marechal Cândido Rondon, 21 de fevereiro de 2019

*Esta conquista à minha família que sempre acreditou em
mim e o quanto eu poderia ir longe,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos membros da minha família Ligia Rocha de Moraes Rego, Carlos José de Moraes Rego, Gabriel Victor Rocha de Moraes Rego e Ismael Felipe Rocha de Moraes Rego pelo imenso apoio durante toda a minha vida pessoal e acadêmica.

À minha companheira Bruna Penha Costa por estar sempre ao meu lado, apoiando e me incentivando em todos os momentos.

Aos companheiros de graduação, em especial aos amigos José Ahirton Lopes e José Eduardo Costa de Freitas por terem sido os exemplos de acadêmicos e principais incentivadores para galgar maiores níveis educacionais e incentivos a vida de pesquisador.

Aos professores do curso de Agronomia Bacharelado e Medicina Veterinária, em especial a Ariadne Enes Rocha, Juliane Borralho, Luciano Cavalcante Muniz, Ronaldo Menezes, Itaan de Jesus e Ana Maria Aquino, onde me aconselharam e foram verdadeiros orientadores em minha jornada acadêmica, contribuindo para a minha formação profissional.

Aos professores que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao meu orientador Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e coorientador Dr. Jean Sérgio Rosset, por todos os ensinamentos, pela dedicação e pela confiança depositada em mim e ao meu trabalho, serei eternamente grato.

Aos integrantes do grupo “GEPSIA” Andressa Perini, Eloisa Mattei, Jeferson Tiago Piano, Jonas Francisco Egewarth, Marinez Carpiski Sampaio, Lucas da Silveira e Vanessa Aline Egewarth.

Aos funcionários e professores da UNIOESTE por terem contribuído em momentos oportunos e dedicando esforços para que o trabalho pudesse ser conduzido da melhor forma possível.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia pela oportunidade de realização do Mestrado.

À secretária do PPGA Leila Dirlene Allievi Werlang pela paciência e dedicação ao realizar seu trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

*“Pedras no caminho? Guardo todas, um dia
vou construir um castelo”*

Fernando Pessoa

RESUMO

MORAES REGO, Carlos Augusto Rocha de, Mestre em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro de 2019. **Contribuições do sistema de integração lavoura-pecuária sobre os atributos químicos, frações da matéria orgânica e índice de manejo de carbono em Latossolo Vermelho.** Orientador: Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Coorientador: Dr. Jean Sérgio Rosset.

Um manejo sustentável deve considerar o solo um recurso a ser preservado, atuando para a melhoria de suas condições e o desenvolvimento satisfatório dos sistemas produtivos empregados. Diante disso, este trabalho objetivou avaliar os atributos químicos, teores de carbono orgânico total, frações físicas, estoques de carbono, frações químicas, oxidáveis e o índice de manejo de carbono em diferentes configurações de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) quando comparado entre si e entre as áreas de produção de feno e mata nativa em um Latossolo Vermelho na região de Oeste do Paraná. Foram avaliados nove sistemas de manejo de solo dos quais seis destes foram cultivados no período de inverno com diferentes densidades de aveia preta, 40 kg e 60 kg ha⁻¹, e frequências de pastejo, 0, 1 e 2, com sucessão de soja no verão (A40, 40ILP1, 40ILP2, A60, 60ILP1, 60ILP2), uma no período de inverno ocorreu a ressemeadura natural de azevém e nabo forrageiro (RNAN) e sucessão de soja no verão e dois sistemas de manejo como testemunhas, sendo uma de produção de feno de capim Tifton 85 (Fenação) e fragmento de mata nativa (Mata). Em cada área foram coletadas amostras representativas das camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, onde foram determinados os atributos químicos: potencial hidrogeniônico (pH), fosforo (P), acidez potencial (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V), carbono orgânico total (COT), frações físicas granulométricas (carbono orgânico particulado - COP e associados aos mineiras - COAM), estoques de carbono (EstCOT, EstCOP, EstCOAM), frações químicas (ácidos fúlvicos - AF, ácidos húmicos - AH e humina - HUM), oxidáveis (F1, F2, F3 e F4) e o índice de manejo de carbono (IMC), sendo comparado os manejos entre si por Tukey e os manejos pelas testemunhas por Dunnett. Em relação aos atributos químicos foram observadas diferenças dos manejos com as áreas testemunhas, indicando manutenção no conteúdo de nutrientes ao solo. Em relação ao COT os manejos que empregaram pastejo não diferiram das áreas testemunhas. Para as frações físicas granulométricas todos os manejos contribuíram para a adição de resíduos para o COP quando comparado as áreas testemunhas, enquanto que para o COAM não foi possível observar melhorias dos manejos. Foram observados manutenção

nos teores de carbono das substâncias húmicas, principalmente em profundidade, e das frações oxidáveis F1, F3 e F4 quando comparado as testemunhas. Em relação ao índice de manejo de carbono (IMC) os manejos não diferiram das áreas testemunhas, demonstrando que os mesmos proporcionaram manutenção no conteúdo de carbono do solo. As diferentes configurações de SIPA, especialmente em 60ILP1 e 60ILP2, contribuíram para a manutenção e, ou, em alguns casos incremento, dos atributos químicos, carbono orgânico total, frações físicas, estoques de carbono, frações químicas, oxidáveis e o índice de manejo de carbono quando comparado aos demais manejos e as testemunhas.

Palavras-chave: Carbono orgânico total. Compartimentos de carbono orgânico. Sistemas integrados de produção agropecuária.

ABSTRACT

MORAES REGO, Carlos Augusto Rocha de, Master in Agronomy, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, In February 2019. **Contribution of the crop-livestock integration system on chemical attributes, organic matter fractions and carbon management index in Red Latosol.** Advisor: Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Co-Advisor: Dr. Jean Sérgio Rosset.

Sustainable management should consider the soil a resource to be preserved, working to improve their conditions and the satisfactory development of production systems employed. The objective of this work was to evaluate the chemical attributes, total organic carbon, physical fractions, carbon stocks, chemical and oxidizable fractions and the carbon management index in different configurations of integrated systems of agricultural production (SIPA) when compared among themselves and between production hay and native forest areas in a Red Latosol in the western region of Paraná. Nine soil management systems were evaluated, six of which were cultivated in the winter with different densities of black oats, 40 kg and 60 kg ha⁻¹, and grazing frequencies, 0, 1 and 2, with soybean succession in summer (A40, 40ILP1, 40ILP2, A60, 60ILP1, 60ILP2), one in the winter period occurred natural reseeding ryegrass and forage turnip (RNAN) and soybean succession in summer and two management systems as witnesses, being one of hay production of Tifton 85 hay (Haying) and native forest fragment (Forest). In each area samples representative of the layers of 0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m, where the chemical attributes were determined: hydrogen potential chemical properties (pH), phosphorus (P), potential acidity (H⁺Al) potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sum of bases (SB), cation exchange capacity (CEC), base saturation (V), total organic carbon (TOC), carbon stock, fractions chemical (fulvic acids - FA, humic acids - HA and humic - HUM), oxidizable (F1, F2, F3 and F4) and physical grain size (particulate organic carbon - POC and associated with mining - AMOC) SOM and carbon management index (CMI), it is compared the managements together by Tukey and managements by the witnesses by Dunnett. Regarding the chemical characteristics were observed differences in managements areas witnesses, indicating maintenance of the contents of nutrients to the soil. Regarding TOC, the grazing management did not differ from the control areas. For the physical granulometric fractions all the managements contributed to the addition of residues to the POC when compared to the control areas, whereas for the AMOC it was not possible to observe improvements of the managements. Were observed maintaining the carbon content of the humic substances, particularly in depth, and of the oxidizable fractions F1, F3 and F4 when compared the areas witnesses. With respect to carbon

management index (CMI) are management areas did not differ from witnesses, demonstrating that they provided maintenance on soil carbon content. The different configurations of SIPA, especially in 60ILP1 and 60ILP2, contributed to the maintenance and, or, in some cases, increase, among the chemical attributes, total organic carbon, physical fractions, carbon, chemical fractions, oxidizable and carbon management index when compared to other managements and the witnesses.

Keywords: Total organic carbon. Compartments of organic carbon. Integrated systems of agricultural production.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
2. CAPÍTULO I - ATRIBUTOS QUÍMICOS, FRAÇÕES FÍSICAS GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	10
2.1 INTRODUÇÃO.....	12
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	13
2.2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	13
2.2.2 SISTEMAS AVALIADOS E HISTÓRICOS DE USO	14
2.2.3 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO E AVALIAÇÕES	16
2.2.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	17
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
2.3.1 ATRIBUTOS QUÍMICO DO SOLO	18
2.3.2 CARBONO ORGÂNICO TOTAL, FRAÇÕES FÍSICAS E ESTOQUES	21
2.3.3 ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO.....	24
2.4 CONCLUSÕES	27
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
3. CAPÍTULO II - FRACIONAMENTO QUÍMICO E OXIDÁVEL DA MATÉRIA ORGÂNICA E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	31
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	34
3.2.2 SISTEMAS AVALIADOS E HISTÓRICOS DE USO	34
3.2.3 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO E AVALIAÇÕES	34
3.2.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	36
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.3.1 CARBONO ORGÂNICO TOTAL E FRAÇÕES QUÍMICAS.....	36
3.3.2 FRAÇÕES OXIDÁVEIS, LÁBIL E NÃO LÁBIL	40

3.3.3	ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO.....	43
3.4	CONCLUSÕES	45
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
	ANEXOS	50

1. INTRODUÇÃO GERAL

Na tentativa de minimizar os impactos ocasionado pela substituição de áreas naturais por ambientes de exploração agropecuária tem-se observado o emprego de usos e manejos do solo que presam a conservação dos recursos naturais e o emprego de técnicas e conceitos agrícolas sustentáveis, afim de obter maior preservação do ambiente edáfico, dos ciclos biológicos existentes e da produtividade agropecuária (SILVA et al., 2011).

A sustentabilidade de qualquer sistema de produção agropecuário advém da necessidade de um ambiente edáfico adequado, principalmente em relação aos seus atributos químicos, físicos, biológicos e da adição de matéria orgânica do solo (MOS). Diante disso, o emprego de manejos que explorem de maneira conservacionista o solo tem como base promover melhorias sobre a qualidade e sustentabilidade dos recursos naturais, além de contribuem para uma produção sustentável (SALTON et al., 2011).

A adoção de sistemas produtivos que integram a agricultura e a pecuária numa mesma área, comumente chamado de sistema integrado de produção agropecuária (SIPA), vem se tornando comum em diversas regiões do Brasil (LOSS et al., 2014; CARVALHO et al., 2016). Esse tipo de manejo tem contribuído para a substituição de sistemas convencionais, com intensivo revolvimento de solo e baixa adição de MOS, por serem uma alternativa para minimizar os impactos sobre os recursos naturais, recuperação de áreas degradadas e marginais dentro das propriedades e redução da necessidade de abertura de novas áreas (CARVALHO et al., 2016).

O manejo integrado de atividades dentro da mesma área tem oferecido inúmeros benefícios, a saber: acréscimo no conteúdo da MOS, pela adição de diferentes resíduos vegetais e animais, aumento na eficiência no uso do solo, melhorias sobre os atributos edáficos, redução na incidência de pragas, doenças e plantas daninhas e, consequentemente, proporcionando um incremento de renda aos produtores (GUARESCHI et al., 2013; LOSS et al., 2014).

Segundo Loss et al. (2014), a adoção do SIPA é apontada como alternativa promissora, afim de minimizar os impactos sobre o solo contribuindo para melhoria de seus atributos físicos, químicos e biológicos, além de serem eficientes na mitigação e sequestro de gases do efeito estufa, principalmente do dióxido de carbono (CO₂) atmosférico.

A sustentabilidade de sistemas produtivos agropecuários está ligada diretamente à qualidade do solo, sendo esta avaliação, muitas das vezes, uma tarefa árdua e de difícil

mensuração, tendo em vista a complexidade dos processos envolvidos no ambiente edáfico (VEZZANI; MIELNICZULK, 2009).

Vezzani e Mielniczulk (2009) e Melo et al. (2017) relatam a necessidade no estabelecimento de indicadores da qualidade do solo (IQS), assim como existem para a qualidade do ar e da água, que possam refletir a condição de determinado uso ou manejo adotado e que tais valores padrões possam ser reproduzidos de forma satisfatória para cada tipo de solo, condições climáticas para cada região do globo terrestre.

Segundo Murphy et al. (2006) e Vezzani e Mielniczulk (2009), os IQS são propriedades mensuráveis que servem como sinalizadores da situação em que se encontrar o solo pelo uso e manejo empregado. Alguns exemplos de indicadores já descritos para verificar a qualidade do solo são os atributos físicos (LOSS et al., 2014; CARVALHO et al., 2016; MASCARENHAS et al., 2017), químicos (ROSSET et al., 2016; SIGNOR et al., 2016; MELO et al., 2017) e biológicos (CARVALHO et al., 2016; MELO et al., 2017).

A escolha de um conjunto de indicadores que apresentem características como facilidade de avaliação, sensibilidade às variações de manejo em curto prazo, ao clima e a possibilidade de medições por métodos quantitativos ou qualitativos é de fundamental importância para avaliação da qualidade do solo (CASALINHO et al., 2007). Na prática os IQS ideais devem representar fidedignamente a situação do solo, além de serem passíveis de reprodução e apresentarem baixo custo de avaliação (VEZZANI; MIELNICZULK, 2009).

Dentre as opções de IQS os atributos químicos tem sido alvo de grandes estudos a partir da determinação do carbono da MOS, a qual se apresenta como uma alternativa de baixo custo e de alta sensibilidade as modificações resultantes das ações antrópicas, além de desempenhar importante interação sobre os demais atributos, em especial sobre os aspectos de fertilidade, estruturação física e microbiologia do solo, correlacionando positivamente sobre a melhoria destes (LOSS et al., 2014; MELO et al., 2017).

A MOS integra a base fundamental para a sustentabilidade e produtividade dos sistemas de manejos participando e interagindo diretamente sobre as condições químicas, físicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, sobre a eficiência nutricional, e portanto, sendo importante indicadora da qualidade do solo (COSTA et al., 2013). Tendo essa atuação sobre as reservas de nutrientes, influência direta sobre a infiltração e retenção de água, estruturação e menor susceptibilidade do solo à erosão, ciclagem de nutrientes, capacidade de troca de cátions, complexação de elementos tóxicos e estimulação da macro e microbiota edáfica (CONCEIÇÃO et al., 2005).

A MOS é constituída por todas as substâncias orgânicas carbonadas, a qual o carbono representa cerca de 40 a 60% de sua composição, sendo o principal reservatório do carbono fixado ao solo, resultante de um sistema complexo de substâncias cuja dinâmica é governada pelo aporte de resíduos orgânicos de diversas naturezas e pelas transformações contínuas ocasionadas através da ação biológica dos microrganismos (HAYES, 2009; KLOSTER et al., 2016).

A MOS tem em sua composição seres vivos e não-vivos. A parte viva corresponde a raízes de plantas e os organismos do solo, não ultrapassando 4% do carbono orgânico total (COT) do solo, enquanto que a parte não-viva, representada pelos resíduos das plantas em decomposição, substâncias húmificadas e as não húmificadas, constituindo cerca de 96% restantes (PULROLNIK, 2009).

Segundo Roscoe et al. (2006), existem três reservatórios da MOS, a saber: transitório - composta pelos resíduos orgânicos, exsudatos da microbiota e raízes, microrganismos e outros compostos orgânicos de fácil decomposição; húmificadas - composta pelos materiais recalcitrantes do solo (substâncias húmicas), além do material carbonizado; e biomassa - formada pela macrofauna, mesofauna e microbiota do solo.

A MOS desempenha diversas funções no ambiente, desde fornecimento de substrato para a manutenção dos seres vivos até atuação sobre os atributos químicos, físicos e biológicos, a qual sua perda pode interferir drasticamente nos demais componentes do solo, provocando desequilíbrio no sistema e, conseqüentemente, ocasionando o início do processo de degradação do solo (ROSCOE et al., 2006).

A quantificação da MOS tanto em relação aos teores totais quanto de seus diferentes compartimentos permite mensurar a influência dos diferentes usos e manejos sobre o solo, servindo como indicador na avaliação da qualidade edáfica (CHAN et al., 2001; KLOSTER et al., 2016). Segundo Chan et al. (2001) a determinação dos teores de COT é um ponto de partida para entender as modificações ocasionados pelos diferentes manejos.

De acordo com Chan et al. (2000) e Leite et al. (2004), a determinação apenas do COT pode não ser um indicador tão sensível de mudanças na qualidade do solo e, nos últimos anos, a sua determinação vem sendo sistematicamente quantificada tanto na forma de teores totais quanto em diferentes compartimentos no solo a partir de técnicas de fracionamento da MOS.

O uso das técnicas de fracionamento da MOS tem como finalidade separar as frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função obtendo assim resultados detalhados e conclusivos sobre a influência dos sistemas de manejo e da sua sustentabilidade, demonstrando

a heterogeneidade dos diferentes componentes dentro da MOS e suas influências em relação a atuação do manejo sobre o solo (CHRISTENSEN, 2000).

As técnicas de fracionamento possibilitam a realização de estudos mais detalhados do conteúdo de carbono da MOS em seus diversos compartimentos, bem como sua relação com o manejo, visando assim elaborar estratégias para utilização sustentável dos solos, minimizando o impacto da atividade agropecuária e permitindo melhor entendimento de sua dinâmica (FREIXO et al., 2002).

Existem várias formas de realizar o fracionamento da MOS, dentre elas, se destacam o fracionamento químico ou das substâncias húmicas (SWIFT, 1996; MENDONÇA; MATOS, 2017), oxidável (CHAN et al., 2001), físico granulométrico (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992) e outros.

O fracionamento químico ou das substâncias húmicas (SH) é um método proposto por Swift (1996), a qual se baseia na solubilidade de suas frações em meio aquoso, sendo estas divididas em: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HUM), apresentando em torno de 70 a 90% do conteúdo de COT no solo (GUERRA et al., 2008; ROSSET et al., 2016; MENDONÇA; MATOS, 2017).

As SHs constituem o compartimento da MOS de maior reatividade, por isso encontram-se envolvidas na maioria das reações químicas edáficas, fortemente relacionadas à fertilidade do solo (CUNHA et al., 2007; ROSA et al., 2017). Segundo Benittes et al. (2010), estas frações podem demonstrar as modificações ocasionada pela conversão de áreas naturais em ambientes agrícolas, propondo que a caracterização dessas frações apresentem grande potencial na avaliação de alterações na qualidade do solo.

O fracionamento oxidável é um método proposto por Chan et al. (2001), a qual tem como princípio básico quantificar os diferentes graus de oxidação da MOS por meio de concentrações crescentes de ácido sulfúrico, sobre a amostra de solo com a solução de dicromato de potássio, possibilitando analisar o impacto da interferência do manejo sobre as frações do solo com diferentes graus de resistência a degradação (RANGEL et al., 2008).

Segundo Chan et al. (2001), esta técnica separa a MOS em quatro frações: F1, F2, F3 e F4, em que as duas primeiras tem relação direta sobre a disponibilidade de nutrientes e estruturação dos macroagregados e as duas últimas com compostos de maior estabilidade química e portanto maior resistência a degradação (RANGEL et al., 2008; GUARESCHI et al., 2013).

As frações oxidáveis possuem diferentes graus de recalcitrância resultando em informações referentes à labilidade do carbono orgânico do solo, fundamentais para os

estudos de qualidade edáfica, visando compreender sua perda e consequente compartimentalização no solo (MARTINS et al., 2015). Segundo Guareschi et al. (2013) e Rosset et al. (2016) com este fracionamento é possível avaliar também a qualidade edáfica em estudo com cronossequência de manejo do solo.

O fracionamento físico granulométrico, proposto por Cambardella e Elliott (1992), permite quantificar os teores de carbono da MOS associados aos minerais do solo, obtendo dessa técnica as frações pertinentes ao carbono orgânico particulado associado a fração areia (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais, silte e argila (COAM).

Em relação as características do COP, no qual representa partículas orgânicas maiores que 53 μm , é a parte do carbono obtido dos resíduos orgânicos recém incorporados ao solo e devido ao seu estágio de decomposição é tida como de alta labilidade apresentando alta taxa de reciclagem devido os constituintes orgânicos que fazem parte deste (GOLCHIN et al., 1994; CHRISTENSEN, 1996). Enquanto o COAM está associado às partículas menores que 53 μm , tendo maior recalcitrância ao ataque microbiano, devido à forte relação que a matéria orgânica tem na formação de complexos organominerais protegidos pela fração coloidal do solo (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992; LOSS et al., 2014).

A partir dos resultados obtidos com a relação dos diferentes fracionamento da MOS outra alternativa para verificar a sustentabilidade solo de determinado manejo seria pela utilização do índice de manejo de carbono (IMC), sugerido por Blair et al. (1995), que leva em consideração aspectos da labilidade da MOS e permite comparar as mudanças que ocorrem nos teores de COT e das frações em consequência do uso e manejo do solo.

A determinação desse índice permite observar o quanto de fato os sistemas de manejo podem ser superior ou igual as áreas referencias, no caso uma mata nativa ou pastagem (100), evidenciando a capacidade desses de melhorar a qualidade do solo e promover a sustentabilidade do agroecossistema. Enquanto que valores inferiores a 100 são indicativos de impacto negativo das práticas de manejo adotada sobre os teores de carbono do solo (BLAIR et al., 1995; SILVA et al., 2011).

Diante do presente exposto, este trabalho tem como hipótese que a adoção de diferentes configurações de SIPA tendem a contribuir na melhoria dos atributos químicos do solo, no aumento dos teores de carbono total e das diferentes frações da matéria orgânica do solo e índice de manejo de carbono quando comparado entre si e entre as áreas de produção de feno e mata nativa. Para avaliar essa hipótese, esta dissertação foi dividida em dois capítulos com diferentes objetivos:

Capítulo I, intitulado de “Atributos químicos, frações físicas granulométricas da matéria orgânica e índice de manejo de carbono em sistemas integrados de produção agropecuária”, que teve como objetivo avaliar os atributos químicos, carbono orgânico total, frações físicas granulométricas, estoques de carbono e o índice de manejo de carbono em diferentes configurações de sistemas integrados de produção agropecuária quando comparado entre si e entre as áreas de produção de feno e mata nativa em um Latossolo Vermelho na região de Oeste do Paraná.

Capítulo II, intitulado de “Fracionamento químico e oxidável da matéria orgânica e índice de manejo de carbono em sistemas integrados de produção agropecuária”, que teve como objetivo avaliar a qualidade do solo a partir das frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica e o índice de manejo de carbono em diferentes configurações de sistemas integrados de produção agropecuária quando comparado entre si e entre as áreas de produção de feno e mata nativa em um Latossolo Vermelho na região de Oeste do Paraná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAIR, G. J. et al. 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, n.7, p.1459-1460, 1995.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n.3, p.777-783, 1992.
- CARVALHO, J. S. et al. Evolution of physical, chemical, and biological attributes of hydromorphic soil under crop-livestock integration systems in the Pampa biome. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1131-1139, 2016.
- CASALINHO, H. D. et al. Soil quality as an indicator of agroecosystem sustainability. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.2, p.195-203, 2007.
- CHAN, K. Y. et al. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v.166, n.1, p.61-67, 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, 1996. p.97-165.
- CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil**: structure, function and turnover. Tjele: DIAS. 2000. 95p. (DIAS Report. Plant Production, 30).
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.777-788, 2005.
- COSTA et al. Soil organic matter and its role in the maintenance and productivity of agricultural systems. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.1842-1860, 2013.
- CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, v.37, n.1, p.91-98, 2007.
- FREIXO, A. A. et al. Carbon and nitrogen storage and organic fraction distribution of a cerrado oxisol under different cultivation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.2, p.425-434, 2002.
- GOLCHIN, A. et al. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, n.2, p.285-309, 1994.
- GUARESCHI, R. F. et al. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. **Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.242-250, 2013.

GUERRA, J. G. M. et al. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.19-26.

HAYES, M. H. B. Evolution of concepts environmental natural nonliving organic matter. In: Senesi, N.; Xing, B.; Min Huang, P. (Ed). **Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems**. John Wiley. New Jersey. 2009. p.2-40.

KLOSTER, N. et al. Análisis del carbono total, orgánico e inorgánico en suelos de la región semiárida pampeana Argentina. **Ciencia del Suelo**, v.34, n.2, p.365-372, 2016.

LEITE, L. F. C. et al. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.2, p.347-358, 2004.

LOSS, A. et al. Granulometric and oxidizable fractions of organic matter under different land use systems in the state of Paraná, Brazil. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p.43-54, 2014.

MARTINS, C. M. et al. Fraction of organic matter in soil under deciduous formations in the north of minas. **Revista Caatinga**, v.28, n.4, p.10-20, 2015.

MASCARENHAS, A. R. P. et al. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.37, n.89, p.19-27, 2017.

MELO, V. F. et al. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.11, n.2, p.101-110, 2017.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. 2. ed. rev. atual. Viçosa: UFV, Gefert, 2017. 221p.

MURPHY, C.A. et al. Effects of cultivation history and current grassland management on soil quality in northeastern Kansas. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.61, n. 2, p.75-89, 2006.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 36p.

RANGEL, O. J. P. et al. Oxidizable organic carbon fractions in a latosol cultivated with coffee at different planting spacings. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.2, p.429-437, 2008.

ROSA, D. M. et al. Humic substances in soil cultivated with cover crops rotated with maize and soybean. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.2, p.221-230, 2017.

ROSCOE, R. et al. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.17-42.

ROSSET, J. S. et al. Chemical and oxidizable fractions of soil organic matter under different management systems in an Oxisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1529-1538, 2016.

SALTON, J. C. et al. Contents and dynamics of soil carbon in integrated crop-livestock systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1349-1356, 2011.

SIGNOR, D. et al. Soil chemical attributes and organic matter quality in sugarcane harvest systems with and without burning. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1438-1448, 2016.

SILVA, E. F. et al. Labile and recalcitrant fractions of soil organic matter under integrated crop-livestock system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Eds) **Methods of soil analysis: chemical methods**. Madison: Soil Science Society American, v.3, 1996. p.1011-1020. (SSSA. Book Series, 5).

VEZZANI, F. M.; MIELNICZULK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.743-755, 2009.

2. CAPÍTULO I - ATRIBUTOS QUÍMICOS, FRAÇÕES FÍSICAS GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo avaliar os atributos químicos, carbono orgânico total, frações físicas granulométricas, estoques de carbono e o índice de manejo de carbono em diferentes configurações de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) quando comparado entre si e entre as áreas de produção de feno e mata nativa em um Latossolo Vermelho na região de Oeste do Paraná. Foram avaliados nove sistemas de manejo de solo dos quais seis destes foram cultivados no período de inverno com diferentes densidades de aveia preta, 40 kg e 60 kg ha⁻¹, e frequências de pastejo, 0, 1 e 2, com sucessão de soja no verão (A40, 40ILP1, 40ILP2, A60, 60ILP1, 60ILP2), uma no período de inverno ocorreu a ressemeadura natural de azevém e nabo forrageiro (RNAN) e sucessão de soja no verão e dois sistemas de manejo como testemunhas, sendo uma de produção de feno de capim Tifton 85 (Fenação) e fragmento de mata nativa (Mata). Em cada área foram coletadas amostras representativas das camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, sendo determinados os atributos químicos: potencial hidrogeniônico (pH), fosforo (P), acidez potencial (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V), carbono orgânico total (COT), frações físicas granulométricas (carbono orgânico particulado - COP e associados aos mineiras - COAM), seus respectivos estoques (EstCOT, EstCOP e EstCOAM) e o índice de manejo de carbono (IMC). Foram observadas diferenças nas variáveis P, CTC, COT e EstCOT entre os manejos em si e em grande parte estes não diferiram das áreas testemunhas. Nas variáveis COP e EstCOP a maioria dos manejos apresentaram diferenças superiores e COAM e EstCOAM inferiores quando comparado a área de mata e não diferindo da fenação. As diferentes configurações de SIPA, especialmente em 60ILP1 e 60ILP2, proporcionaram modificações dos atributos químico, carbono orgânico total, carbono orgânico particulado, estoques e índice de manejo de carbono quando comparado aos demais manejos e as testemunhas.

Palavras-chaves: Carbono orgânico do solo. Integração lavoura-pecuária. Latossolo Vermelho.

CHEMICAL ATTRIBUTES, GRANULOMETRIC PHYSICAL FRACTIONS OF ORGANIC MATTER AND CARBON MANAGEMENT INDEX IN INTEGRATED AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT

This work aims to evaluate the chemical attributes, total organic carbon, physical granulometric fractions, carbon stocks and the carbon management index in different configurations of integrated agricultural production systems (SIPA) when compared to each other and between areas of the production hay and native forest in a Red Latosol in the western region of Paraná. Nine soil management systems were evaluated, six of which were cultivated in the winter with different densities of black oats, 40 kg and 60 kg ha⁻¹, and grazing frequencies, 0, 1 and 2, with soybean succession in summer (A40, 40ILP1, 40ILP2, A60, 60ILP1, 60ILP2), one in the winter period occurred natural reseeding ryegrass and forage turnip (RNAN) and soybean succession in summer and two management systems as witnesses, being one of hay production of Tifton 85 hay (Haying) and native forest fragment (Forest). In each area representative samples were collected from the layers of from 0.00 to 0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m, being determined the chemical attributes: hydrogen ionic potential (pH), phosphorus (P), potential acidity (H+Al), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sum of bases (SB), cation exchange capacity (CEC), base saturation (V), total organic carbon (TOC), physical granulometric fractions (particulate organic carbon - POC and associated with the mines - MAOC) of organic matter of soil, their respective stocks (EstTOC, EstPOC and EstMAOC) and the carbon management index (CMI). There were differences in the variables P, CEC, TOC and EstTOC between managements itself and much of these areas did not differ from controls. In the variables POC and EstPOC, the majority of the managements showed higher differences and lower MAOC and EstMAOC when compared to the forest and not differing from the haying. The different configurations of SIPA, especially in 60ILP1 and 60ILP2, provided modifications of the chemical attributes, total organic carbon, particulate organic carbon and carbon management index when compared to other managements and witnesses.

Keywords: Organic soil carbon. Integration of crop-livestock. Red Latosol.

2.1 INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo para produção agropecuária concomitante ao manejo inadequado tem causado a degradação do mesmo, por isso o emprego de sistemas produtivos que explorem de maneira conservacionista, além de contribuir para uma produção sustentável, são indicados por promoverem a preservação sobre o ambiente edáfico, dos recursos naturais e sobre sustentabilidade do próprio sistema produtivo (COSTA et al., 2015).

Na tentativa de equilibrar a produção agropecuária com a conservação do solo foram desenvolvidos novos conceitos com base na preservação, ciclagem de nutrientes e diversificação de culturas, a qual a intensificação produtiva, vegetal e animal, em sucessão, rotação ou consorcio dentro de uma mesma unidade produtiva permite corroborar para melhorias dos atributos químicos, físicos e biológicos e aumentos na produtividade das atividades envolvidas (SILVA et al., 2011; COSTA et al., 2015).

Nos últimos anos a adoção de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) vem se destacado por explorarem de maneira sustentáveis diversas atividades de forma concatenadas e sinérgicas numa mesma unidade produtiva capaz de obter resultados satisfatórios sobre os rendimentos produtivos das explorações, em relação a preservação do solo, pois são capazes de preservar, em alguns casos aumentarem, a capacidade produtiva do solo, na redução na incidência de pragas, doenças e plantas daninhas e, conseqüentemente, incremento a renda aos produtores e menor impacto ambiental por abertura de novas áreas (SALES et al., 2018).

Loss et al. (2014) e Costa et al. (2015), em Latossolo Vermelho, relataram que a adoção do SIPA é eficiente em relação a manutenção e, ou, melhorias na disponibilidade de nutrientes, teores de carbono orgânico total (COT), estoque de carbono, no processo de humificação, frações físicas granulometrias da MOS, além de melhorias sobre os atributos físicos.

A avaliação de diferentes sistemas de manejos em relação aos teores de nutriente do solo e ao decréscimo ou acréscimo de carbono nos diferentes compartimentos da MOS podem permitir a mensuração do grau de preservação dos sistemas produtivos, e auxiliar na detecção dos possíveis impactos causados (SILVA et al., 2011). O estudo dos compartimentos da MOS, como a realização do fracionamento físico granulométrico, pode auxiliar na avaliação das modificações ocorridas em um curto período de tempo devido à sua maior sensibilidade frente ao manejo adotado (CONCEIÇÃO et al., 2005).

A técnica de fracionamento físico granulométrico permite determinar o carbono associado à fração mineral mais grosseira no solo, areia, conhecida como fração particulada

(COP) e à fração associada aos minerais de menor tamanho, silte e argila, como fração mineral (COAM). A fração COP desempenha importante função na ciclagem de nutrientes, sendo considerada uma fração lábil no solo, enquanto a fração COAM possui avançado grau de humificação, sendo menos sensível às alterações relacionadas ao manejo do solo, principalmente em curto prazo (BAYER et al., 2004; CONCEIÇÃO et al. 2005).

A partir da determinação do carbono das frações físico granulométricas da MOS é possível determinar o índice de manejo de carbono (IMC), proposto por Blair et al. (1995), a qual 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 (ROSSI et al., 2012).

Os valores de IMC superiores ou semelhantes ao da área referência (100), áreas nativas, evidenciam a capacidade dos diferentes manejos em melhorar a qualidade do solo em relação a fração orgânica do mesmo, promovendo a sustentabilidade do agroecossistema em regiões tropicais, enquanto que valores abaixo da referência são indicativos de impacto negativo sobre a fração orgânica do solo (BLAIR et al., 1995; CONCEIÇÃO et al. 2014), consequentemente sobre a sustentabilidade do uso do solo pelo sistema produtivo adotado.

Diante do exposto este trabalho tem como objetivo avaliar os atributos químicos, carbono orgânico total, frações físicas granulométricas, estoques de carbono e o índice de manejo de carbono em diferentes configurações de sistemas integrados de produção agropecuária quando comparado entre si e entre as áreas de produção de feno e mata nativa em um Latossolo Vermelho na região de Oeste do Paraná.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1

Local do Experimento

O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental “Professor Antônio Carlos dos Santos Pessoa”, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizada no município de Marechal Cândido Rondon, estado do Paraná, sob as coordenadas 24°3’58,24” S e 54°0’11,08” W e com altitude de 390 metros.

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Cfa, mesotérmico úmido subtropical de inverno seco, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano e verões quentes com temperatura média anual entre 22 a 23 °C e precipitação média anual de 1600 a 1800 milímetros (ALVARES et al., 2014). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico (LVe) (SANTOS et al., 2013) de textura muito argilosa,

apresentando na camada de 0,00 a 0,10 m valores de 681,0 g kg⁻¹ de argila, 266,5 g kg⁻¹ de silte e 52,5 g kg⁻¹ de areia e para a camada de 0,10 a 0,20 m valores de 751,5 g kg⁻¹ de argila, 199,1 g kg⁻¹ de silte e 49,4 g kg⁻¹ de areia.

2.2.2

Sistemas Avaliados e Históricos de Uso

Foram avaliados nove sistemas de manejo de solo dos quais seis destes foram cultivados no período de inverno com diferentes densidades de aveia preta, 40 kg e 60 kg ha⁻¹, e frequências de pastejo, 0, 1 e 2, com sucessão de soja no verão (A40, 40ILP1, 40ILP2, A60, 60ILP1, 60ILP2), uma no período de inverno ocorreu a ressemeadura natural de azevém e nabo forrageiro (RNAN) e sucessão de soja no verão e dois sistemas de manejo como testemunhas, sendo uma de produção de feno de capim Tifton 85 (Fenação) e fragmento de mata nativa (Mata) (Figura 1).

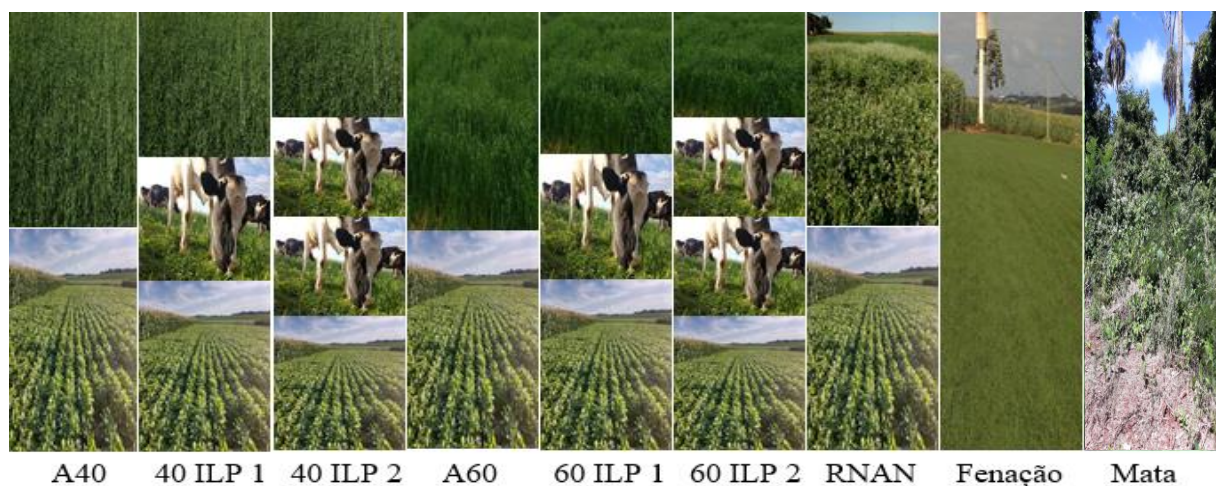


Figura 1. Histórico de manejos avaliados.

Nota. ILP - integração lavoura-pecuária dentro das áreas avaliadas.

Fonte: Própria (2017).

A implantação da cultura da aveia foi realizada com auxílio de semeadora-adubadora, utilizando-se o sistema de semeadura direta sobre a palhada remanescente da soja, nas densidades de 40 e 60 kg ha⁻¹ empregando a cultivar IPR 126 (2014/2015 e 2015/2016) e IAPAR 61 (2016/2017) e o plantio realizado durante o período de outono (abril a maio). A adubação de base utilizou-se 250 kg ha⁻¹ do formulado comercial 10-15-15 (N, P₂O₅ e K₂O), e a adubação de cobertura com 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia.

A adubação de cobertura da aveia foi realizada manualmente, na qual as áreas com um pastejo e não pastejado foi feito o parcelamento em duas vezes, aplicado no perfilhamento

da aveia e após a realização do pastejo, e para as áreas com 2 pastejos a adubação foi parcelada em três vezes, aplicado no início do perfilhamento e logo após cada pastejo. Em relação aos tratamentos fitossanitários durante o ciclo da aveia não houve necessidade de aplicação de herbicidas, inseticidas e, ou, fungicidas, devido a rusticidade e resistência da espécie.

Para a realização dos pastejos foram utilizados 17 (2014/2015 e 2015/2016) e 12 (2016/2017) animais da raça holandesa em período de lactação, com peso médio de $650 \text{ kg} \pm 50 \text{ kg}$ com permaneciam nas áreas por quatro horas diárias (duas no período matutino e duas no vespertino). Os pastejos iniciados aos 65 e 113 dias após a semeadura (DAS) em 2014/2015 e 96 e 127 DAS em 2015/2016 e 86 e 116 DAS em 2016/2017, período em que as plantas estavam com altura entre 0,25 a 0,35 m e a retirada dos animais ocorreu quando as plantas apresentavam altura de resteva de 0,15 a 0,2 m, para que não houvesse danos ao meristema apical e para a formação de palhada suficiente para o plantio direto da soja em sucessão.

Na área RNAN durante o período de inverno (março a agosto), a qual antecede o plantio da soja, devido ao banco de semente do solo ocorreu a emergência das espécies azevém e nabo forrageiro durante os últimos três anos agrícolas, diante disso não foram realizados manejos fitotécnicos, como capinas manuais, adubações e controle de pragas e doenças, durante o período de que estas culturas estiveram na área, posteriormente, foram dessecadas para o plantio da cultura da soja no período de verão (setembro a outubro).

A cultura da soja foi implantada no período da primavera (setembro a outubro), após a dessecação das áreas de aveia e azevém mais nabo forrageiro com a aplicação de Glifosato-sal de Isopropilamina + Clethodim na dose de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ e $0,40 \text{ L ha}^{-1}$ de produto comercial contendo 480 g L^{-1} e 240 g L^{-1} de ingrediente ativo, respectivamente, para a formação de palhada, a qual foi realizada a semeadura em sistema plantio direto. Em relação às cultivares, foram utilizadas a V-TOP 1059 RR (2014/2015) e NIDERA 5909 RR (2015/2016 e 2016/2017), com 17, 15 e 14 sementes por metro linear, respectivamente, com espaçamento nas entrelinhas de 0,5 m.

A adubação de base empregada foi de 270 (2014/2015), 290 (2015/2016) e 310 (2016/2017) kg ha^{-1} do formulado comercial 02-20-18 (N, P_2O_5 e K_2O). Nos três anos de cultivo as sementes de soja foram tratadas com fungicidas Carbendazim + Thiram, inseticida Fipronil e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. Em função do desenvolvimento da cultura, nos anos cultivados foram realizadas aplicações dos fungicidas Piraclostrobina + Fluxapiroxade na dose de 300 mL ha^{-1} , de produto comercial; e inseticidas: Neonicotinóide + Piretróide e Benzoiluréia, nas doses de 250 mL ha^{-1} e 300 mL ha^{-1} , de produto comercial,

respectivamente, com volume de calda de 250 L ha⁻¹, os quais os tratos fitossanitários efetuados de acordo com as recomendações para a cultivar.

Foram empregadas duas áreas como testemunhas, a primeira uma de produção de feno que vinha sendo manejada durante os últimos 10 anos, com o cultivo de capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.) com adubações periódicas de dejetos líquidos de suínos e a segunda um fragmento de mata nativa, a qual é mantida sobre preservação permanente e classificada como Floresta Estacional Semidecidual (CAMPOS; SILVEIRA FILHO, 2010), a escolha dessas áreas auxiliaria a entender as modificações ocasionadas pelos manejos adotados pela substituição da vegetação nativa (testemunha positiva) quanto pelo emprego do solo para a produção de feno (testemunha negativa).

Na área de produção de feno são realizados cerca de 6 cortes anuais com deposição de cerca de 70,72 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suíno por corte como adubação de manutenção, proveniente das instalações suinícola da própria universidade, e segundo Camargo et al. (2011) são adicionados ao solo cerca de 7,00 g L⁻¹ de N, 0,39 g L⁻¹ de P, e 0,75 g L⁻¹ de K, 5,00 g L⁻¹ de Ca e 1,25 g L⁻¹ de Mg.

2.2.3 Coleta de Amostras de Solo e Avaliações

As coletas de solo foram realizadas em março de 2017, ao final do ciclo da soja e a quase um ano após a semeadura das forrageiras. Em cada área foram coletadas amostras deformadas de solo, com auxílio de um trado tipo holandês, que foram homogeneizadas para formar uma composta para as camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Nas amostras compostas foram determinados os atributos químicos: potencial hidrogeniônico (pH), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), acidez potencial (H + Al), alumínio trocável (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V), conforme a metodologia proposta por Silva (2009).

Foram determinados o carbono orgânico total (COT) através da oxidação via úmida utilizando solução de dicromato de potássio 0,167 mol L⁻¹ e ácido sulfúrico concentrado, com aquecimento em bloco digestor, conforme Yeomans e Bremner (1988) e adaptado por Mendonça e Matos (2017).

O fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica foi realizado segundo metodologia proposta por Cambardella e Elliot (1992), para determinação do carbono orgânico particulado associado a fração areia (COP) e carbono orgânico associado aos minerais de silte e argila (COAM).

Os estoques de COT, COP e COAM foram calculados através da seguinte equação: $Est = (C \times Ds \times e)/10$, onde o Est representa o estoque de carbono em determinada camada expresso em $Mg\ ha^{-1}$; C representa o teor de carbono na camada ($g\ kg^{-1}$); Ds representa a densidade do solo ($kg\ m^{-3}$), determinada pela média de quatro pontos coletados dentro de cada parcela pelo método do anel volumétrico (DONAGEMA et al., 2011) para cada camada; e e representa a espessura da camada do solo (cm) (FREIXO et al., 2002).

Para comparar adequadamente os estoques calculados entre as áreas, foi necessário fazer comparações entre massas iguais de solo, ajustando os valores das camadas utilizadas nos cálculos (ELLERT; BETTANY, 1995). Para a correções pela massa de solo equivalente, a área de mata nativa foi considerada a área de referência e calculada pela equação: Camada corrigida (cm) = $(DM_{ref}/DM_{cor}) \times Prof_{cor}$, onde DM_{ref} representa a densidade média da área de referência ($g\ cm^{-3}$); DM_{cor} é a densidade média da área que está sendo corrigida ($g\ cm^{-3}$); e $Prof_{cor}$ é a camada original da camada que está sendo corrigida (cm), conforme sugerido por Signor et al. (2014), entretanto com pequenas modificações em relação ao uso da densidade média em vez da ponderada.

A partir dos resultados dos estoques de COT, COP e COAM, calculou-se o índice de manejo de carbono (IMC) pela equação: $IEC \times ILAB \times 100$, proposta por Blair et al. (1995) e adaptada à base de cálculo conforme Conceição et al. (2014). Por se tratar de um estudo que empregou duas áreas testemunhas (mata e fenação) para o cálculo do IMC a área de mata nativa foi empregada como referência (IMC=100), por se tratar do ambiente sem interferência antrópica.

2.2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, considerando 4 unidades amostrais coletadas ao acaso (independentes) dentro dos manejos e áreas testemunhas como réplicas ou parcelas (pseudoreplicadas) (FERREIRA et al., 2012), totalizando 36 parcelas experimentais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com auxílio do software computacional R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016) e quando significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$) as médias dos manejos pelas áreas testemunhas foram comparadas pelo teste de Dunnett e entre os manejos entre si pelo teste Tukey, com auxílio software Genes (CRUZ, 2013).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1

Atributos Químico do Solo

Os manejos quando comparados entre si diferiram nos teores de P na camada de 0,00-0,05 m e CTC nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em que os manejos A40, 40ILP2, A60, 60ILP1 e 60 ILP2 apresentaram os maiores teores e nas demais variáveis não houveram diferenças (Tabela 1).

Os resultados observados podem estar relacionados a adubação mineral, ciclagem de nutrientes, deposição e acúmulo de resíduos, tanto animal quanto vegetal, corroborando para estimular a atividade biológica dos macro e microorganismos para a decomposição da massa residual e posterior mineralização dos mesmos, proporcionando alterações no conteúdo de nutrientes, consequentemente, sobre a CTC do solo (COSTA et al., 2015).

Segundo Flores et al. (2008), a deposição de resíduos animais sobre a superfície do solo liberam ácidos orgânicos de baixo peso molecular que durante a decomposição aliado a formação de exsudatos orgânicos, produzidos pela forrageira sobre a influência do pastejo, proporcionam aumentos no conteúdo de nutrientes e formação de cátions livre no solo podendo ser a explicação dos resultados encontrados nas áreas com emprego de pastejo.

Na comparação dos manejos com as testemunhas, em todas as camadas avaliadas, grande parte dos manejos não diferiram da fenação, da mata ou ambas as testemunhas, com exceções nas variáveis Ca, SB, e CTC para as camadas superficiais onde alguns manejos diferiram inferiormente de ambas as testemunhas (Tabela 1).

Em relação aos resultados do pH e acidez potencial (H+Al) observados dentro dos manejos e áreas testemunhas podem estar relacionadas a correção do solo nestas área, com exceção da mata, uma vez que tal prática tem como objetivo elevar os valores de pH, controlando a presença de elementos tóxicos, explicando a ausência do Al^{+3} e a diminuição do hidrogênio livre na solução do solo (MELO et al., 2017), e pela deposição de resíduos orgânicos que tendem a incrementar o conteúdo da MOS proporcionando aumentos no pH e diminuição do hidrogênio livre do solo.

Em comparação a acidificação observada nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m dentro dos manejos podem estar relacionadas a contribuição pelo próprio cultivo da soja uma vez que a associação com bactérias fixadoras de nitrogênio e ao emprego da adubação nitrogenada que proporcionam uma acidificação do solo e que dependendo do sistema de produção a magnitude da acidificação pode variar de acordo com o grau de acidez, tipo de solo, fonte, dosagem e a frequência de aplicação (CAIRES, 2010; RAMPIM et al., 2011).

Tabela 1. Atributos químicos de solo com diferentes sistemas de manejos

Manejos	pH	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----						%
0,00-0,05 m									
A40	5,64 αβ	16,83 αB	5,56 αβ	0,60 αβ	4,11	2,40 α	7,11	12,66 β	56,13 α
40ILP1	5,76 αβ	16,33 αB	4,73 αβ	0,68 αβ	4,21	2,60 αβ	7,48 β	12,20 β	61,10 αβ
40ILP2	5,81 αβ	43,78 βA	4,65 αβ	0,60 αβ	3,52	2,14 α	6,26	10,90	57,07 αβ
A60	6,02 β	37,60 βA	3,97 αβ	0,77 β	3,81	2,38 α	6,96	10,93	63,47 αβ
60ILP1	5,68 αβ	49,35 βA	4,22 αβ	0,63 αβ	3,78	2,28 α	6,68	10,91	60,91 αβ
60ILP2	5,70 αβ	35,30 βAB	5,76 α	0,66 αβ	3,46	2,28 α	6,40	12,16 β	52,61 α
RNAN	5,48 αβ	16,93 αB	4,85 αβ	0,58 αβ	4,82 β	2,91 αβ	8,31 αβ	13,16 αβ	63,64 αβ
Mata	5,11 α	4,22 α	5,10 α	0,34 α	7,45 α	2,25 α	10,04 α	15,14 α	66,43 α
Fenação	6,02 β	56,30 β	3,64 β	0,60 β	5,80 β	3,34 β	9,73 β	13,37 β	72,73 β
0,05-0,10 m									
A40	5,09 α	17,15 αβ	6,43 α	0,33 αβ	3,09 β	1,69 α	5,10 β	11,53 βAB	44,55
40ILP1	5,31 αβ	19,73 αβ	6,03 α	0,43 αβ	3,36 β	1,82 αβ	5,61 β	11,64 βAB	47,91 α
40ILP2	5,26 αβ	41,30 β	5,56 α	0,56 αβ	2,76	1,65 α	4,97	10,52 βB	46,55 α
A60	5,35 αβ	28,44 β	5,72 α	0,47 αβ	2,74	1,67 α	4,87	10,59 βAB	46,13 α
60ILP1	5,19 αβ	36,33 β	4,91 α	0,47 αβ	3,01 β	1,77 α	5,25 β	10,17 βB	51,21 α
60ILP2	5,38 αβ	39,24 β	7,05 α	0,44 αβ	2,92	1,71 α	5,07 β	12,12 αβA	41,75
RNAN	4,98 α	17,03 αβ	5,40 α	0,45 αβ	3,06 β	1,71 α	5,21 β	10,61 βAB	49,24 α
Mata	4,98 α	3,20 α	5,28 α	0,26 α	6,04 α	1,95 α	8,24 α	13,52 α	61,00 α
Fenação	5,95 β	23,63 β	3,20 β	0,37 β	4,34 β	2,63 β	7,34 β	10,54 β	68,74 β
0,10-0,20 m									
A40	4,76 αβ	15,28 αβ	6,12 α	0,39 αβ	3,63 αβ	1,95 αβ	5,96 αβ	12,08 αβA	49,38 αβ
40ILP1	5,52 αβ	14,41 αβ	5,14 αβ	0,49 β	3,95 αβ	2,18 αβ	6,62 αβ	11,76 αβAB	55,78 αβ
40ILP2	5,44 αβ	28,11 β	4,88 αβ	0,45 αβ	3,07 β	1,59 α	5,10 αβ	9,98 βB	50,50 αβ
A60	5,60 αβ	27,34 β	4,98 αβ	0,47 αβ	3,22 β	1,79 α	5,49 αβ	10,46 βAB	52,35 αβ
60ILP1	5,51 αβ	28,24 β	4,59 αβ	0,49 β	3,29 β	1,79 α	5,56 αβ	10,15 βAB	54,12 αβ
60ILP2	5,53 αβ	18,25 αβ	6,22 α	0,35 αβ	3,16 β	1,72 α	5,23 αβ	11,45 αβAB	45,91 β
RNAN	5,25 αβ	15,53 αβ	4,92 αβ	0,48 αβ	3,87 αβ	1,99 αβ	6,34 αβ	11,25 αβAB	55,92 αβ
Mata	5,06 α	3,62 α	5,67 α	0,19 α	4,92 α	1,72 α	6,82 α	12,49 α	54,50 α
Fenação	5,51 β	15,92 β	3,53 β	0,22 β	4,02 β	2,59 β	6,84 β	10,37 β	65,74 β

Nota: pH - potencial hidrogeniônico; Ca - cálcio; Mg - magnésio; P - fósforo; K - potássio; H + Al - hidrogênio mais alumínio; SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca catiônica; V - saturação por bases. Presença de mesmas letras grega nas colunas não diferem das áreas testemunhas pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade. Presença de mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si para os manejos avaliados pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Para os teores de P os manejos 40ILP2, A60 e 60ILP1 e 60ILP2 foram estatisticamente superiores quando comparados a área de mata, não diferindo da fenação, provavelmente devido a adubação fosfatada e ciclagem de nutrientes proporcionada pelos restos culturais depositados (PIANO et al., 2017; MATTEI et al., 2018).

Melo et al. (2017), avaliando a qualidade química e biológica em diferentes áreas agrícolas produtivas e a savana natural em um Latossolo Amarelo Distrocoeso também observaram altos teores de P em áreas agrícolas e segundo estes é devido a variabilidade natural desse nutriente dentro das áreas cultivadas comum em razão da dose, fonte e forma de aplicação do fertilizante fosfatado.

Na área de mata os baixos teores observados do P pode ser decorrente da adsorção por minerais secundários, extração e fixação pelas plantas e da baixa ciclagem desse elemento no solo, além de que áreas nativas naturalmente apresentam baixos teores de P (ROSSI et al., 2012a; STIEVEN et al., 2018), enquanto para a área de fenação o uso do dejetos líquido de suínos estaria proporcionando o incremento do conteúdo desse elemento ao solo (DURIGON et al., 2002).

Aos teores de K os manejos não apresentaram diferenças das áreas testemunhas, com exceção em A60, 40ILP1 e 60ILP2 que foram estatisticamente superiores a mata, entretanto não diferindo da fenação. Os maiores teores observado desses manejos pode estar relacionado a permanência desse elemento no tecido vegetal, protegido de perdas por erosão e lixiviação, e liberando-se gradativamente ao solo e pela deposição proporcionado pelo emprego da adubação mineral (COSTA et al., 2015).

Para Ca foi observado nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m que grande parte dos manejos diferiram inferiormente a ambas as testemunhas, com exceção em A40, 40 ILP1, 60 ILP2 e RNAN que não diferiram da fenação, e na camada de 0,10-0,20 m todos os manejos não diferiram das fenação e alguns casos da mata.

Os baixos teores observados estão relacionados a maior extração pelas plantas, devido sua participação na formação de novas células vegetais para a rebrotar das plantas pastejadas, exportação no grão, no caso da soja, sua complexação a elementos tóxicos como ferro e alumínio, baixa ciclagem e a falta de reposição pelo emprego da prática de calagem (FLORES et al., 2008; TAIZ et al., 2017), evidenciada pela saturação de bases inferior a 70%.

Stieven et al. (2018), avaliando os atributos químicos do solo em sistemas integrados em três anos distintos em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico também observaram diminuição nos teores de Ca relacionado comportamento a essencialidade desse elemento devido a sua maior necessidade e atuação sobre a formação das células vegetais.

Nos teores de Mg todos os manejos não diferiram da mata, em alguns casos da fenação. Tais resultados observados tem relação aos altos teores naturais devido ao material de origem do solo, o basalto (BERGMANN et al., 2014), do uso de calcário dolomítico no momento da correção do pH (RODRIGHERO et al., 2015) e até pela possível contribuição na decomposição dos restos culturais das culturas de inverno (PIANO et al., 2017).

Ao complexo sortivo grande parte dos manejos diferiram em relação as áreas testemunhas nas camadas superficiais, em especial para SB e CTC, devido aos teores observados nas bases trocáveis, em especial o Ca, e na acidez potencial ($H+Al$), uma vez que a diminuição das bases trocáveis do solo influenciará nos valores do complexo sortivo do

solo. É possível salientar que mesmo com essa diminuição dentro do complexo sortivo dos manejos avaliado em relação as áreas testemunhas os valores encontrados estão na faixa de interpretação média a alta para os parâmetros químicos de solo para o estado do Paraná (SBCS, 2017).

Schiavo et al. (2011), avaliando o índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo também observaram diminuição dentro do complexo sortivo em áreas de manejo integrado entre lavoura e pecuária quando comparado a área naturais.

2.3.2 Carbono Orgânico Total, Frações Físicas e Estoques

Os manejos quando comparados entre si apresentam diferenças nos teores de COT e EstCOT na camada de 0,10-0,20 m, sendo em 60ILP1 observado os maiores valores (Tabela 2). Esses resultados podem estar relacionados a maior concentração radicular da cultura de inverno pela maior densidade e pela realização do pastejo a qual induz a plantas a descartar parte da raiz contribuindo assim para o incremento de carbono em profundidade (PIÑEIRO et al., 2010).

Gazolla et al. (2015), avaliando o teor de COT e das frações granulométricas da MOS em áreas manejadas em plantio direto, SIPA, cerrado natural e pastagem em um Latossolo Vermelho também observaram aumentos no conteúdo de carbono em profundidade em SIPA atribuindo tal resultado a intensa renovação do sistema radicular pela ação do pastejo sobre a parte área das plantas.

O mesmo ocorrendo com Costa et al. (2015), avaliando atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho Distrófico que observaram maiores incrementos de estoque de carbono na faixa de 0,00-0,20 m em áreas de cultivo de espécies forrageiras em sucessão a culturas produtoras de grão.

Na comparação dos manejos com as testemunhas nas variáveis COT e EstCOT nas camadas avaliadas grande parte não diferiram da fenação, em alguns da mata e apenas em A40, de 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m, 60ILP1, de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, 40ILP1 e RNAN, ambos de 0,10-0,20 m, de ambas as testemunhas (Tabela 2). Às diferenças de alguns manejos com a mata estão relacionados ao curto tempo de condução, três anos agrícolas, uma vez que antes da implantação desses manejos a área era conduzida em sistema convencional com revolvimento periódico do solo e baixa adição de matéria orgânica.

Tabela 2. Teores e estoques de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associados aos minerais de silte e argila em diferentes sistemas de manejos do solo

Manejos	COT	COP	COAM	EstCOT	EstCOP	EstCOAM
	-----g kg ⁻¹ -----			-----Mg ha ⁻¹ -----		
0,00-0,05 m						
A40	27,32 αβ	20,80 α	6,52	10,09 αβ	7,68 α	2,41
40ILP1	25,01 β	20,51 α	4,51	9,24 β	7,58 α	1,67
40ILP2	24,31 β	18,71 αβ	4,87	8,98 β	6,91 αβ	1,80
A60	25,40 β	18,51 αβ	6,89 β	9,38 β	6,84 αβ	2,54 β
60ILP1	27,21 αβ	18,10 αβ	9,12 β	10,05 αβ	6,69 αβ	3,37 β
60ILP2	24,73 β	17,98 αβ	6,75	9,14 β	6,64 αβ	2,49
RNAN	23,52 β	18,74 αβ	4,79	8,69 β	6,92 αβ	1,77
Mata	31,73 α	15,28 α	16,45 α	11,72 α	5,65 α	6,08 α
Fenação	25,49 β	11,84 β	13,65 β	9,42 β	4,38 β	5,04 β
0,05-0,10 m						
A40	22,11 β	14,48 αβ	7,63 β	8,71 β	5,71 αβ	3,01 β
40ILP1	21,57 β	16,04	5,53	8,50 β	6,32	2,18
40ILP2	21,42 β	13,93 αβ	7,49	8,44 β	5,49 αβ	2,95
A60	20,68 β	14,13 αβ	6,55	8,15 β	5,57 αβ	2,58
60ILP1	23,62 αβ	14,06 αβ	9,56 β	9,30 αβ	5,54 αβ	3,76 β
60ILP2	23,10 β	14,77 αβ	8,33 β	9,10 β	5,82 αβ	3,28 β
RNAN	19,59 β	15,13 β	4,46	7,72 β	5,96 β	1,76
Mata	27,11 α	8,73 α	18,38 α	10,68 α	3,44 α	7,24 α
Fenação	21,76 β	8,90 β	12,86 β	8,57 β	3,51 β	5,07 β
0,10-0,20 m						
A40	21,29 αβB	16,92 β	4,37 β	19,43 αβB	15,45 β	3,99 β
40ILP1	22,38 αβAB	16,99 β	5,40 β	20,43 αβAB	15,50 β	4,93 β
40ILP2	23,03 αAB	15,10 β	7,93 β	21,02 αAB	13,78 β	7,24 β
A60	22,05 αβB	14,77 β	7,28 β	20,13 αβB	13,48 β	6,65 β
60ILP1	25,55 αA	15,60 β	9,95 β	23,32 αA	14,24 β	9,08 β
60ILP2	22,78 αAB	15,72 β	7,06 β	20,79 αAB	14,34 β	6,45 β
RNAN	21,68 αβB	17,27 β	4,41 β	19,79 αβB	15,76 β	4,03 β
Mata	23,51 α	7,43 α	16,09 α	21,46 α	6,78 α	14,68 α
Fenação	20,13 β	12,96 β	7,18 β	18,38 β	11,83 β	6,55 β

Nota: COT - Carbono orgânico total; EstCOT – Estoque de carbono orgânico total; COP - Carbono orgânico particulado; EstCOP – Estoque de carbono orgânico particulado; COAM - Carbono orgânico associados aos minerais de silte e argila; e EstCOAM – Estoque de carbono orgânico associados aos minerais de silte e argila. Presença de mesmas letras grega nas colunas não diferem das áreas testemunhas pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade. Presença de mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si para os manejos avaliados pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Loss et al. (2013; 2014), apontam que a diferença do COT e do seu estoque em sistemas produtivos em relação a área da mata tem relação com o menor aporte de resíduo orgânico depositado sobre a superfície do solo, da oxidação da matéria orgânica, do revolvimento periódico entre outras perturbações sobre o ambiente edáfica corroborando para a diminuição dos teores do carbono observado.

Já em relação aos resultados similares dos manejos com a fenação pode significar alternativas de substituição a esta, uma vez que é possível produzir forragem e grãos, exploração de animal e plantas, dentro da mesma área, conseqüentemente, proporcionando

melhor retorno econômico, conservação contra o processo erosivo, incremento de diferentes resíduos orgânicos e aumento nos teores de nutrientes e carbono ao solo.

Para COP e EstCOP não foram observadas diferenças em grande parte dos manejos nas camadas avaliadas para a fenação e em alguns casos da mata, com exceção em 40ILP1, 0,05-0,10 m, que foi estatisticamente superior as áreas testemunhas (Tabela 2). Os resultados observados dentro dos manejos indicam a ocorrência de incremento de carbono dentro dessa fração e seu estoque, acúmulo esse devido a maior adição de resíduos recém incorporado ao solo.

Assmann et al. (2014) relatam que aumentos nos teores de COP significam um fluxo positivo de adição de resíduos ao solo colaborando para manter ou aumentar a atividade e qualidade biológica e que por outro lado a baixa adição de resíduos resultara na oxidação da MOS, consequentemente, redução nos estoques de carbono dessa variável desencadeando a degradação e perda da qualidade do solo.

Segundo Figueiredo et al. (2010), Rossi et al. (2012b) e Loss et al. (2013) as variações nos teores e estoques do COP podem detectar alterações na qualidade do solo de sistema de manejo recentes, a qual nem sempre é percebido pelos teores e estoques de COT, sendo um indicador sensível, principalmente por ser rapidamente decomposto, constituindo assim em uma reserva frágil de carbono no solo, a qual sua redução pode sinalizar aumento na emissão de dióxido de carbono.

Para COAM e EstCOAM, independente da camada, não foram observadas diferenças dos manejos com a fenação e diferindo da mata em grande parte, com exceções em A40, 40ILP1, 40ILP2, 60ILP2, e RNAN onde apresentaram resultados estatisticamente inferiores as testemunhas nas camadas superficiais (Tabela 2).

Sobre os resultados observados para COAM e EstCOAM em todos os manejos quando comparados as áreas testemunhas, em especial a mata, por mais estável que seja esse compartimento a substituição da mata nativa por sistemas de produção agrícola convencionais, a remoção da cobertura vegetal da superfície do solo, a movimentação e preparado excessivo com ruptura mecânica dos agregados e a baixa deposição de resíduos orgânicos, contribuíram para perdas de carbono ao longo dos anos (LIMA et al., 2015).

Segundo Bayer et al. (2004) e Rossi et al. (2012a, b), o COAM ao contrário do COP é menos sensível às alterações relacionadas aos sistemas de manejo do solo, principalmente em curto prazo, indicando a necessidade de maior tempo de ciclos produtivos para verificar a real contribuição, ou não, em relação ao aporte de carbono sobre essa fração, uma vez que as

reservas do solo desse compartimento estão diminutas e necessitam de um tempo maior de condução dos manejos avaliados.

Figueiredo et al. (2010) e Loss et al. (2014) relatam que existe correlação linear negativa entre os processo de formação do COP e COAM, indicando que a formação dessas frações são opostos e que para a obtenção de maiores teores de COAM no solo é necessário que ocorra maior atuação do processo de decomposição pela ação da microbiota do solo sobre o COP. Diante disso, é possível que os manejos avaliados possam colaborar para a recuperação dos teores de COAM devido a maior quantidade de COP observado no solo.

Rossi et al. (2012b), em um Latossolo Vermelho, avaliando as frações lábeis da MOS de áreas com cultivo de *Brachiaria ruziziensi* na entressafra de soja, cultivo de sorgo na entressafra da soja e área vegetação nativa do cerrado em duas épocas distintas, final do período chuvoso e final do período seco, obtiveram resultados similares os observados, com aumento nos teores de COP, EstCOP, COAM e EstCOAM, conforme ao presente estudo.

2.3.3 Índice de Manejo de Carbono

Foram observados em A40, de 0,00-0,05 m, 60 ILP 1, de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, para IEC e RNAN, de 0,05-0,10 m, para LAB e ILAB os maiores resultados entre os manejos quando comparado entre si (Tabela 3).

Essa diferença nas primeiras camadas para ICC pode simbolizar diferenças na deposição e acumulação de carbono nas camadas superficial entre os manejos, comportamento não observado em COT e EstCOT, demonstrando haver diferença entre os manejos nas primeiras camadas uma vez que tal índice obtido da relação entre os EstCOT dos manejos pela referência (mata), entretanto é possível confirmar que os maiores valores do IEC estavam na camada de 0,10-0,20 m corroborando com o observado em COT e EstCOT.

Schiavo et al. (2011) e Rossi et al. (2012b), avaliando diferentes sistemas de SIPA encontraram incremento do IEC em superfície e atribuindo a maior deposição de resíduos corroborando com a afirmativa que os manejos proporcionaram maior aporte de resíduos em profundidade.

Para LAB e ILAB os resultados obtidos estão relacionados aos teores encontrados em EstCOP e EstCOAM, indicando que mesmo com a deposição de resíduos recém incorporado, incrementando do COP, a perda de carbono na fração COAM contribuíram para os valores elevados dessas variáveis, a qual podem indicar superestimação dentro no IMC

devido a proporcionalidade dos estoques dessas frações uma vez que são empregadas para o cálculo do mesmo.

Tabela 3. Índice de estoque de carbono, labilidade, índice de labilidade e índice de manejo de carbono em diferentes sistemas de manejos

Manejos	IEC	LAB	ILAB	IMC
0,00-0,05 m				
A40	0,91 α A	2,67 $\alpha\beta$	2,59 $\alpha\beta$	223,73 $\alpha\beta$
40ILP1	0,78 β BC	5,17 $\alpha\beta$	5,02 $\alpha\beta$	392,00 $\alpha\beta$
40ILP2	0,81 β ABC	3,49 $\alpha\beta$	3,39 $\alpha\beta$	250,19 $\alpha\beta$
A60	0,84 β ABC	2,29 $\alpha\beta$	2,23 $\alpha\beta$	175,35 $\alpha\beta$
60ILP1	0,89 AB	1,74 $\alpha\beta$	1,69 $\alpha\beta$	149,37 $\alpha\beta$
60ILP2	0,81 β ABC	2,41 $\alpha\beta$	2,34 $\alpha\beta$	174,02 $\alpha\beta$
RNAN	0,76 β C	3,75 $\alpha\beta$	3,64 $\alpha\beta$	271,01 $\alpha\beta$
Mata	1,00 α	1,20 α	1,00 α	100,00 α
Fenação	0,77 β	1,44 β	1,39 β	115,02 β
0,05 a 0,10 m				
A40	0,86 β AB	1,57 β AB	3,27 β AB	269,72 $\alpha\beta$
40ILP1	0,75 β CD	2,18 AB	4,54 AB	341,17
40ILP2	0,77 β BCD	1,59 β AB	3,31 β AB	255,32 $\alpha\beta$
A60	0,73 D	1,94 AB	4,04 AB	317,13
60ILP1	0,90 β A	1,31 $\alpha\beta$ AB	2,72 $\alpha\beta$ AB	246,94 $\alpha\beta$
60ILP2	0,84 β ABC	1,21 $\alpha\beta$ B	2,51 $\alpha\beta$ B	212,03 $\alpha\beta$
RNAN	0,73 D	2,67 A	5,56 A	406,97
Mata	1,00 α	0,52 α	1,00 α	100,00 α
Fenação	0,83 β	0,62 β	1,30 β	104,79 β
0,10 a 0,20 m				
A40	0,93 α B	3,46 β	7,49 β	687,33 β
40ILP1	0,92 α B	3,17 β	6,85 β	657,81 β
40ILP2	0,95 α B	1,93 $\alpha\beta$	4,18 $\alpha\beta$	395,43 $\alpha\beta$
A60	0,95 α B	1,85 $\alpha\beta$	4,00 $\alpha\beta$	376,51 $\alpha\beta$
60ILP1	1,13 A	1,45 $\alpha\beta$	3,14 $\alpha\beta$	340,74 $\alpha\beta$
60ILP2	0,95 α B	1,83 $\alpha\beta$	3,95 $\alpha\beta$	376,46 $\alpha\beta$
RNAN	0,91 β B	3,70 β	8,00 β	722,62 β
Mata	1,00 α	0,45 α	1,00 α	100,00 α
Fenação	0,84 β	1,70 β	3,67 β	310,54 β

Nota: IEC - Índice de estoque de carbono; LAB - labilidade; ILAB - Índice de labilidade; IMC - Índice de manejo de carbono. Presença de mesmas letras grega nas coluna não diferem das áreas testemunhas pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade. Presença de mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si para os manejos avaliados pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Rossi et al. (2012b) avaliando as frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo na região de cerrado goiano em um Latossolo Vermelho em duas épocas de avaliação obtiveram nas duas avaliações valores da fração COP e EstCOP mais elevadas que para COAM e EstCOAM, consequentemente, resultados dentro dos índices LAB e ILAB elevados e similares aos observados ao estudo, consequentemente valores elevados do IMC.

Foram observados em 60ILP1, de 0,10-0,20 m, para IEC e em 40ILP1, A60 e RNAN, todos na camada de 0,05-0,10 m para LAB, ILAB e IMC resultados estatisticamente superiores as áreas testemunhas e para os demais manejos e camadas avaliadas não diferiram em relação ao menos uma das áreas testemunhas (Tabela 3).

Os resultados observados no IEC tem relação direta aos teores encontrados no EstCOT dos manejos em relação ao obtido da mata, possivelmente devido à falta de semelhança já observada em COT e EstCOT nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, enquanto na camada 0,10-0,20 m não houve diferenças dos manejos quando comparado a mata, o mesmo observado COT e EstCOT (Tabela 1).

Para LAB e ILAB foram observados em todas as camadas valores elevados e em alguns casos estaticamente superiores as testemunhas, tendo relação direta aos valores obtidos dentro dos estoques das frações COP e COAM que se encontraram numericamente desproporcionais, consequentemente, a determinação desses índices proporcionou valores elevados e estatisticamente superiores em alguns casos e em outros não diferindo das testemunhas.

Segundo Conceição et al. (2014) aumentos nos valores de IEC, LAB e ILAB refletem a relação entre o estoque dos sistemas de manejo avaliados e o sistema de referência e a partir dos valores obtidos dos diferentes manejos, mesmo com o pouco tempo de manejo, pode ser possível que os mesmos contribuíssem para a manutenção do carbono no solo.

Em relação ao IMC os resultados obtidos em todas as camadas foram considerados elevados e similares aos encontrado por Rossi et al. (2012b), avaliando o IMC na região de cerrado goiano em um Latossolo Vermelho em que obtiveram valores de 159,8 e 113,7 (na camada de 0,00-0,05), 387,9 e 194,4 (na camada de 0,05-0,10 m) e 905,4 e 448,2 (na camada de 0,10-0,20 m) para áreas com cultivo de braquiária na entressafra da soja e cultivo de sorgo na entressafra da soja, respectivamente, e área sob vegetação nativa (100).

Schiavo et al. (2011), avaliando diferentes manejos em um Latossolo Vermelho de textura argilosa concluíram que a integração entre a lavoura e a pecuária proporcionam IMC semelhantes ou superiores a área de vegetação natural, no caso desses autores a área de referência era o Cerrado, e os valores obtidos foram próximo a área referência, 101,77 e 111,61 para as camadas de 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m, respectivamente.

Segundo Silva et al. (2011) a ocorrência de valores de IMC superior ou significativamente igual a referência evidenciam a capacidade do manejo avaliado em melhorarem e promoverem a sustentabilidade do agroecossistema em regiões tropicais, pela manutenção de carbono no sistema agrícola.

A avaliação do IMC é considerada uma ferramenta importante para descrever a qualidade do solo uma vez que a partir de uma referência (positiva ou negativa) é possível obter informações sobre a capacidade de diferentes práticas de manejo sobre sua eficácia a longo prazo na oferta de nutrientes, produtividade e reservas de carbono no solo (CHAUDHARY et al., 2017).

2.4 CONCLUSÕES

As diferentes configurações de SIPA, em especial 60ILP1 e 60ILP2, proporcionaram modificações dos atributos químico, carbono orgânico total, carbono orgânico particulado, estoques e índice de manejo de carbono quando comparado aos demais manejos e as áreas testemunhas de fenação e mata.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2014.

ASSMANN, J. M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.190, n.1, p.52-59, 2014.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BERGMANN, M. et al. Considerações sobre o potencial de uso agrônômico das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J; T. DA; DONATO, M. (Org.). **Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração**. Porto Alegre: UFRGS, 2014. p.119-126.

BLAIR, G. J. et al. 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, n.7, p.1459-1460, 1995.

CAMARGO, S. C. et al. Efeito da aplicação de dejetos de suínos na concentração de minerais na parte aérea de capins Tifton 85. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.10, n.2, p.51-62, 2011.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n.3, p.777-783, 1992.

CAMPOS, J. B.; SILVEIRA FILHO, L. **Série Ecossistemas Paranaenses – Floresta Estacional Semidecidual**. Governo do Estado do Paraná. v. 5, 2010. 8p.

CHAUDHARY et al. Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice-wheat cropping system. **Soil & Tillage Research**, v.166, n.3, p.59-66, 2017.

CAIRES, E. F. Gestão da acidez do solo. In: PROCHNOW, LI; CASARIN, V.; STIPP, S., eds. **Melhores práticas de manejo para uso de fertilizantes**, Piracicaba: IPNI, 2010. p.272-347.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p.794-800, 2014.

COSTA, N. R. et al. Soil Properties and Carbon Accumulation in an Integrated Crop-Livestock System under No-Tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.4, p.852-863, 2015.

CRUZ, C. D. Genes: A Software Package for Analysis in Experimental Statistics and Quantitative Genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DONAGEMA, G. K. et al. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. (Revista), Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230p.

DURIGON et al. Forage dry matter production of native pasture under application of liquid swine manure. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, p.983-992, 2002.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v.75, n.4, p.529-538, 1995.

FERREIRA, D. F. et al. Procedimentos estatísticos em planejamentos experimentais com restrição na casualização. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.16-19, 2012.

FIGUEIREDO, C. C. et al. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.3, p.907-916, 2010.

FLORES, J. P. C. et al. Chemical attributes of an oxisol under no-tillage submitted to surface liming and distinct grazing pressures in a crop-livestock integration system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2385-2396, 2008.

FREIXO, A. A. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.2, p.425-434, 2002.

GAZOLLA, P. R. et al. Fractions of soil organic matter under pasture, tillage system and crop-livestock integration. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.2, p.693-704, 2015.

LIMA, M. A. et al. **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. 3. ed. revista Brasília, DF: Embrapa, 2015.

LOSS, A. et al. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem no Estado do Acre. **Comunicata Scientiae**, v.5, n.1, p.01-10, 2014.

LOSS, A. et al. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v.50, n.8, p.685-693, 2013.

MELO, V. F. et al. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savana environment. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.11, n.2, p.101-110, 2017.

PIANO, J. T. et al. Deposition and composition of residual straw in area under integrated crop livestock. **Revista Agrarian**, v.10, n.37, p.234-243, 2017.

PIÑEIRO, G. et al. Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. **Rangeland Ecology & Management**, v.63, n.1, p.109-119, 2010.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Áustria: The R Foundation for Statistical Computing, 2016.

RAMPIM, L. et al. Chemical attributes of a soil and response of Wheat and soybean to gypsum in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1687-1698, 2011.

RODRIGHERO, M. B. et al. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.6, p.1723-1736, 2015.

ROSSET, J. S. et al. Chemical attributes, total organic carbon stock and humified fractions of organic matter soil submitted to different systems of sugarcane management. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.5, p.2351-2366, 2014.

ROSSI, C. Q. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.2, p.233-241, 2012a.

ROSSI, C. Q. et al. Labile fractions of organic matter in cropping system with straw of brachiaria and Sorghum. **Revista Ciências Agronomica**, v.43, n.1, p.38-46, 2012b.

SALES, A. et al. Organic carbon and physical attributes of soil under management sustainable agricultural in the legal amazon. **Colloquium Agrariae**, v.14, n.1, p.01-15, 2018.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2013. 353p.

SCHIAVO, J. A. et al. Carbon management index and chemical attributes of an Oxisol under different management systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1332-1338, 2011.

SIGNOR, D. et al. Carbon stocks and quality of soil organic matter in sugarcane fields. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.5, p.1402-1410, 2014.

SILVA, E. F. et al. Labile and recalcitrant fractions of soil organic matter under integrated crop-livestock system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011.

SILVA, F. C. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica, 2009. 627p.

STIEVEN, A. C. et al. Soil chemical attributes in integrated systems. **Scientia Amazonia**, v. 7, n.1, p.60-67, 2018.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Avaliação da Fertilidade do solo**. In: Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. p.61-86.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6.ed. Artmed: Porto Alegre, Brazil, 2017. 888p.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

3. CAPÍTULO II - FRACIONAMENTO QUÍMICO E OXIDÁVEL DA MATÉRIA ORGÂNICA E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a qualidade de solo a partir das frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo e o índice de manejo de carbono em diferentes configurações de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) quando comparado entre si e entre as áreas de produção de feno e mata nativa em um Latossolo Vermelho na região de Oeste do Paraná. Foram avaliados nove sistemas de manejo de solo dos quais seis destes foram cultivados no período de inverno com diferentes densidades de aveia preta, 40 kg e 60 kg ha⁻¹, e frequências de pastejo, 0, 1 e 2, com sucessão de soja no verão (A40, 40ILP1, 40ILP2, A60, 60ILP1, 60ILP2), uma no período de inverno ocorreu a ressemeadura natural de azevém e nabo forrageiro (RNAN) e sucessão de soja no verão e dois sistemas de manejo como testemunhas, sendo uma de produção de feno de capim Tifton 85 (Fenação) e fragmento de mata nativa (Mata). Em cada área foram coletadas amostras representativas das camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, sendo determinados os teores de carbono orgânico total (COT), carbono das substâncias húmicas (ácidos fúlvico - AF, ácidos húmicos - AH e humina - HUM) e carbono das frações oxidáveis (F1, F2, F3 e F4) e determinar o índice de manejo de carbono (IMC). Em relação as frações químicas, oxidáveis e índice de manejo de carbono foram observado que os manejos não diferiram em relação ao COT, AH, HUM, F1, F3, F4 e IMC contribuindo na manutenção do carbono, principalmente em profundidade, quando comparado as áreas testemunhas. As diferentes configurações do SIPA, especialmente em 60ILP1 e 60ILP2, contribuíram para o manutenção e, ou, em alguns casos incremento, dentro das frações químicas, oxidáveis e índice de manejo de carbono quando comparado aos demais manejos e as testemunhas.

Palavras-chaves: Grau de oxidação do carbono orgânico. Sistemas de manejo do solo. Substâncias húmicas.

CHEMICAL AND OXIDIZABLE FRACTIONATION OF ORGANIC MATTER AND CARBON MANAGEMENT INDEX IN INTEGRATED AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the soil quality from the chemical and oxidizable fractions of soil organic matter and the carbon management index in different configurations of integrated agricultural production systems (SIPA) when compared to each other and between production hay and forest production areas native in a Red Latosol in the western region of Paraná. Nine soil management systems were evaluated, six of which were cultivated in the winter with different densities of black oats, 40 kg and 60 kg ha⁻¹, and grazing frequencies, 0, 1 and 2, with soybean succession in summer (A40, 40ILP1, 40ILP2, A60, 60ILP1, 60ILP2), one in the winter period occurred natural reseeding ryegrass and forage turnip (RNAN) and soybean succession in summer and two management systems as witnesses, being one of hay production of Tifton 85 hay (Haying) and native forest fragment (Forest). In each area samples representative of the layers of 0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m, being determined total organic carbon (TOC), carbon humic substances (fulvic acids - FA, humic acids - HA and humin - HUM) and carbon of oxidizable fractions (F1, F2, F3 and F4) and determine the carbon management index (CMI). In relation to chemical, oxidizable fractions and carbon management index, it was observed that the treatments did not differ in relation to TOC, HA, HUM, F1, F3, F4 and CMI contributing to carbon maintenance, especially in depth, when compared to areas witnesses. The different configurations of SIPA, especially in 60ILP1 and 60ILP2, contributed to the maintenance and, or, in some cases, increase within the chemical, oxidizable fractions and carbon management index when compared to other managements and the witnesses.

Keywords: Degree of oxidation of organic carbon. Soil management systems. Humic substances.

3.1 INTRODUÇÃO

A conversão da vegetação natural para a implantação de atividades agropecuárias provoca desequilíbrio no ecossistema, uma vez que o manejo adotado influenciará os processos físicos, químicos e biológicos do solo. Desta forma, a compreensão da atuação dos diferentes sistemas de manejo do solo permite subsidiar estratégias para a manutenção de seus efeitos a longo prazo, afim de garantir a sustentabilidade e qualidade dos recursos naturais (ROSSI et al., 2012; ROSSET et al., 2016).

A sustentabilidade de qualquer sistema de produção agropecuário advém da necessidade de um solo produtivo e equilibrado, principalmente em relação a melhoria em seus atributos edáficos e da preservação do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS). Na tentativa de equilibrar a produtividade agrícola com a conservação do meio ambiente foram desenvolvidos conceitos agrícolas com base na conservação do solo, na ciclagem de nutrientes e na diversificação de culturas (SILVA et al., 2011).

O desenvolvimento de manejos que se baseiam na conservação do ambiente edáfico, como os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), têm como finalidade a intensificação sustentável, fundamentada na integração espacial e temporal dos componentes produtivos afim de atingir estágios elevados de qualidade ambiental e de competitividade, reduzindo a pressão sobre a abertura de novas áreas e contribuindo para a melhoria edáfica (CORDEIRO et al., 2015).

Uma das formas de avaliação da qualidade do solo é através da quantificação do teor de carbono orgânico relacionado às substâncias húmicas (SH) e oxidáveis da MOS (EBELING et al., 2011; ROSSET et al., 2016), servindo como indicadores do conteúdo fracionado de carbono e da atuação dos manejos sobre a sustentabilidade. As SH são consideradas indicativas dos processos e do grau de humificação da MOS, apresentando em torno de 70 a 90% do carbono orgânico total (COT) do solo, sendo divididas em 3 frações: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HUM) (PRIMO et al., 2011; ROSSET et al., 2016; MENDONÇA; MATOS, 2017).

Com relação às frações oxidáveis, quantificadas por diferentes graus de oxidação da MOS, são empregadas como indicadores dos impactos ocasionados pelos sistemas de manejo sobre o conteúdo e deposição da MOS (RANGEL et al., 2008). De acordo com Chan et al. (2001), existem quatro frações, a saber F1, F2, F3 e F4, a qual as frações F1 e F2 estão associadas à formação de macroagregados e à disponibilidade de nutrientes, sendo a fração F1 de maior labilidade no solo (GUARESCHI et al., 2013; ROSSET et al., 2016) e as frações F3 e F4 estão relacionadas com compostos de maior estabilidade química, oriundos da

decomposição e humificação da MOS, sendo a F4 de maior resistência a degradação e consequente maior tempo de permanência no solo (RANGEL et al., 2008; GUARESCHI et al., 2013).

Devido a MOS constituir o maior reservatório de carbono da superfície terrestre a necessidade de obtenção de índices que possam avaliar a capacidade dos diferentes sistemas de manejo em manter ou aumentar o conteúdo de carbono do solo são extremamente necessários (PRIMO et al., 2011). Diante disso, Blair et al. (1995) apresentaram o índice de manejo de carbono (IMC) e, posteriormente Rangel et al. (2008) propuseram algumas modificações em relação a determinação desse índice, como sendo uma medida relativa das alterações provocadas pelo manejo quando comparadas a uma situação considerada original/referencial, levando em consideração a labilidade da MOS e buscando unir as características quantitativas e qualitativas da MOS, como forma de avaliar o desempenho de um determinado sistema de manejo (ROSSI et al., 2012).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade do solo a partir das frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica e o índice de manejo de carbono em diferentes configurações de sistemas integrados de produção agropecuária quando comparado entre si e entre as áreas de produção de feno e mata nativa em um Latossolo Vermelho na região de Oeste do Paraná.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local do Experimento

Idem ao 2.2.1 do CAPÍTULO I - ATRIBUTOS QUÍMICOS, FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO (p.13).

3.2.2 Sistemas Avaliados e Históricos de Uso

Idem ao 2.2.2 do CAPÍTULO I - ATRIBUTOS QUÍMICOS, FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO (p.14).

3.2.3 Coleta de Amostras de Solo e Avaliações

As coletas de solo foram realizadas em março de 2017, ao final do ciclo da soja e a quase um ano após a semeadura das forrageiras. Em cada área foram coletadas amostras

deformadas de solo, com auxílio de um trado tipo holandês, que foram homogeneizadas para formar uma composta para as camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

A partir das amostras compostas foi determinado o carbono orgânico total (COT) através da oxidação via úmida utilizando solução de dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e ácido sulfúrico concentrado, com aquecimento em bloco digestor, conforme Yeomans e Bremner (1988) e adaptado Mendonça e Matos (2017).

Para a realização do fracionamento das substâncias húmicas (SH), ou químico, foi utilizada a metodologia baseada na solubilidade diferencial e posterior determinação de carbono de cada fração, sendo estas: humina (HUM), ácido fúlvico (AF) e ácido húmico (AH), estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996) e adaptada por Mendonça e Matos (2017). Após a determinação dos teores de carbono nas SH foram calculadas as seguintes relações: AH/AF (indica a mobilidade do carbono no solo e o grau de humificação) e carbono do extrato alcalino (EA)/HUM (indica a iluviação de matéria orgânica no perfil do solo) para verificação dos processos de humificação da MOS e o índice de humificação (IH), proposto por Canellas e Santos (2005), calculado pela fórmula $IH = [(AH + AF + HUM) / COT] \times 100$.

O fracionamento oxidável foi obtido por graus de oxidação, conforme estabelecido por Chan et al. (2001) e adaptado por Mendonça e Matos (2017), em que são obtidas quatro frações com graus decrescentes de labilidade F1, F2, F3 e F4, posteriormente, a determinação do carbono na fração F1 foi considerado como carbono lábil (CL) e o carbono não lábil (CNL) obtido por diferença: $CNL = COT - CL$. Posteriormente visando à obtenção de índices para facilitar a compreensão da dinâmica entre as frações obtidas, foram realizadas as seguintes relações: $F1/F4$, $(F1 + F2) / (F3 + F4)$ e CL / COT .

Para o índice de manejo de carbono (IMC) foi considerado a proposta de Rangel et al. (2018), adaptada de Blair et al. (1995), empregando-se o teor de carbono na fração F1 como carbono lábil (CL) e o carbono não-lábil (CNL) como base para o cálculo dos índices que precedem a determinação do IMC. A proposta de Rangel et al. (2018) para o IMC foi obtida a partir dos seguintes índices: Índice de compartimento do carbono (ICC) = $COT \text{ do manejo} / COT \text{ da referência}$; labilidade (L) = CL / CNL ; índice de labilidade (ILAB) = $L_{\text{cultivado}} / L_{\text{referência}}$; e posteriormente a determinação do IMC pelas formulas $ICC \times IL \times 100$. Por se tratar de um estudo que empregou duas áreas como testemunhas (mata e fenação) para o cálculo do IMC a área de mata nativa foi empregada como referência (IMC=100), por se tratar do ambiente sem interferência antrópica.

3.2.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística

Idem ao 2.2.4 do CAPÍTULO I - ATRIBUTOS QUÍMICOS, FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO (p.17).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Carbono Orgânico Total e Frações Químicas

Foram observadas diferenças para COT, 0,10-0,20 m, AF, 0,00-0,05 m, AH/AF, 0,00-0,05 m, e IH, 0,05-0,10 m, em que os manejos 60ILP1, A40, A60 e 60 ILP 2, respectivamente, apresentaram os maiores valores quando comparado aos demais (Tabela 1).

O resultado de COT no manejo 60ILP1 em profundidade está relacionado a concentração de raízes pelas culturas e realização de pastejo no inverno, corroborando para a deposição de resíduos, conseqüentemente, aumentando os teores de carbono em profundidade (PIÑEIRO et al., 2010; MARTINS et al., 2015). Schiavo et al. (2011) e Dortzbach et al. (2015), também observaram diferenças nos teores de COT entre diferentes manejos em profundidade e atrelaram esse incremento a maior deposição das raízes pelas plantas forrageiras.

Para o resultado da fração AF no manejo A40 está relacionado a deposição e a atuação sobre a mineralização dos resíduos depositados sobre a superfície pela ação decompositora dos microorganismo do solo, contribuindo para a formação de compostos de baixo peso molecular que incrementam o conteúdo dessa fração no solo (PRIMO et al., 2011).

Diante do resultado da relação AH/AF no manejo A60 observou-se uma aumento nos teores de AH quando comparado ao AF evidenciando uma evolução da matéria orgânica do solo, podendo está atrelado ao manejo do solo ou simplesmente as características do solo, devido a melhores condições específicas para o incremento da fração AH (CANELLAS et al., 2003; ROSSET et al., 2016).

O resultado observado em IH no manejo RNAN indica maior grau de humificação, conseqüentemente, maior composição das substancias húmicas superando o intervalo de 70 a 90 % encontrado na literatura sobre a participação no conteúdo do carbono orgânico do solo (PRIMO et al., 2011; ROSSET et al., 2016; MENDONÇA; MATOS, 2017), provavelmente devido à presença nabo forrageiro que tem alta capacidade de ciclagem de nitrogênio, o que tende a aumentar a decomposição dos resíduos.

Tabela 1. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono das substâncias húmicas, relações entre as frações de substâncias húmicas (AH/AF e EA/HUM), extrato alcalino (EA) e índice de humificação (IH) em diferentes sistemas de manejos do solo

Manejos	COT	AF	AH	HUM	AH/AF	EA	EA/HUM	IH
	g kg ⁻¹					g kg ⁻¹		%
0,00-0,05 m								
A40	27,32 αβ	3,31 βA	3,58 αβ	14,08 β	1,09 αβAB	6,89 β	0,49 αβ	77,32 αβ
40ILP1	25,01 β	3,22 βAB	3,32 β	13,51 β	1,03 αβB	6,54 β	0,49 αβ	80,15 αβ
40ILP2	24,31 β	2,93 βAB	3,63 αβ	13,75 β	1,23 αβAB	6,56 β	0,49 αβ	83,97 αβ
A60	25,40 β	2,62 βB	3,66 αβ	15,85 αβ	1,40 A	6,28 β	0,41 αβ	87,57 αβ
60ILP1	27,21 αβ	3,05 βAB	3,50 αβ	16,56 αβ	1,16 αβAB	6,55 β	0,40 αβ	84,89 αβ
60ILP2	24,73 β	3,01 βAB	3,71 αβ	13,71 β	1,24 αβAB	6,72 β	0,50 αβ	82,41 αβ
RNAN	23,52 β	3,10 βAB	3,24 β	14,16 β	1,05 αβAB	6,33 β	0,45 αβ	87,27 αβ
Mata	31,73 α	4,57 α	4,40 α	19,13 α	0,96 α	8,97 α	0,47 α	88,58 α
Fenação	25,49 β	3,15 β	3,19 β	16,21 β	1,01 β	6,34 β	0,39 β	88,45 β
0,05-0,10 m								
A40	22,11 β	2,82 β	3,12 β	13,01 β	1,12 αβ	5,93 β	0,46 αβ	86,26 αβAB
40ILP1	21,57 β	2,73 β	3,08 β	12,79 β	1,13 αβ	5,82 β	0,46 αβ	86,52 αβAB
40ILP2	21,42 β	2,52 β	3,08 β	11,02 β	1,23 αβ	5,60 β	0,51 αβ	77,60 βB
A60	20,68 β	2,43	3,16 αβ	11,68 β	1,30 α	5,59 β	0,48 αβ	83,47 αβAB
60ILP1	23,62 αβ	2,74 β	3,14 αβ	13,55 β	1,18 αβ	5,88 β	0,45 αβ	82,06 αβAB
60ILP2	23,10 β	2,66 β	3,57 α	14,29 β	1,34 α	6,23 β	0,44 αβ	89,05 αβAB
RNAN	19,59 β	2,80 β	2,73 β	13,44 β	0,98 αβ	5,53 β	0,41 αβ	96,94 αβA
Mata	27,11 α	3,60 α	3,89 α	17,68 α	1,09 α	7,48 α	0,42 α	92,84 α
Fenação	21,76 β	3,00 β	2,82 β	13,15 β	0,95 β	5,82 β	0,45 β	87,21 β
0,10-0,20 m								
A40	21,29 αβB	2,85 αβ	3,08 αβ	13,45 αβ	1,08 αβ	5,93 αβ	0,44 αβ	91,17 αβ
40ILP1	22,38 αβAB	2,71 β	3,15 αβ	12,80 αβ	1,16 αβ	5,86 αβ	0,46 αβ	83,45 αβ
40ILP2	23,03 αAB	2,55 β	3,03 αβ	11,90 αβ	1,21 αβ	5,58 β	0,47 αβ	76,02 αβ
A60	22,05 αβB	2,47 β	3,23 αβ	16,83 α	1,30 α	5,69 αβ	0,36 αβ	102,64 α
60ILP1	25,55 αA	2,66 β	3,01 αβ	15,76 αβ	1,14 αβ	5,66 β	0,37 αβ	83,89 αβ
60ILP2	22,78 αAB	2,58 β	3,27 α	14,52 αβ	1,27 α	5,84 αβ	0,42 αβ	89,49 αβ
RNAN	21,68 αβB	2,83 αβ	2,72 αβ	12,93 αβ	0,97 αβ	5,55 β	0,44 αβ	85,34 αβ
Mata	23,51 α	3,30 α	3,42 α	13,92 α	1,04 α	6,72 α	0,48 α	87,84 α
Fenação	20,13 β	2,58 β	2,47 β	11,36 β	0,96 β	5,05 β	0,45 β	81,52 β

Nota: AF - ácidos fúlvicos; AH - ácidos húmicos; HUM - humina. Presença de mesmas letras grega nas colunas não diferem das áreas testemunhas pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade. Presença de mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si para os manejos avaliados pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Foram observadas diferenças dos manejos com as testemunhas em A60 para as variáveis AH/AF, 0,00-0,05 m, e AF, 0,05-0,10, que diferiram superiormente e inferiormente, respectivamente, das testemunhas (Tabela 1). Nas demais camadas e variáveis foram observadas em grande parte dos manejos resultados similares apenas a fenação, outras a mata e em alguns casos com ambas as testemunhas (Tabela 1).

As diferenças observadas dos manejos em relação a área de mata tem relação ao baixo tempo de condução dos mesmo, três anos apenas, uma vez que antes da implantação do experimento a área foi manejada em sistema convencional com revolvimento periódico do

solo deteriorando o conteúdo de carbono dentro da fração mais resistentes e da baixa deposição de resíduos sobre solo (LOSS et al., 2014; MARTINS et al., 2015).

Foi notado na camada de 0,10-0,20 m as mudanças mais relevantes dos manejos quando comparado as áreas testemunhas, em especial a mata, a qual a maior concentração de raízes das forrageiras de inverno e da cultura de verão colaboraram para a manutenção dos teores do COT e das frações AH e HUM pela deposição de resíduos em profundidade e menor perturbação antrópica (GAZOLLA et al., 2015).

Segundo Rasse et al. (2005), as raízes das plantas têm maior tempo de residência do carbono no solo, aproximadamente 2,4 vezes superior em comparação a parte aérea da planta, diante disso, a realização das “podas” periódicas pela realização do pastejo contribuiu de forma benéfica no incremento dos teores de carbono do solo.

Foram observados dentro dos manejos a ocorrência de predominância de carbono na fração AH em comparação à AF, indicando que em todos a ocorrência de uma maior humificação, devido as condições edáficas para conversação de compostos lábeis a formas mais recalcitrantes da MOS (CUNHA et al., 2007). Essa predominância de AH tem relação à adição de resíduos com baixa relação C:N sobre a superfície do solo, colaborando para uma maior atividade biológica aumentando a mineralização do carbono e a produção de compostos fenólicos solúveis que através da policondensação formam AH, contribuindo assim para o aumento em seus teores em relação a fração de AF (SOUZA et al., 2016).

Quanto a HUM é observados em todos os manejos valores bem inferiores nas primeiras camadas em relação a área de mata devido a deterioração dessa fração pelo antigo manejo adotado, revolvimento periódico do solo e baixa adição de residual, diante disso os manejos, mesmo com seu pouco tempo de implantação, proporcionaram resultados similar à área da mata na camada de 0,10-0,20 m e que mais ciclos produtivos podem vim a recuperação dos teores desta nas camadas superficiais.

Ainda em relação a HUM foi observado os maiores conteúdos de carbono, independe da profundidade, quando comparado as AH e AF indicando maior proteção do carbono devido a sua recalcitrância à degradação. Essa predominância pode ser um indicativo de melhorias sobre a retenção da umidade, melhor agregação do solo e maior retenção de cátions, características de grande importância quando se trata de sistemas sustentáveis de produção (SOUZA; MELO, 2003; LOSS et al., 2010; GAZOLLA et al., 2015).

Segundo Grinhut et al. (2007) e Barreto et al. (2008), a predominância da fração HUM tem relação a sua insolubilidade e resistência à biodegradação, favorecida pela formação de complexos argilo-húmicos estáveis e da composição mineralógica predominante

do solo, Latossolo Vermelho Eutrófico, que favorece as interações organominerais, aumentam a proteção dos grupos funcionais de fácil decomposição, tornando-os menos acessíveis aos microrganismos (SANTOS et al., 2013a).

Gazolla et al. (2015), avaliando áreas de pastagem, SPD e SIPA também observaram predominância da fração HUM estando tal características relacionada, em solos muito argilosos sob clima tropical, a proteção e interação da MOS com a fração mineral do solo.

Para a relação AH/AF, um indicador da qualidade do húmus e expressa o grau de evolução do processo de humificação da MOS, foram observados que os manejos quando comparado às testemunhas não diferiram, em alguns casos até superiores, e não sendo observado valores inferiores a 1,0, somente nas áreas de fenação, nas duas últimas camadas, e mata, na camada superficial.

Os valores maiores de 1,0 demonstram ter uma manutenção nos teores de AH em detrimento da fração AF e evidenciando solos melhor preservados contribuindo assim para a sustentabilidade e qualidade do solo (CANELLAS et al. 2003; GAZOLLA et al., 2015), a qual podem ser explicadas pelas condições edáficas, como o pH do solo, teor de argila e do clima (EBELING et al., 2011; MARTINS et al., 2015).

Gazolla et al. (2015), avaliando áreas de pastagem, SPD, SIPA e Cerrado também observaram valores da razão AH/AF nas áreas de SIPA superiores a 1,0, sendo que esse resultado indica atuação sobre a adição de carbono em formas mais resistente e preservação das condições edáficas pelo manejo adotado.

Sobre os resultados para EA dos manejos quando comparada as testemunhas, em especial a área de mata, tem relação ao baixa teor das frações de AF e AH nas camadas superficial devido a deterioração das mesmas pelos antigo manejo adotada, convencional com revolvimento periódico e abaixa adição de MOS, enquanto em profundidade é possível observar resultados melhores da transformação dos resíduos depositados para a formação e incremento dessas frações.

Para a relação a EA/HUM é possível destacar os baixos valores encontrados ($<1,0$) indicando predomínio da fração HUM sobre as frações AF e AH, devido à alta estabilidade entre a MOS e a matriz mineral, reflexo de menor grau de perturbação edáfica, modificações benéficas dessas ambientes pela adição de resíduos e ao favorecimento do processo de mineralização e estabilização da MOS (VALLADARES et al., 2011; MARTINS et al., 2015).

Rosset et al. (2016), avaliando áreas com diferentes tempo de adoção de sistema de plantio direto (SPD) (6, 14 e 22), área com 12 anos de SPD mais 4 anos de cultivo de braquiária (*Urochloa ruziziensis*) consorciada com milho, pastagem e mata em um Latossolo

Vermelho Eutroférico típico apresentaram resultados similares aos observado nesse estudo na relação EA/HUM.

Para os resultados obtidos para o IH dos manejos quando comparado as áreas testemunham corroboram as afirmativas de Silva e Mendonça (2007) e Mendonça e Matos (2017), de que as substâncias húmicas contribuem com cerca de 70 a 90% do carbono orgânico total do solo em alguns casos até superior como observado no presente estudo.

3.3.2 Frações Oxidáveis, Lável e Não Lável

Foram observadas diferenças entre os manejos para F1 em A60, 60ILP1 e 60ILP2, F1/F4 em A60, (F1+F2)/(F3+F4) em A60 e 40ILP1 e CL/COT em A60, 40ILP2 e 60ILP2 em que apresentaram os maiores valores quando comparado aos demais (Tabela 2). Nas demais variáveis e camadas não houve diferenças entre os manejos quando comparados entre si.

Em relação aos valores de F1 e CL/COT os maiores resultados observados no manejos mencionados podem ter relação com rápida decomposição e mineralização dos resíduos pelos microorganismo do solo, incrementando o conteúdo de carbono facilmente lábil, conseqüentemente melhoria sobre a ciclagem de nutrientes em curto prazo, além da notável contribuição para a formação e estabilização transitória de agregados (SANTOS et al., 2013a).

Para as relações F1/F4 e (F1+F2)/(F3+F4) os altos valores observados estão relacionados a deposição observado em profundidade das raízes, a qual por terem maior tempo de permanência no solo tendem a corroborar para o incremento de carbono em frações mais recalcitrantes do solo (RASSE et al., 2005) e segundo Loss et al. (2014) quanto mais próximo de 1,0 melhor é a distribuição dos teores de carbono entre as frações lábil e recalcitrantes no solo.

Os manejos quando comparados as testemunhas foram observadas na camada de 0,10-0,20 m para F4 em 60ILP1 e 60ILP2 e F1/F4 em 40ILP2, A60, 60ILP1, 60ILP2 e RNAN resultados estaticamente superiores e inferiores, respectivamente, para com as testemunhas. Nas demais camadas e variáveis foram observadas em grande parte dos manejos resultados similares apenas a fenação, outras a mata e em alguns casos com ambas as testemunhas (Tabela 2).

Para F1 é possível observar que mesmo com pouco tempo de implantação dos manejos avaliados foram capazes de proporcionar valores similares as áreas testemunhas, em especial a mata, pelo ao aporte de resíduos de diferentes origens, possivelmente devido a

acelerada decomposição e mineralização desses resíduos devido à baixa relação C:N (< 30:1) (BATISTA et al., 2014; PIANO et al., 2017).

Tabela 2. Frações oxidáveis (F1, F2, F3 e F4), relações entre as frações oxidáveis (F1/F4 e F1+F2/F3+F4), o carbono não-lábil (CNL) e proporção entre carbono lábil por carbono orgânico total (CL/COT) nos diferentes sistemas de manejos do solo

Manejos	F1	F2	F3	F4	F1/F4	(F1+F2)/ (F3+F4)	CNL g kg ⁻¹	CL/COT %
0,00-0,05 m								
A40	4,70 βB	6,34 αβ	7,94 αβ	8,34 αβ	0,63 αβ	0,73 αβ	22,62 αβ	17,28 αβB
40ILP1	6,37 αβAB	4,88 β	5,97 αβ	7,79 αβ	0,89 αβ	0,83 αβ	18,64 β	25,51 αβAB
40ILP2	6,90 αβAB	4,82 β	5,49 αβ	6,37 αβ	1,28 αβ	1,16 αβ	17,41 β	29,04 αβA
A60	6,56 αβAB	5,83 β	7,89 αβ	5,12 αβ	1,93 αβ	1,00 αβ	18,84 β	26,05 αβAB
60ILP1	7,65 αβA	3,62 β	7,76 αβ	8,18 αβ	0,96 αβ	0,71 αβ	19,56 αβ	28,23 αβAB
60ILP2	7,50 αβA	3,38 β	7,40 αβ	6,45 αβ	1,18 αβ	0,82 αβ	17,23 β	30,44 αβA
RNAN	5,76 βAB	3,54 β	6,97 αβ	7,26 αβ	0,82 αβ	0,67 αβ	17,77 β	24,49 αβAB
Mata	7,81 α	8,79 α	7,95 α	7,18 α	1,09 α	1,10 α	23,92 α	24,60 α
Fenação	6,58 β	4,07 β	9,34 β	5,49 β	1,30 β	0,74 β	18,91 β	26,07 β
0,05-0,10 m								
A40	4,01 αβB	4,66 β	7,68 αβ	5,76 αβ	0,76 αAB	0,66 βAB	18,10 αβ	17,74 αβB
40ILP1	6,25 αβAB	4,10 β	4,32 α	6,91 αβ	0,97 αβAB	0,95 αβAB	15,32 β	29,52 αβAB
40ILP2	4,89 αβAB	4,53 β	5,68 α	6,32 αβ	0,78 αAB	0,80 βAB	16,53 β	22,90 αβAB
A60	6,80 αβA	3,86 β	5,14 α	5,96 αβ	1,36 αβA	0,99 αA	13,88 β	32,84 βA
60ILP1	5,60 αβAB	4,48 β	5,40 α	8,13 α	0,70 αAB	0,75 βAB	18,02 αβ	23,76 αβAB
60ILP2	6,09 αβAB	3,33 β	5,73 α	7,95 α	0,85 αAB	0,69 βAB	17,01 β	26,38 αβAB
RNAN	3,65 αβB	3,81 β	4,71 α	7,42 α	0,49 αB	0,62 βB	15,94 β	18,65 αβB
Mata	5,78 α	8,78 α	5,95 α	6,60 α	0,92 α	1,17 α	21,33 α	21,34 α
Fenação	5,80 β	2,75 β	9,21 β	3,83 β	1,52 β	0,66 β	15,96 β	26,58 β
0,10-0,20 m								
A40	4,97 αβ	3,75 β	6,84 αβ	5,74 αβ	0,86 αβ	0,72 βAB	16,32 αβ	23,44 αβ
40ILP1	6,20 αβ	5,17 α	4,18 α	6,83 αβ	0,96 α	1,06 αA	16,18 αβ	27,82 αβ
40ILP2	4,91 αβ	5,06 α	6,21 αβ	6,85 αβ	0,73	0,77 βAB	18,12 α	21,46 α
A60	5,37 αβ	4,83 α	4,72 α	7,13 β	0,84	0,87 αβAB	16,69 αβ	24,30 αβ
60ILP1	6,39 αβ	3,84 β	7,05 αβ	8,26	0,78	0,67 βAB	19,15 α	25,14 αβ
60ILP2	4,92 αβ	4,97 α	5,15 α	7,74	0,64	0,79 βAB	17,85 α	21,68 α
RNAN	5,06 αβ	2,97 β	7,19 αβ	6,46 αβ	0,83	0,61 βB	16,62 αβ	23,38 αβ
Mata	5,29 α	7,25 α	6,86 α	4,12 α	1,37 α	1,16 α	18,23 α	22,51 α
Fenação	6,03 β	1,64 β	8,19 β	4,28 β	1,45 β	0,62 β	14,11 β	29,94 β

Nota: Presença de mesmas letras grega nas colunas não diferem das áreas testemunhas pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade. Presença de mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si para os manejos avaliados pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Guareschi et al. (2013), avaliando áreas do cerrado nativo, pastagem plantada com *Brachiaria decumbens*, SPD com 3 anos, SPD com 15 anos e SPD com 20 anos de implantação na região centro oeste do Brasil obtiveram resultados similares aos observados a fração F1.

Para F2 é possível observar nas camadas avaliadas para grande parte dos manejos foram estatisticamente inferiores a mata, com exceção em A40, 40ILP1, 40ILP2, A60 e

60ILP2, podendo ser reflexo do pouco tempo da conversão da fração facilmente lábil para a lábil ou pela própria natureza do material depositado por ser mais resistente a degradação, consequentemente, demorando mais tempo para liberar o carbono para o solo em formas lábil.

Rosset et al. (2016), avaliando a qualidade do solo a partir das frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica em áreas com diferentes tempos de adoção do sistema plantio direto (SPD) (6, 14 e 22 anos), área com 12 anos de SPD mais 4 anos de cultivo de braquiária (*Urochloa ruziziensis*) consorciada com milho, pastagem e mata nativa, também obtiveram resultados similares para os valores da fração F1 e F2.

A maior concentração do carbono, independente da camada avaliada, foram observadas nas frações F3 e F4, e apenas na mata é possível observar uma equidade entre as frações. Tais resultados podem indicar uma atuação maior para a formação de substâncias com maior peso molecular e estabilidade química, oriundos da decomposição e humificação dos resíduos depositados para incremento da MOS (STEVENSON, 1994), podendo, principalmente, ser devido a maior relação C:N dos restos culturais e dejetos animais depositados deixados pelos manejos.

Segundo Chan et al. (2001) e Guareschi et al. (2013), as frações F3 e F4 são mais resistentes no solo e apresentam maior tempo de permanência, em comparação com as frações F1 e F2, a qual os maiores teores, como observados no estudo, corroboram com uma menor variação no teor de umidade e temperatura, consequentemente criação de um ambiente mais favorável para a manutenção dos níveis da matéria orgânica e estabilidade da mesma.

Para as relações F1/F4 e (F1+F2)/(F3+F4) os valores obtidos na grande maioria dos manejos, independente da camada avaliada, foram inferiores a 1,0 demonstrando a predominância do carbono de difícil degradação, devido a sua maior resistência a oxidação pela ação de microrganismos, assim como pelo fato da textura muito argilosa proporcionar maior proteção a degradação pelos microrganismos (GUARESCHI et al., 2013).

Segundo Rosset et al. (2016) quando menores os valores obtidos dentro das relações F1/F4 e (F1+F2)/(F3+F4) pode significar menor entrada de material vegetal de maior labilidade, a qual pode estar relacionada não a qualidade dos resíduos depositados no solo mas na rápida transformação do carbono lábil em forma recalcitrantes a fim de recuperar os teores dentro das frações F3 e F4 que foram afetadas pelo antigo manejo adotado.

Foi observado a predominância da fração CNL em relação ao CL (F1) indicando formação de reservas mais recalcitrantes de carbono no solo, uma vez que esta fração tem ciclo mais lento e age tanto como reserva de nutrientes e na estabilidade química de microagregados no solo (ZECH et al., 1997; GUARESCHI et al., 2013), corroborando com o

observado dentro das relações $F1/F4$ e $(F1+F2)/(F3+F4)$ que está ocorrendo a recuperação do carbono mais resistente do solo pelos manejos.

Para a relação CL/COT aos valores obtidos indicam menor permanência de resíduos nos manejos avaliados sendo explicado os resultados obtidos provavelmente devido a intensidade do pastejo ou em relação acelerada de decomposição pelos microrganismos, devido a fatores climáticos e relação C:N dos resíduos, contribuindo para a conversão do CL em frações mais recalcitrantes, neste caso o CNL.

3.3.3 Índice de Manejo de Carbono

Foram observadas diferenças entre os manejos nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m em todos os índices e em 60ILP2, 60ILP1 e A60 foram encontrados os maiores valores dentre os demais (Tabela 3). É possível observar nas camadas superficiais as melhorias dentro dos índices estão atreladas aos resultados observados dentro das frações oxidáveis (Tabela 2).

Os resultados encontrados pela fração F1, a qual é a base de cálculo para esses índices e foram observados diferenças nas primeiras camadas do solo, pode ter relação a deposição dos resíduos tanto de origem vegetal quanto animais nas camadas superficial e em subsuperfície corroboraram para o incremento de carbono na forma lábil e não lábil proporcionando melhoria sobre os índices supracitados entre os diferentes manejos.

Na comparação dos manejos com as testemunhas foi observado em A40, de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, resultados inferiores às áreas testemunhas para ICC. Nas demais áreas e camadas não foram observadas diferenças em grande parte dos manejos com as testemunhas (Tabela 3).

Na variável ICC os valores obtidos nos manejos foram próximo a 1,0 indicando proximidade dos teores de COT em relação à referência, demonstrando o potencial de incremento no conteúdo de carbono no solo dos manejos avaliados, mesmo com o pouco tempo de adoção, proporcionado pela deposição de resíduos de diferentes naturezas e menor atuação antrópica sobre a estruturação edáfica, conseqüentemente, menor degradação e maior manutenção do carbono do solo (RANGEL et al. 2008).

Os resultados obtidos para LAB é possível observar que devido a maior proporção de CNL em relação ao CL, proporcionou que valores fossem inferiores a 1,0 indicativo de maior conversão do carbono em frações mais recalcitrantes. Para o ILAB foram observados valores acima de 1,0 em todos os manejos indicando labilidade dos manejos avaliados em relação as

testemunhas, além de um aumento da biodisponibilidade de carbono do solo (RANGEL et al. 2008).

Tabela 3. Índice de compartimento de carbono (ICC), labilidade (LAB), índice de labilidade (ILAB) e índice de manejo de carbono (IMC) nos diferentes sistemas de manejos

Manejos	ICC	LAB	ILAB	IMC
0,00-0,05 m				
A40	0,60 B	0,21 αβB	0,64 αβB	39,32 αβB
40ILP1	0,82 αβAB	0,35 αβAB	1,06 αβAB	88,53 αβAB
40ILP2	0,88 αβAB	0,42 αβAB	1,29 αβAB	117,10 αβAB
A60	0,84 αβAB	0,36 αβAB	1,11 αβAB	100,92 αβAB
60ILP1	0,98 αβA	0,40 αβAB	1,21 αβAB	119,32 αβAB
60ILP2	0,96 αβA	0,44 αβA	1,34 αβA	129,82 αβA
RNAN	0,74 βCAB	0,32 αβAB	0,99 αβAB	73,43 αβAB
Mata	1,00 α	0,33 α	1,00 α	100,00 α
Fenação	0,84 β	0,35 β	1,08 β	91,47 β
0,05-0,10 m				
A40	0,69 αβB	0,22 αβB	0,80 αβB	60,88 αβB
40ILP1	1,08 αβAB	0,43 αβAB	1,56 αβAB	172,56 αβAB
40ILP2	0,85 αβAB	0,30 αβAB	1,09 αβAB	93,87 αβAB
A60	1,18 αβA	0,50 βA	1,85 βA	233,28 βA
60ILP1	0,97 αβAB	0,31 αβAB	1,15 αβAB	112,97 αβAB
60ILP2	1,05 αβAB	0,36 αβAB	1,33 αβAB	146,44 αβAB
RNAN	0,63 B	0,23 αβB	0,85 αβB	55,01 αβB
Mata	1,00 α	0,27 α	1,00 α	100,00 α
Fenação	1,00 β	0,36 β	1,33 β	134,11 β
0,10-0,20 m				
A40	0,94 αβ	0,31 α	1,07 αβ	106,67 αβ
40ILP1	1,17 αβ	0,39 αβ	1,33 αβ	156,36 αβ
40ILP2	0,93 αβ	0,29 α	0,95 α	91,52 α
A60	1,02 αβ	0,32 αβ	1,10 αβ	112,37 αβ
60ILP1	1,21 αβ	0,34 αβ	1,16 αβ	141,18 αβ
60ILP2	0,93 αβ	0,28 α	0,96 α	93,88 α
RNAN	0,96 αβ	0,31 αβ	1,05 α	100,18 α
Mata	1,00 α	0,29 α	1,00 α	100,00 α
Fenação	1,14 β	0,43 β	1,46 β	167,26 β

Nota: Presença de mesmas letras grega nas colunas não diferem das áreas testemunhas pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade. Presença de mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si para os manejos avaliados pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Em relação aos resultados obtidos para o IMC em todas as camadas que os manejos colaboraram para a manutenção ou aumento do carbono do solo e resultados similares foram obtidos por Schiavo et al. (2011) avaliando áreas com diferentes tempo de adoção em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, encontraram valores próximo a área referência, 101,77 e 111,61 para as camadas de 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m, respectivamente, para uma área com integração e pastagem formada por espécie do gênero *Urochloa*.

Silva et al. (2011) avaliando o estoque de carbono e nitrogênio totais, das frações lábeis e recalcitrantes da MOS e o IMC, em sistema SIPA, após quatro e oito anos de

implantação, comparado com diversos sistemas de manejo, tais como pastagem, SPD e mata, obtiveram que o SIPA com 8 anos corroborou para valores semelhantes de IMC a área de mata nativa.

Enquanto que Isernhagen et al. (2017) avaliando diferentes manejos na região de Transição Cerrado/Amazônia em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa obtiveram resultados inferiores ao observados ao presente estudo para áreas com integração lavoura-pecuária-floresta com três anos de implantação obtendo valores de IMC de 53, 57 e 62 para as camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente.

É possível destacar que os manejo avaliados contribuíram para a manutenção dos teores de carbono o solo, entretanto vale ressaltar-se que a eficiência de um sistema na recuperação da qualidade do solo depende, além das características desse manejo, do processo de degradação do solo, como sobrepastejos, solo exposto e baixa produção de resíduos (REIS et al. 2016; ISERNHAGEN et al., 2017).

3.4 CONCLUSÕES

As diferentes configurações de SIPA, em especial 60ILP1 e 60ILP2, proporcionaram modificações nos teores de carbono orgânico total, frações de substâncias húmicas, oxidáveis e índice de manejos de carbono quando comparado aos demais manejos e em grande parte não diferindo das áreas testemunhas.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2014.

BARRETO, A. C. et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, n.4, p.1471-1478, 2008.

BLAIR, G. J. et al. 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, n.7, p.1459-1460, 1995.

BATISTA, I. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.38, n.3, p.797-809, 2014.

CAMARGO, S. C. et al. Efeito da aplicação de dejetos de suínos na concentração de minerais na parte aérea de capins Tifton 85. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.10, n.2, p.51-62, 2011.

CAMPOS, J. B.; SILVEIRA FILHO, L. **Série Ecossistemas Paranaenses – Floresta Estacional Semidecidual**. Governo do Estado do Paraná. v. 5, 2010. 8p.

CANELLAS, L. P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: UENF, 2005. 310p.

CHAN, K.Y. et al. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v.166, n.1, p.61-67, 2001.

CORDEIRO, L. A. M. et al. Integrated crop-livestock and integrated crop-livestock-forest systems: strategies for sustainable intensification of soil use. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.32, n.1-2, p. 15-53, 2015.

CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, v.37, n.1, p.91-98, 2007.

CRUZ, C. D. Genes: A Software Package for Analysis in Experimental Statistics and Quantitative Genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DORTZBACH, D. et al. Estoque de C e Abundância Natural de ^{13}C em Razão da Conversão de Áreas de Floresta e Pastagem em Bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Solo**, v.39, n.6, p.1643-1660, 2015.

EBELING, A. G. et al. Humic substances and relationship to soil attributes. **Bragantia**, v.70, n.1, p.157-165, 2011.

FERREIRA, D. F. et al. Procedimentos estatísticos em planejamentos experimentais com restrição na casualização. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.16-19, 2012.

GAZOLLA, P. R. et al. Fractions of soil organic matter under pasture, tillage system and crop-livestock integration. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.36, n.2, p.693-704, 2015.

GRINHUT, T. et al. Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: processes and mechanisms. **Fungal Biology Reviews**, v.21, n.4, p.179-189, 2007.

GUARESCHI, R. F. et al. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.242-250, 2013.

ISERNHAGEN, E. C. C. et al. Labile and total carbon pools in soil under integrated crop-livestock-forest system in the Cerrado/Amazonia Ecotone. **Nativa**, v.5, n.esp., p.515-521, 2017.

LOSS, A. et al. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, São Paulo, v.69, n.4, p.53-62, 2010.

- LOSS, A. et al. Physical and chemical attributes in systems of the consortium and succession of crops, pasture and silvopastoral in Santa Teresa, Espírito Santo State, Brazil. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p.1347-1357, 2014.
- MARTINS, C. M. et al. Fraction of organic matter in soil under deciduous formations in the north of minas. **Revista Caatinga**, v.28, n.4, p.10-20, 2015.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. 2. ed. rev. atual. Viçosa, MG: UFV, Gefert, 2017. 221p.
- PIANO, J. T. et al. Deposition and composition of residual straw in area under integrated crop livestock. **Revista Agrarian**, v.10, n.37, p. 234-243, 2017.
- PIÑEIRO, G. et al. Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. **Rangeland Ecology & Management**, v.63, n.1, p.109-119, 2010.
- PRIMO, D. C. et al. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**. v.7, n.5, p.1-13, 2011.
- R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Áustria: The R Foundation for Statistical Computing, 2016.
- RANGEL, O. J. P. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e agrotecnologia**, v.32, n.2, p.429-437, 2008.
- RASSE, D. P. et al. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant Soil**, v.269, n.1-2, p.341-356, 2005.
- REIS, D. A. et al. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1623-1632, 2016.
- ROSSET, J. S. et al. Chemical and oxidizable fractions of soil organic matter under different management systems in an Oxisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1529-1538, 2016.
- ROSSI, C. Q. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.2, p.233-241, 2012.
- SANTOS, D. C. et al. Physical and chemical fractionation of organic matter of an Alfisol under different use systems. **Ciência Rural**, v.43, n.5, p.838-844, 2013b.
- SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2013b. 353p.
- SCHIAVO, J. A. et al. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1332-1338, 2011.

SILVA, E. F. et al. Labile and recalcitrant fractions of soil organic matter under integrated crop-livestock system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, F. C. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica, 2009. 627p.

SOUZA, G. P. et al. Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1668-1676, 2016.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1113-1122, 2003.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: J. Wiley & Sons, 1994. 496p.

SWIFT, R. S. **Organic matter characterization**. In: SPARKS, D. L. Methods of soil analysis. Madison: SSSA, p. 1011-1069. 1996.

VALLADARES, G. S. et al. Changes promoted by management in Oxisol, Rondônia, Brazilian Amazon. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p.631-637, 2011

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da interferência sobre a qualidade do solo realizada por um conjunto de variáveis, em vez de apenas a determinação do carbono orgânico total, mostrou-se eficiente em demonstrar e determinar as contribuições do emprego do SIPA para a manutenção e em alguns casos recuperação dentro dos diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo.

Aos conjuntos de variáveis estudadas, isto é, os elementos química do solo, carbono orgânico total, as diferentes frações da matéria orgânica e o índice de manejos de carbono demonstraram serem eficaz para a observação das contribuições dos diferentes manejos em relação a manutenção e, ou, incremento dos atributos químicos do solo e dinâmica do carbono dos diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo.

Ao cálculo do índice de manejo de carbono proposta por Conceição e colaboradores, adaptada de Blair e colaboradores, que leva em consideração os estoque de COT, COP e COAM talvez não seja tão recomendada para o ambiente do estudo, no caso regiões subtropical, uma vez que sua determinação pode proporcionar resultados superestimados como observado no presente estudo ao mesmo tempo que a modificação proposta por Rangel e seus colaboradores pareceu ser a que melhor demonstrou a realidade para nos manejos avaliados.

O emprego da maior densidade de semeadura de aveia com 1 ou 2 frequências de pastejo demonstraram melhorias quando comparado a menor densidade e ao emprego das culturas invernais azevém e nabo forrageiro, além de não apresentar diferenças das área de mata nativa e fenação, possibilitando ao produtor uma opção de substituição a fenação e, ou, optando conforme sua necessidade, conseqüentemente, podendo proporcionar maior preservação do solo, possibilidade de retorno econômico e sustentabilidade do sistema produtivo.

ANEXOS

Anexo 1. Valores do quadrado médio dos atributos químicos de solo

Teste de Dunnett

0,00-0,05 m

F.V.	GL	P	pH	H + AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
Trat	8	1266,2530	0,3111	1,9598	0,0536	6,8789	0,5963	7,8732	7,9109	143,3929
Erro	27	141,6568	0,1295	1,0191	0,0420	0,4576	0,2168	1,4140	1,1659	63,3806
CV (%)		38,7234	6,3273	21,3957	33,8448	14,8672	18,5721	15,5182	8,7211	12,9317
DMS		23,4805	0,7099	1,9916	0,4043	1,3345	0,9186	2,3459	2,1302	15,7061

0,05-0,10 m

F.V.	GL	P	pH	H + AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
Trat	8	619,2790	0,3416	4,6477	0,0321	4,6117	0,3858	5,7765	4,5835	298,7609
Erro	27	124,8039	0,1673	0,7442	0,0367	0,4929	0,1717	1,3968	0,7616	68,4534
CV (%)		44,4821	7,7534	15,6586	45,7160	20,1863	22,4934	20,5928	7,7584	16,2911
DMS		22,0396	0,8069	1,7019	0,3778	1,3851	0,8175	2,3316	1,7217	16,3225

0,10-0,20 m

F.V.	GL	P	pH	H + AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
Trat	8	264,7080	0,3124	2,7174	0,0544	1,3823	0,3760	1,8678	3,2802	123,2172
Erro	27	55,3664	0,1912	0,7283	0,0222	0,6183	0,1607	1,5671	0,8734	73,2825
CV (%)		40,1756	8,1715	16,6833	38,2588	21,3635	20,8475	20,8888	8,4136	15,9121
DMS		14,6795	0,8626	1,6836	0,2939	1,5512	0,7908	2,4696	1,8438	16,8884

Teste de Tukey

0,00-0,05 m

F.V.	GL	P	pH	H + AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
Trat	6	784,0099	0,1117	1,6925	0,0173	0,8853	0,2635	1,9809	3,4949	67,8582
Erro	21	73,4479	0,1586	1,2154	0,0508	0,4897	0,2448	1,6168	1,1697	78,8334
CV (%)		27,7599	6,9572	22,8776	34,9475	17,6819	20,4026	18,0947	9,1296	14,9793
DMS		19,699	0,9154	2,534	0,5181	1,6085	1,1373	2,9227	2,4859	20,4084

0,05-0,10 m

F.V.	GL	P	pH	H + AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
Trat	6	451,8874	0,0850	2,0003	0,0192	0,1806	0,0150	0,2322	2,1219	38,4277
Erro	21	140,6052	0,2053	0,9172	0,0432	0,3983	0,1221	1,2312	0,4498	80,4730
CV (%)		41,6671	8,6776	16,3105	46,3127	21,1080	20,3801	21,5309	6,0828	19,1834
DMS		27,2555	1,0415	2,2014	0,4779	1,4507	0,8032	2,5505	1,5415	20,6195

0,10-0,20 m

F.V.	GL	P	pH	H + AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
Trat	6	171,2560	0,3414	1,6472	0,0122	0,5126	0,1537	1,2994	2,7005	53,6946
Erro	21	49,4491	0,2236	0,9108	0,0264	0,7081	0,1694	1,7948	0,8078	91,7356
CV (%)		33,4527	8,8046	18,1364	36,6593	24,3539	22,1708	23,2804	8,1582	18,4216
DMS		16,1634	1,0869	2,1937	0,3732	1,9343	0,9461	3,0794	2,0659	22,0152

Nota: F.V. – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; Trat – Tratamento; CV – Coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa.

Anexo 2. Valores do quadrado médio das frações físicas da matéria orgânica do solo e estoques

Teste de Dunnett

0,00-0,05 m

F.V.	GL	COT	COP	COAM	EstCOT	EstCOP	EstCOAM
Trat	8	24,0805	30,2242	70,7455	3,2863	4,1247	9,6547
Erro	27	5,4458	16,2115	11,8900	0,7432	2,2124	1,6226
CV (%)		8,9469	22,5829	42,1945	8,9469	22,5829	42,1944
DMS		4,6038	7,9433	6,8027	1,7008	2,9344	2,5130

0,05-0,10 m

F.V.	GL	COT	COP	COAM	EstCOT	EstCOP	EstCOAM
Trat	8	18,5548	28,1661	73,2534	2,8797	4,3713	11,3687
Erro	27	3,3820	10,0150	7,0529	0,5249	1,5543	1,0946
CV (%)		8,2359	23,7005	29,5846	8,2359	23,7005	29,5846
DMS		3,6281	6,2433	5,2393	1,4293	2,4596	2,0640

0,10-0,20 m

F.V.	GL	COT	COP	COAM	EstCOT	EstCOP	EstCOAM
Trat	8	9,3007	37,3466	51,7465	7,7477	31,1104	43,1058
Erro	27	1,7138	8,0808	5,7300	1,4276	6,7315	4,7732
CV (%)		5,8207	19,2722	30,9251	5,8207	19,2722	30,9251
DMS		2,5827	5,6081	4,7224	2,3572	5,1185	4,3102

Teste de Tukey

0,00-0,05 m

F.V.	GL	COT	COP	COAM	EstCOT	EstCOP	EstCOAM
Trat	6	8,1664	5,1599	10,6597	1,1145	0,7042	1,4547
Erro	21	5,9826	13,7424	9,9526	0,8165	1,8754	1,3582
CV (%)		9,6447	19,4617	50,8215	9,6447	19,4617	50,8215
DMS		5,6221	8,5209	7,2514	2,077	3,1478	2,6787

0,05-0,10 m

F.V.	GL	COT	COP	COAM	EstCOT	EstCOP	EstCOAM
Trat	6.	7,5987	2,2309	11,8119	1,1793	0,3462	1,8332
Erro	21	3,7008	11,9229	8,6983	0,5744	1,8504	1,3500
CV (%)		8,8539	23,5705	41,6674	8,8539	23,5705	41,6674
DMS		4,4218	7,9368	6,7791	1,7420	3,1267	2,6706

0,10-0,20 m

F.V.	GL	COT	COP	COAM	EstCOT	EstCOP	EstCOAM
Trat	6	7,8350	3,9920	16,5887	6,5267	3,3254	13,8187
Erro	21	2,0016	10,1267	7,1211	1,6674	8,4357	5,9320
CV (%)		6,2378	19,8244	40,2560	6,2378	19,8244	40,2560
DMS		3,2520	7,3146	6,1338	2,9681	6,6760	5,5983

Nota: F.V. – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; Trat – Tratamento; CV – Coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa.

Anexo 3. Valores do quadrado médio do índice de manejo de carbono calculado com base nas frações físicas da matéria orgânica do solo

Teste de Dunnett					
0,00-0,05 m					
F.V.	GL	IEC	LAB	ILAB	IMC
Trat	8	0,0186	4,8295	4,7376	24664,8937
Erro	18	0,0016	3,8701	3,6153	22211,8844
CV (%)		4,7927	73,3094	73,4636	72,4771
DMS		0,0944	4,6421	4,4867	351,6778
0,05-0,10 m					
F.V.	GL	IEC	LAB	ILAB	IMC
Trat	8	0,0242	1,4611	6,4567	31091,0488
Erro	18	0,0015	0,1921	0,8254	6401,9283
CV (%)		4,7704	28,9591	28,9520	31,9471
DMS		0,0928	1,0342	2,1438	188,8024
0,10-0,20 m					
F.V.	GL	IEC	LAB	ILAB	IMC
Trat	8	0,0183	3,3758	15,6876	127781,0542
Erro	18	0,0011	1,2018	5,6180	50529,9991
CV (%)		3,4397	50,5066	50,4604	50,9925
DMS		0,0774	2,5868	5,5930	530,4285

Teste de Tukey					
0,00-0,05 m					
F.V.	GL	IEC	LAB	ILAB	IMC
Trat	6	0,0091	4,0175	3,7890	20451,1567
Erro	14	0,0016	4,6950	4,4280	27156,3237
CV (%)		4,8341	70,4772	70,4772	70,5240
DMS		0,1115	6,0423	5,868	459,5386
0,05-0,10 m					
F.V.	GL	IEC	LAB	ILAB	IMC
Trat	6	0,0144	0,8097	3,5026	13266,0033
Erro	14	0,0015	0,2430	1,0510	8070,0749
CV (%)		4,8952	27,6614	27,6614	30,6858
DMS		0,1089	1,3746	2,8588	250,5101
0,10-0,20 m					
F.V.	GL	IEC	LAB	ILAB	IMC
Trat	6	0,0167	2,5570	11,9556	87953,4397
Erro	14	0,0013	1,5260	7,1351	64469,4698
CV (%)		3,6835	49,7192	49,7192	49,9694
DMS		0,0989	3,4448	7,4488	708,0494

Nota: F.V. – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; Trat – Tratamento; CV – Coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa.

Anexo 4. Valores do quadrado médio das frações oxidáveis da matéria orgânica do soloelações de interesse e índices

Teste de Dunnett

0,00-0,05 m

F.V.	GL	F1	F2	F3	F4	F1+F4	(F1+F2)/(F3+F4)	CNL	CL/COT
Trat	8	3,9124	12,1930	5,3125	5,1679	0,5612	0,1314	21,6188	56,9640
Erro	27	0,9485	1,8362	6,0019	3,8063	0,3581	0,0826	6,0548	20,4011
CV (%)		14,6455	26,9423	33,0501	28,2370	53,5199	33,3692	12,6623	17,5437
DMS		1,9214	2,6733	4,8332	3,8489	1,1806	0,5670	4,8544	8,9108

0,05-0,10 m

F.V.	GL	F1	F2	F3	F4	F1+F4	(F1+F2)/(F3+F4)	CNL	CL/COT
Trat	8	4,3737	11,9245	9,4483	6,8826	0,4182	0,1400	17,9397	97,8351
Erro	27	1,2142	1,2100	2,2597	3,2250	0,0976	0,0230	3,2284	22,4106
CV (%)		20,2947	24,5585	25,1363	27,4530	33,6737	18,7057	10,6318	19,3919
DMS		2,1739	2,1701	2,9656	3,5429	0,6165	0,2993	3,5447	9,3393

0,10-0,20 m

F.V.	GL	F1	F2	F3	F4	F1 F4	(F1+F2)/(F3+F4)	CNL	CL/COT
Trat	8	1,3839	10,0284	6,9230	8,1545	0,3167	0,1463	8,9264	32,2540
Erro	27	0,5579	1,6750	2,2291	2,2079	0,0675	0,0320	2,3078	12,9827
CV (%)		13,6793	29,5147	23,8284	23,2914	27,6453	22,1885	8,9203	14,7620
DMS		1,4736	2,5533	2,9454	2,9314	0,5127	0,3528	2,9970	7,1084

Teste de Tukey

0,00-0,05 m

F.V.	GL	F1	F2	F3	F4	F1 F4	(F1+F2)/(F3+F4)	CNL	CL/COT
Trat	6	4,1950	5,4834	3,8250	5,3802	0,7244	0,1249	13,7412	74,9489
Erro	21	1,1005	2,2646	7,4031	4,4530	0,4325	0,1008	6,6859	23,9189
CV (%)		16,1570	32,5019	38,5376	29,8372	59,9438	37,5959	13,7045	18,9099
DMS		2,4113	3,459	6,254	4,8504	1,5116	0,7298	5,9434	11,2415

0,05-0,10 m

F.V.	GL	F1	F2	F3	F4	F1 F4	(F1+F2)/(F3+F4)	CNL	CL/COT
Trat	6	5,6100	0,9134	4,6583	3,6024	0,2922	0,0820	9,0780	120,9211
Erro	21	1,3671	1,1797	2,4856	3,7237	0,1096	0,0259	3,7194	26,9727
CV (%)		21,9501	26,4195	28,5446	27,8829	39,2129	20,5838	11,7591	21,1620
DMS		2,6876	2,4965	3,6238	4,4355	0,7611	0,3701	4,4330	11,9376

0,10-0,20 m

F.V.	GL	F1	F2	F3	F4	F1 F4	(F1+F2)/(F3+F4)	CNL	CL/COT
Trat	6	1,5952	2,8805	5,9338	2,7306	0,0406	0,0873	4,9644	18,9686
Erro	21	0,6438	2,0633	2,5677	2,5465	0,0463	0,0369	2,7284	15,3112
CV (%)		14,8474	32,8788	27,1309	22,7905	26,7179	24,5103	9,5605	16,3798
DMS		1,8443	3,3017	3,6832	3,6680	0,4948	0,4413	3,7967	8,9941

Nota: F.V. – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; Trat – Tratamento; CV – Coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa.

Anexo 5. Valores do quadrado médio das frações químicas da matéria orgânica do solo, relações de interesse e índices

Teste de Dunnett								
0,00-0,05 m								
F.V.	GL	AF	AH	HUM	AH AF	EA	EA/HUM	IH
Trat	8	1,1824	0,5245	14,1317	0,0794	2,8047	0,0077	62,2492
Erro	27	0,0800	0,2095	4,8630	0,0209	0,4115	0,0057	59,1083
CV (%)		8,7915	12,7852	14,4911	12,7804	9,4368	16,5984	9,0971
DMS		0,5580	0,9030	4,3505	0,2852	1,2655	0,1489	15,1675
0,05-0,10 m								
F.V.	GL	AF	AH	HUM	AH AF	EA	EA/HUM	IH
Trat	8	0,4592	0,5038	14,1657	0,0699	1,4446	0,0035	131,4912
Erro	27	0,0796	0,1436	2,7220	0,0292	0,2121	0,0035	46,7588
CV		10,0374	11,9317	12,3125	14,9180	7,6944	12,9618	7,8704
DMS		0,5565	0,7476	3,2549	0,3371	0,9087	0,1161	13,4903
0,10-0,20								
F.V.	GL	AF	AH	HUM	AH AF	EA	EA/HUM	IH
Trat	8	0,2500	0,3345	12,4777	0,0609	0,7743	0,0076	222,0944
Erro	27	0,0584	0,1504	5,4783	0,0224	0,2790	0,0057	113,5419
CV (%)		10,0374	8,8656	12,7509	17,0619	13,3213	9,1581	17,4039
DMS		0,5565	0,4767	0,7651	4,6175	0,2956	1,0420	0,1485

Teste de Tukey								
0,00-0,05 m								
F.V.	GL	AF	AH	HUM	AH AF	EA	EA/HUM	IH
Trat	6	0,1989	0,1294	5,6784	0,0706	0,1736	0,0073	55,5397
Erro	21	0,0878	0,2397	5,6378	0,0248	0,4639	0,0071	74,3399
CV (%)		9,7676	13,9137	16,3557	13,4422	10,3930	18,1985	10,3420
DMS		0,6811	1,1254	5,4577	0,362	1,5656	0,1937	19,8182
0,05-0,10 m								
F.V.	GL	AF	AH	HUM	AH AF	EA	EA/HUM	IH
Trat	6	0,0846	0,2371	5,1125	0,0601	0,2440	0,0039	147,8494
Erro	21	0,0645	0,1764	3,0675	0,0316	0,2561	0,0039	57,6755
CV		9,5108	13,4380	13,6564	15,0601	8,7311	13,5384	8,8322
DMS		0,5839	0,9655	4,0257	0,4088	1,1633	0,1429	17,4562
0,10-0,20 m								
F.V.	GL	AF	AH	HUM	AH AF	EA	EA/HUM	IH
Trat	6	0,0844	0,1315	12,4440	0,0517	0,0869	0,0079	274,9884
Erro	21	0,0683	0,1807	6,7663	0,0280	0,3280	0,0070	137,4587
CV (%)		9,8075	13,8518	18,5443	14,4218	9,9888	19,7729	13,4101
DMS		0,6007	0,9771	5,9790	0,3848	1,3164	0,1924	26,9488

Nota: F.V. – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; Trat – Tratamento; CV – Coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa.

Anexo 6. Valores do quadrado médio do índice de manejo de carbono calculado com base nas frações oxidáveis da matéria orgânica do solo

Teste de Dunnett					
0,00-0,05 m					
F.V.	GL	ICC	L	IL	IMC
Trat	8	0,0641	0,0181	0,1687	2984,7471
Erro	27	0,0141	0,0077	0,0697	1193,2408
CV (%)		13,9665	24,7607	24,4263	36,1537
DMS		0,2343	0,1731	0,5208	68,1480
0,05-0,10 m					
F.V.	GL	ICC	L	IL	IMC
Trat	8	0,1310	0,0343	0,4609	12624,8256
Erro	27	0,0339	0,0082	0,1051	3756,0288
CV (%)		19,6090	27,1899	26,6108	49,7316
DMS		0,3635	0,1784	0,6395	120,9076
0,10-0,20 m					
F.V.	GL	ICC	L	IL	IMC
Trat	8	0,0495	0,0102	0,1200	3256,5356
Erro	27	0,0184	0,0038	0,0410	1114,4713
CV (%)		13,1364	18,8048	18,1003	28,0951
DMS		0,2677	0,1212	0,3997	65,8603

Teste de Tukey					
0,00-0,05 m					
F.V.	GL	ICC	L	IL	IMC
Trat	6	0,0687	0,0236	0,2200	3955,3581
Erro	21	0,0180	0,0091	0,0851	1492,4288
CV (%)		16,1573	26,7184	26,7176	40,4560
DMS		0,3084	0,2193	0,6705	88,7975
0,05-0,10 m					
F.V.	GL	ICC	L	IL	IMC
Trat	6	0,1680	0,0428	0,5737	16379,8291
Erro	21	0,0409	0,0100	0,1338	4715,6647
CV (%)		21,9502	29,6535	29,6541	54,9364
DMS		0,4651	0,2295	0,8409	157,8430
0,10-0,20 m					
F.V.	GL	ICC	L	IL	IMC
Trat	6	0,0571	0,0056	0,0663	2458,6060
Erro	21	0,0230	0,0044	0,0520	1391,9541
CV (%)		14,8475	20,9731	20,9723	32,5574
DMS		0,3489	0,1530	0,5240	85,7564

Nota: F.V. – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; Trat – Tratamento; CV – Coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa.