

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE MUNDO NOVO
TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

LUAN SOARES BISPO

**FRAÇÕES OXIDÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO
DE MUNDO NOVO, MS**

Mundo Novo - MS

Setembro/2018

LUAN SOARES BISPO

**FRAÇÕES OXIDÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO
DE MUNDO NOVO, MS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset

Mundo Novo – MS

Setembro/2018

LUAN SOARES BISPO

**FRAÇÕES OXIDÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO
DE MUNDO NOVO, MS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

APROVADO EM 14 de setembro de 2018

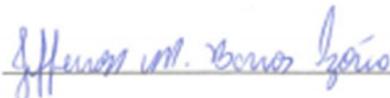
Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset - Orientador – UEMS



Prof. Dr. Leandro Marciano Marra – UEMS



Tec. Amb. Jefferson Matheus Barros Ozório – UEMS



Dedico este trabalho à meus pais, querida irmã e amigos, além de dedica-lo à tribo indígena na qual eu faço parte, à etnia Pataxó, especialmente à Aldeia Mãe (Barra Velha) e as demais aldeias e reservas ocupadas/habitadas pelo nosso povo, e claro, à Aldeia Velha de Arraial D'Ajuda (Porto Seguro – BA).

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho e, posteriormente minha formação, só foi possível devido a dedicação de ambas as partes, um balanço emocional entre a distância de seu porto seguro e o interesse por conhecimento. Que foi graças ao amor incondicional e apoio de várias pessoas, em especial aos meus amados pais, Tereza Bispo e Noel Soares, inspirações para mim, e minha maravilhosa irmã Niely, aos meus avós, a todos os meus familiares da Bahia e de outras localidades, obrigado a todos, amor incondicional.

Em especial, também agradeço aos meus amigos de longa data, resenhas e choros: Amanda, Rafaela, Vitória, Thaila, Mayara, Douglas, Kathary e Enan, além dos meus amigos que o destino escolheu para compartilhar ótimas experiências de vida, Bruno Feitosa, Beatriz dos Anjos, Roberta Aragão, Julia Rayane, Camila Beatriz, Paulo Guilherme, Jefferson Matheus e demais.

Agradeço todas as oportunidades que me foram concedidas ao longo de minha vida, como também agradeço muito pela oportunidade de ser orientado pela Professora Dra. Valéria Batista no início do curso, na qual foi uma experiência enriquecedora.

A orientação de Iniciação científica e deste trabalho de conclusão de curso, efetuada pelo Professor Dr. Jean Sérgio Rosset. Muito obrigado Professor Jean, não agradeço apenas pela paciência ou métrica respeitada por todos, mas pelo grande conhecimento que o senhor detém e pela dedicação em passa-los de forma clara e coesa.

A Profa. Dra. Selene Castilho, pelas aulas e diálogos. A Profa. Dra. Vanessa Pedrancini, pelo carinho e apoio, enfim, a todo corpo docente da Instituição Pública, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), em especial ao campus situado no município de Mundo Novo, MS, a seu corpo técnico, como também a seus colaboradores internos e externos, que trabalham arduamente, com muito carisma e simpatia para manter a instituição.

A vivência/experiência que tive morando na Aldeia Velha, a comunidade Pataxó (Coroa Vermelha, Aldeia Mãe e demais reservas e aldeias Pataxó na Bahia e Minas Gerais), como a toda minoria indígena do país, a sua resistência e permanência. Que possamos juntos lutar por nossos direitos, sem mais segregação.

“Não sei como o mundo me vê; mas eu me sinto como um garoto brincando na praia, contente em achar aqui e ali uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita, tendo sempre dentro de mim, ainda por descobrir, o grande oceano da verdade”.

Isaac Newton (1642-1727)

RESUMO

O solo corresponde a um complexo ecossistema, possuindo diversas funções e formas de vida, apresentando em sua paisagem diversas matrizes, com edificação nas grandes cidades, áreas agricultáveis e florestas nativas. A degradação deste recurso vem ocorrendo ao longo dos anos, evidenciando os manejos incorretos adotados e praticados de forma intensiva e não sustentável no Brasil, refletindo em processos de degradação, como as pastagens degradadas, que atualmente são consideradas um grande desafio para o sistema produtivo do país. Este trabalho propôs avaliar a dinâmica do carbono orgânico total (COT) e das frações oxidáveis da matéria orgânica do solo (MOS) em diferentes sistemas de manejo ao longo do tempo na região Cone Sul do estado de Mato Grosso do Sul. Foram avaliadas duas áreas manejadas (pastagem permanente – PP, e área em recuperação – AR) além de uma área de referência (mata nativa - MN) no município de Mundo Novo, MS. Foram realizadas 3 coletas de amostras de solo: tempo zero mês (março/ 2016), após seis meses (setembro/2016), e após 12 meses (março/2017), períodos esses considerados após o início do processo revegetação da AR que ocorreu em março de 2016. Para as três coletas de solo foram avaliados os teores de COT e as frações oxidáveis do carbono (C): F1, F2, F3 e F4, com posteriores cálculos relacionando as frações lábeis e recalcitrantes ($F1/F4$ e $((F1+F2)/(F3+F4))$). Para o COT, a AR aumentou seus teores ao longo do tempo de condução do processo de recuperação, principalmente após 12 meses, com teor de COT chegando a $22,76 \text{ g kg}^{-1}$ na camada 0-0,05m. Este aumento foi de 31% após os 12 meses de estudo, influenciado pelo aporte de matéria orgânica na camada superficial do solo, como as medidas de isolamento da área e plantio de espécies arbóreas (recomposição vegetal). A AR apresentou maiores teores das frações mais lábeis do carbono após 12 meses em relação às áreas de PP ainda em processo de degradação e MN. A porcentagem representativa de carbono lábil e recalcitrante foi semelhante para todas as áreas estudadas, ficando próxima a 50%. As práticas de isolamento e plantio de espécies nativas na área de recuperação beneficiaram o aumento das frações lábeis e recalcitrantes de carbono em curto período, contribuindo para o aumento no teor de carbono orgânico total do solo e consequente melhoria da qualidade da fração orgânica do ambiente edáfico.

Palavras-chave: Manejo do solo. Frações do carbono. Conservação do solo.

SUMÁRIO

1. Introdução	8
2. Objetivos	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos	10
3. Material e Métodos	10
3.1 Localização, Clima e Solo da Área de Estudo	10
3.2 Sistemas Avaliados e Histórico de uso	10
3.3 Coleta de Amostras de Solo	13
3.4 Análises Realizadas	14
4. Resultados e Discussão	17
4.1 Carbono Orgânico Total (COT)	17
4.2 Frações Oxidáveis da Matéria Orgânica do Solo	19
6. Conclusões e Considerações Finais	26
Referências	27

1. INTRODUÇÃO

O solo é um importante componente dos ecossistemas, servindo como abrigo para animais e como meio de sustentação pelas espécies da flora. O crescimento demográfico desordenado, e o crescimento das fronteiras agrícolas apresentam-se como fatores que podem levar o solo a degradação (CHAVES et al., 2012). No estado de Mato Grosso do Sul, como a região centro-oeste, a partir da década de 1970, houve uma expansão das fronteiras agrícolas, influenciados pelo Governo Federal da época, trazendo consigo atividades de monocultura, desenvolvimento de novas pastagens para criação bovina e, também as agroindústrias para região. Estas atividades, quando feitas de maneira inadequadas, acarretaram em problemas de degradação ambiental, como é o caso das pastagens degradadas, e os conflitos socioambientais para a região.

Quando solos cultivados são manejados incorretamente, a exemplo das áreas de pastagens degradadas, tem sido observada redução da qualidade edáfica (BOENI et al., 2014), causando degradação e perdas de produtividade (MUNKHOLM et al., 2013). Por outro lado, ao serem manejados corretamente, com a introdução de sistemas conservacionistas (SALTON et al., 2014) e processos adequados de recuperação de áreas (SILVA et al., 2018) pode ocorrer melhoria nos atributos do solo, como aumento nos teores de carbono orgânico total (COT) (WEST; POST, 2002), diversidade da biota do solo (BARTZ et al., 2014; BABUJIA et al., 2014), maior estabilidade estrutural e tamanho de agregados, entre outros benefícios (FOLEY et al., 2005).

As pastagens degradadas do país evidenciam que manejos incorretos levam a baixa qualidade do solo, sendo também um dos fatores que estimulam os processos erosivos do ambiente edáfico (SILVA et al., 2018), principalmente devido ao pisoteio do gado sobre as camadas superficiais, podendo compactar as camadas adjacentes, interferindo na condutividade hidráulica da área e demais atributos edáficos importantes para o pleno funcionamento do agroecossistema (DIAS FILHO, 2014).

A matéria orgânica do solo (MOS) atenua o impacto das gotas da chuva sobre a superfície do solo, auxiliando na retenção de água, além da liberação de nutrientes pelo processo de mineralização, dando continuidade aos ciclos biogeoquímicos e, consequente acúmulo de carbono (C) no solo ao longo do tempo, este último é influenciado pela composição química (relação carbono/nitrogênio - C/N), além do manejo adotado. Além

disso, um solo de boa qualidade não deve apresentar apenas elevado teor de MOS, necessita também de equilíbrio entre formas estáveis e mineralizáveis da MOS (ZHONGKUI et al., 2010).

Existem várias formas de se estudar a dinâmica da MOS, dentre elas, se destacam o fracionamento químico (SWIFT, 1996, BENITES et al., 2003), o fracionamento físico (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992) e o fracionamento oxidável (CHAN et al., 2001).

A partir da modificação do método clássico de determinação de COT (WALKEY; BLACK, 1934); Chan et al. (2001) adaptaram a metodologia para determinar frações do C mediante seu grau de oxidação. Desta forma, é possível realizar avaliação de compartimentos de C desde os mais lábeis até os mais recalcitrantes, sendo divididas em quatro frações (F1, F2, F3 e F4) com graus decrescentes de oxidação. As frações F1 e F2 estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e formação de macroagregados (CHAN et al., 2001), sendo a fração F1 a de maior labilidade no solo e as frações F3 e F4 estão relacionadas a compostos de maior estabilidade química, originados dos processos de humificação da MOS (RANGEL et al., 2008).

Um desafio para a recuperação ambiental de áreas degradadas é a busca de dados sobre a qualidade do ambiente edáfico (NOVAK et al., 2017). A compreensão da dinâmica da MOS em sistemas manejados e em áreas de recuperação ambiental, permite subsidiar o estabelecimento de estratégias de manejo que garantam incremento do conteúdo de MOS, qualidade ambiental e do solo ao longo do tempo (ROSSI et al., 2011). Dependendo do tempo de avaliação dos sistemas de manejo, em algumas situações não é possível identificar diferenças somente com análise da variação dos teores de COT (BARRETO et al., 2011).

Assim, é necessário conhecer o padrão das diferentes frações que compõem a MOS, como o C das frações oxidáveis, para que estes atributos, através da análise dos seus padrões, possam ser utilizados como indicadores de qualidade do solo (GUARESCHI et al., 2013) e, dessa forma, serem estabelecidas melhores recomendações de uso e manejo, sendo uma das estratégias utilizadas para avaliar as alterações do solo em decorrência do tipo de uso e de técnicas de manejo, é a avaliação dos atributos comparando solos manejados com aqueles sem manejo, sob vegetação natural (BARROS; COMERFORD, 2002).

A região onde o município de Mundo Novo está inserido apresenta-se com uma dessas áreas de grande interesse agrícola no país, sendo importante a preocupação com a qualidade desses solos e seus manejos adotados. Devido a isso, as análises do conteúdo de

COT e fracionamento oxidável da matéria orgânica mostram-se com potencial de serem conclusivas para a avaliação da qualidade edáfica dessas áreas manejadas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a dinâmica do carbono orgânico total e das frações oxidáveis da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo ao longo do tempo na região Cone-Sul do estado de Mato Grosso do Sul.

2.2. Objetivos específicos

Quantificar os teores de carbono orgânico total em diferentes sistemas de manejo.

Quantificar os teores das diferentes frações oxidáveis da matéria orgânica lábil e matéria orgânica recalcitrante em função de indicadores de relação das diferentes frações oxidáveis.

Relacionar os padrões obtidos em cada fração do carbono com a qualidade da matéria orgânica do solo das áreas do estudo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo

Foram coletadas amostras de solo em diferentes sistemas de manejo no município de Mundo Novo, região Cone Sul do estado de Mato Grosso do Sul. O clima da região é classificado como subtropical (Cfa), com período de chuvas mais abundante de outubro a março, porém sem invernos secos. A temperatura média do mês mais frio está 14° e 15°C, com ocorrência de geadas periódicas. As precipitações variam de 1.400 a 1.700 mm anuais (SEMADE, 2015). Segundo levantamento detalhado de solos do estado de Mato Grosso do Sul (SEMADE, 2015), as áreas do estudo se encontram sob Argissolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa (SANTOS et al., 2013).

3.2. Sistemas Avaliados e Histórico de uso

Foram avaliadas duas áreas com interferência antrópica além de uma área de referência (Mata Nativa – MN) sem ação antrópica, perfazendo três sistemas diferenciados analisados em função do tempo de condução em delineamento inteiramente casualizado. As

áreas manejadas compreendem: área de pastagem permanente cultivada com a espécie coast-cross (*Cynodon dactylon*), com lotação de animais de 3,5 unidade animal (UA) ha⁻¹, com visíveis sinais de degradação (Pastagem permanente – PP) e uma área que se encontrava com as mesmas condições da área de PP, todavia em março de 2016 foi isolada, sendo efetuado o plantio de espécies arbóreas nativas (reflorestamento) para recuperação (área em recuperação – AR), sendo esta última localizada próxima a uma nascente.

Na área de PP os sinais visíveis de degradação foram: baixo potencial de cobrimento do solo pela espécie forrageira, presença de plantas invasoras, terraços com falta de manutenção e consequente observação de sinais de canais de escoamento superficial de água e solo compactado. A imagem aérea e a descrição detalhada das áreas é representada na Figura 1 e Tabela 1, respectivamente. A relação das espécies arbóreas nativas plantadas AR em março de 2016 se encontra na Tabela 2.



Figura 1. Áreas de estudo. 1: Pastagem Permanente (14 ha⁻¹); 2: Área em Recuperação (0,5 ha⁻¹); 3: Mata Nativa (2 ha⁻¹).

Tabela 1. Histórico, descrição e localização das áreas de estudo.

Sistema de manejo	Descrição
Pastagem permanente - PP	14 ha; 302 m de altitude, 24°11'025'' S e 54°12'449'' O; permanente com a espécie coast-cross (<i>Cynodon dactylon</i>).
Área em recuperação - AR	0,5 ha; 270 m de altitude, 24°09'092'' Sul (S) e 54°13'368'' Oeste (O). Próxima a uma nascente.
Mata Nativa - MN	2 ha; Área sob vegetação nativa (Mata Atlântica – Floresta Estacional Semidecidual), 295 m de altitude, 24°11'029'' S e 54°11'898'' O, utilizada como referencial.

Tabela 2. Relação das espécies arbóreas utilizadas na recuperação da área degradada.

Nome Científico	Nome Popular	Família	Grupo Ecológico
<i>Acca sellowiana</i> (O. Berg) Burret	Goiaba do Mato	Myrtaceae	Pioneira
<i>Allophylus edulis</i> (A. St. Hil. & al.) Radlk.	Vacum	Sapindaceae	Pioneira
<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan	Angico Vermelho	Leguminosae – Mimosoideae	Oportunista
<i>Cecropia pachystachya</i> Trec.	Embaúba	Cecropiaceae	Pioneira
<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	Café de Bugre	Boraginaceae	Pioneira
<i>Croton urucurana</i> Baill.	Sangra d'água	Euphorbiaceae	Pioneira
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong.	Timburi	Leguminosae – Mimosoideae	Pioneira
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Cereja do Mato	Myrtaceae	Secundária
<i>Eugenia pyriformis</i> Camb.	Uvaia	Myrtaceae	Pioneira
<i>Gallesia integrifolia</i> (Sprengs.) Harms	Pau d'alho	Phytolaccaceae	Secundária
<i>Genipa americana</i> L.	Jenipapo	Rubiaceae	Secundária
<i>Guibourtia hymenifolia</i> (Moric.) J. Leonard	Jatobá-Mirim	Leguminosae – Caesalpinoideae	Clímax
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	Leguminosae – Caesalpinoideae	Secundária
<i>Inga vera</i> Willd.	Ingá	Fabaceae	Pioneira
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.	Jacarandá	Bignoniaceae	Secundária
<i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez	Canela	Lauraceae	Oportunista
<i>Patagonula americana</i> L.	Guajuvira	Boraginaceae	Secundária
<i>Peltophoru dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafístula	Leguminosae – Caesalpinoideae	Pioneira
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi.	Aroeira Pimenteira	Anacardiaceae	Pioneira
<i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vell.) Tol.	Ipê Roxo	Bignoniaceae	Secundária
<i>Tabebuia ochracea</i> (Cham.) Standl.	Ipê Amarelo	Bignoniaceae	Clímax
<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.) Sand.	Ipê Branco	Bignoniaceae	Pioneira

Fonte: Gibbert (2017).

No início do experimento, antes da primeira coleta (março de 2016), foram coletadas amostras de solo nas três áreas, na camada de 0-0,2 m, com o intuito de caracterização química e granulométrica das áreas de estudo. Estas amostras foram enviadas para laboratório específico de análise de rotina e o resultado de caracterização das áreas se encontra na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização física e química das áreas estudadas.

	Areia	Silte	Argila	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	
	-----g kg ⁻¹ -----			CaCl ₂	g dm ⁻³	mg				-----cmol _c dm ⁻³ -----				%	
						dm ³									
PP	772	116	112	4,99	18,86	1,36	0,08	2,4	1,2	0,08	3,0	3,68	6,68	55,1	
AR	772	133	95	5,12	25,42	1,95	0,11	2,1	1,1	0,00	2,6	3,31	5,91	56,0	
MN	805	67	128	4,74	17,76	4,29	0,10	1,5	1,1	0,06	2,8	2,70	5,50	49,1	

Análises realizadas no início do experimento (março de 2016). Laboratório: NUTRISOLO, Ivinhema, MS. PP: pastagem permanente. AR: área em recuperação. MN: mata nativa. Granulometria: método da pipeta. Caracterização química - Cloreto de Cálcio (pH); Mehlich (P e K); KCl 1N (Ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al); Oxidação por dicromato de potássio (MO).

3.3. Coleta de Amostras de Solo

Em cada área de estudo foram demarcadas visualmente quatro glebas de 400 m², nas quais foram realizadas as coletas das amostras de solo no tempo zero (0) meses (março de 2016), após seis (6) meses (setembro de 2016) e doze (12) meses (março de 2017), tempo este, sendo considerado em função do momento da prática de isolamento e recomposição florestal da AR que ocorreu no mês de março de 2016. Cada gleba representou uma repetição. As amostras de solos deformadas foram coletadas em quatro pontos, sendo que, cada amostra composta foi representada por cinco amostras simples dentro das três áreas da pesquisa, nas camadas 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m (Figura 2).

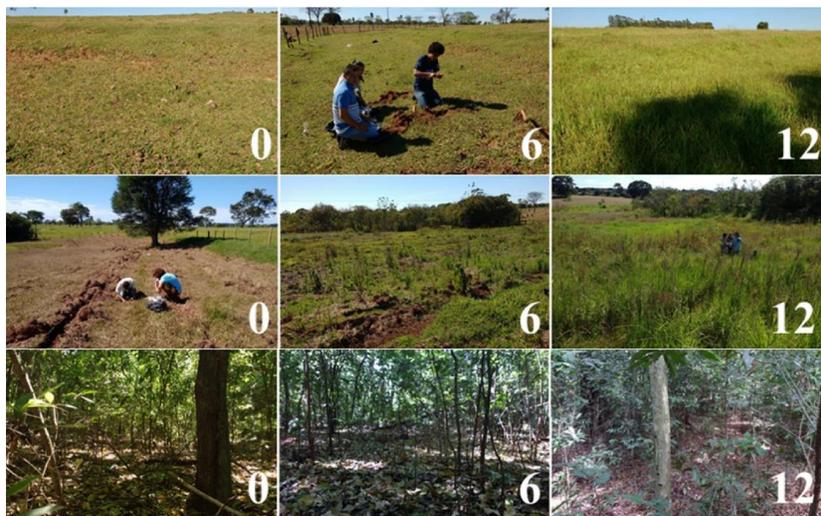


Figura 2. Imagens das três áreas de estudo, no tempo zero (0), seis (6) e doze (12) meses, imagens correspondem ao tempo de coleta, seguem na horizontal. PP – Pastagem Permanente (0, 6 e 12 meses); AR – Área em Recuperação (0, 6 e 12 meses); MN – Mata Nativa (0, 6 e 12 meses), seguindo esta ordem de na vertical (cima para baixo).

3.4. Análises Realizadas

Após as coletas, as amostras foram secas e destorroadas, passadas em peneira 2 mm obtendo-se assim a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) (Figura 3), que foi utilizada para as análises de carbono orgânico total (COT) e fracionamento oxidável do carbono.



Figura 3. Processo de destorroamento das amostras de solo.

Em seguida utilizou-se uma porção destas amostras, sendo então maceradas em gral e pistilo de porcelana para as análises de COT pelo método da via úmida através da oxidação do carbono pelo dicromato de potássio sob aquecimento a 170 °C, com titulação com sulfato ferroso amoniacal na presença de Ferroin, segundo metodologia adaptada de Yeomans e Bremner (1988) (Figura 4).

Para essa análise, uma quantidade de aproximadamente 0,3 g de solo para áreas manejadas e 0,2 g de solo para a área de mata nativa foram pesadas sendo reservadas em tubos eppendorfs. Para determinação do COT, foram preparadas as soluções: dicromato de potássio ($0,167 \text{ mol L}^{-1}$), sulfato ferroso amoniacal ($0,20 \text{ mol L}^{-1}$) e indicador Ferroin. A titulação do COT foi uma análise que consistiu em transferir as amostras de solos que estavam nos eppendorfs, para erlenmeyers de 125 mL ou 250 mL; sendo adicionado 5 mL da solução de dicromato de potássio ($0,167 \text{ mol L}^{-1}$) e em seguida 7,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após esses procedimentos, foram colocados os chamados “dedos frio” (condensador) na parte superior dos erlenmeyers, transferidos para uma chapa aquecedora já pré-aquecida a 170°C, deixados na chapa por 30 minutos, sendo esse aquecimento realizado sob capela em laboratório (Figura 4).



Figura 4. Amostras em chapa aquecida a 170°C por 30 minutos. Detalhe para os condensadores feitos com tubo de ensaio e borracha, e inseridos na parte superior dos erlenmeyers.

Após o tempo de 30 minutos, foram retirados os erlenmeyers da chapa, aguardando-se 15 minutos para esfriarem, sendo adicionados 60 mL de água destilada, 5 gotas da solução indicadora Ferrouin. Após essas etapas, as amostras foram levadas para titulação em bureta de 50 mL com solução de sulfato ferroso amoniacal ($0,2 \text{ mol L}^{-1}$), tomando-se o cuidado para o ponto de “viragem” passando da cor verde para violeta escuro, sendo anotado o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto para posteriores cálculos do COT (Figura 5).



Figura 5. Titulação do COT em laboratório.

O fracionamento do COT pelos diferentes graus de oxidação (labilidade) foi efetuado segundo Chan et al. (2001). Amostras de 0,2 g de TFSA foram acondicionadas em erlenmeyers de 250 mL ou 125 mL, onde foram adicionados 10 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) ($0,167 \text{ mol L}^{-1}$) e quantidades de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, correspondentes às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L^{-1} . A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi efetuada com uma solução de sulfato ferroso amoniacal ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$), utilizando como indicador o Ferroin (Figura 6).



Figura 6. Determinação/titulação do carbono das frações oxidáveis da matéria orgânica do solo.

O fracionamento do carbono produziu quatro frações, com graus de decrescentes de oxidação: Fração muito facilmente oxidável (F1): C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ; Fração facilmente oxidável (F2): diferença entre o C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 6 e 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ; Fração moderadamente oxidável (F3): diferença entre o C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 9 e 6 mol L^{-1} de H_2SO_4 ; Fração resistente (F4): diferença entre o C oxidado por $K_2Cr_2O_7$ do COT e 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 .

O teor de C na fração F1 foi considerado como carbono lábil (C_L) do solo (RANGEL et al., 2008), enquanto o carbono não-lábil (C_{NL}) foi obtido por diferença ($C_{NL} = COT - C_L$), calculando posteriormente a relação C_L/COT , com posteriores cálculos das relações entre as frações F1/F4 e $((F1+F2)/(F3+F4))$.

Após todas as análises serem realizadas, em delineamento inteiramente casualizado, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, e os valores

médios foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Carbono Orgânico Total (COT)

Para os teores de COT, não foram observadas diferenças significativas entre as coletas 1, 2 e 3 para as áreas de PP e MN na camada de 0-0,05 m. Já para a AR, houve um aumento nos teores de COT em função do tempo de avaliação, especialmente após 12 meses (3ª coleta), em comparação a primeira e a segunda coleta para a camada que está mais exposta às modificações nos sistemas de manejo (0-0,05 m), com teores de 17,31, 18,70 e 22,67 g kg⁻¹, respectivamente para a primeira, segunda e terceira coleta (Figura 7).

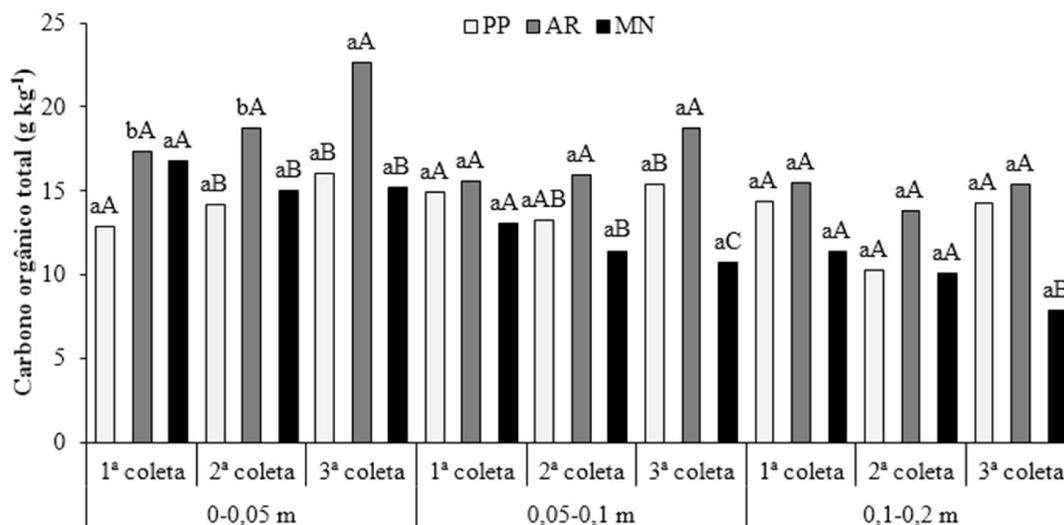


Figura 7. Carbono orgânico total (COT) do solo nas diferentes áreas, camadas e coletas de solo estudadas. Médias seguidas de mesma letra minúscula para cada área por coleta e camada, e maiúscula entre as áreas em cada coleta não diferem estatisticamente pelo teste Turkey (5%). PP: Pastagem permanente; AR: Área em recuperação; MN: Mata nativa.

Na AR, esse aumento de COT ao longo do tempo foi da ordem de 5% após 6 meses e 31% após 12 meses, em comparação com o início do experimento. Comparando vários métodos de recuperação de áreas degradadas em Campos dos Goytacazes, RJ, Silva et al. (2015) encontraram comportamentos semelhantes ao observados nesse estudo, pois os autores evidenciaram resultados de aumentos gradativos nos teores de COT ao longo do tempo de recuperação, chegando a 189% após 4 anos de isolamento implantação de espécies nativas.

Resultados semelhantes a esse trabalho, ou seja, aumento nos teores de COT do solo com a adição de práticas de recuperação também foram encontrados em trabalhos recentes na literatura em várias regiões e condições de estudo (BALIEIRO et al. (2017); COUTINHO et al. (2017); FERREIRA et al. (2018); MENEZES et al. (2017); NOVAK et al. (2017)).

Ao serem manejadas corretamente, as diferentes práticas de recuperação de áreas degradadas podem beneficiar as entradas de carbono no sistema, consequentemente aumentar os teores de carbono das áreas, especialmente em camadas superficiais do solo (BELL; MOORE, 2012), evidencia essa também destacada nos trabalhos de Silva et al. (2012), Loss et al. (2006) e Fontana et al. (2005).

Os maiores teores de COT na AR na terceira coleta se devem ao aporte constante de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, a decomposição dos resíduos das espécies vegetais que existiam na área, e que, no momento da instalação do experimento foram dessecadas com herbicida para implantação das espécies arbóreas, e também a não perturbação do sistema após o isolamento da área e plantio de espécies nativas para recomposição florestal, como também evidenciado por Mafra et al. (2008). Esse resultado demonstra a importância do estudo da dinâmica do COT do solo ao longo do tempo para auxiliar na identificação dos processos de melhoria de áreas em diferentes estágios de degradação. De acordo com Salton et al. (2005), mudanças nos sistemas de manejo têm efeito direto no balanço de carbono do solo, consequentemente, o teor de COT pode ser considerado um dos melhores indicadores de qualidade do ambiente edáfico.

Quando se compara as áreas em cada coleta, a AR se destaca especialmente na camada de 0-0,05 m, na qual diferiu das áreas de PP e MN a partir da segunda coleta (Figura 7). Esse resultado também comprova o potencial de acúmulo de carbono quando da modificação/melhoria das práticas de conservação do solo. Já para as demais camadas, essa diferença entre os sistemas de manejo praticamente não foi observada. Esse comportamento demonstra que em curto período, as modificações quantitativas na fração orgânica do solo se dão apenas na camada mais superficial, neste caso, de 0-0,05 m.

Destaca-se o fato de que conforme aumentam à profundidade em todas as áreas, especialmente na área de MN, os teores de COT diminuem. A diminuição dos teores de COT em profundidade demonstra a contribuição efetiva das entradas de carbono na camada mais superficial em relação às camadas adjacentes de 0,05-0,1, 0,1-0,2 m, fato comum em áreas

sem influência antrópica, como relatado por Citadini-Zanette et al. (2017) e também encontrado por Azevedo et al. (2018) em área de restauração no estado do Rio de Janeiro.

Posteriormente, na camada 0,05-0,1 m para a terceira coleta, área AR obteve maiores teores de COT em relação às áreas de PP e MN, sendo que na primeira coleta ambas apresentaram teores semelhantes. Já na camada de 0,1-0,2 m as áreas de PP e AR apresentaram resultados que não diferiram estatisticamente, porém, sendo diferente da área de MN (Figura 7). Teores semelhantes de COT entre as áreas de PP e AR nesta camada mais profunda, mesmo a área de PP apresentando processos de degradação contínuos, refletem ainda a contribuição do sistema radicular das gramíneas em acumular carbono em camadas subsuperficiais (SALTON et al., 2014), porém esse potencial de acúmulo tende a diminuir em função do avanço dos processos de degradação na área de PP.

4.2. Frações Oxidáveis da Matéria Orgânica do Solo

Através da avaliação das diferentes frações oxidáveis do COT foi possível identificar diferenças significativas entre áreas avaliadas e tempos de coleta (Tabela 4), desta forma, contribuindo assim na interpretação da dinâmica de carbono do solo. Quando se avalia a fração mais lábil do carbono (C-F1), para a camada de 0-0,05 m, somente a AR apresentou aumento do teor com o passar do tempo (0, 6 e 12 meses), chegando a $5,72 \text{ g kg}^{-1}$ após 12 meses, um aumento percentual de 81% quando se compara os tempos 0 e 12 meses (Tabela 4).

Na primeira coleta, para a fração F1, as áreas de PP e AR diferiram da área de MN, sendo que a área de MN apresentou maior teor, $5,35 \text{ g kg}^{-1}$. Quando se avalia o C-F1 após 12 meses entre as áreas, observou-se que a AR obteve o maior teor de C, com valor de $5,72 \text{ g kg}^{-1}$, sendo diferente das áreas de PP e MN (Tabela 4). Esse resultado demonstra o potencial de acúmulo de carbono em frações mais lábeis quando do isolamento e recomposição florestal da AR após 12 meses, ou seja, melhoria na forma de manejar a área, uma vez que na área de PP isso não ocorreu.

Tabela 4. Fações oxidáveis de carbono orgânico (F1, F2, F3 e F4) nas diferentes áreas, camadas e coletas.

Sistema de manejo	C-F1 (g kg ⁻¹)											
	0-0,05 m				0,05-0,1 m				0,1-0,2 m			
	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²
PP	3,39aB	3,45aA	3,86aB	18,4	3,63aA	3,33aAB	3,38aAB	14,6	2,50aA	2,38aA	3,12aA	14,3
AR	3,51bB	4,07bA	5,72aA	13,8	2,91bB	3,54abA	4,09aA	14,9	2,26bA	2,80abA	3,28aA	14,3
MN	5,35aA	4,23aA	4,28aB	12,2	3,51aAB	2,57bB	2,49bB	13,3	2,95aA	2,35abA	1,99bB	19,4
CV(%) ¹	20,1	13,9	8,5		10,3	15,4	16,9		23,1	14,2	7,8	
	C-F2 (g kg ⁻¹)											
	0-0,05 m				0,05-0,1 m				0,1-0,2 m			
	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²
PP	2,21bA	2,46bC	5,15aB	23,9	2,50bB	2,43bB	4,69aB	20,0	3,39bA	2,45bB	4,61aA	17,6
AR	3,16cA	5,46bA	7,57aA	8,6	3,34cA	4,59bA	6,67aA	9,4	3,51bA	4,19abA	5,16aA	12,8
MN	3,66aA	4,33aB	4,32aB	19,2	3,17abAB	4,01aA	2,62bC	16,7	2,21aB	2,57aB	1,85aB	22,3
CV(%) ¹	32,5	10,6	9,6		13,8	11,1	16,3		17,7	16,2	16,0	
	C-F3 (g kg ⁻¹)											
	0-0,05 m				0,05-0,1 m				0,1-0,2 m			
	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²
PP	2,52bA	2,94abB	4,88aA	33,7	2,40bB	3,27abB	4,34aA	17,8	3,06aAB	2,62aAB	3,97aA	21,8
AR	3,05bA	5,29aA	6,02aA	9,0	3,56aA	4,42aA	4,30aA	14,2	3,58aA	3,89aA	4,63aA	17,8
MN	3,86aA	4,06aB	3,08aB	21,0	2,78aB	2,61aB	2,31aB	13,4	2,16aB	2,01aB	1,99aB	26,5
CV(%) ¹	37,4	14,5	12,8		11,2	16,8	16,7		16,5	26,8	19,9	
	C-F4 (g kg ⁻¹)											
	0-0,05 m				0,05-0,1 m				0,1-0,2 m			
	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²
PP	4,83aB	5,34aA	2,17bB	20,1	6,36aA	4,20bA	2,87cA	12,6	5,42aAB	2,81bA	2,55bA	12,4
AR	7,58aA	3,88bB	3,35bA	16,7	5,75aA	3,44bA	3,65bA	16,6	6,15aA	2,96bA	2,29bAB	19,1
MN	3,90aB	2,37aC	3,49aA	27,3	3,60aB	2,18aB	3,32aA	25,0	4,09aB	3,16abA	2,02bB	23,5
CV(%) ¹	24,3	13,2	12,7		15,2	14,3	22,4		17,2	21,2	9,5	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha para cada área e camada (entre coletas), e maiúscula na coluna para cada camada (entre tratamentos) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). PP: Pastagem permanente; AR: Área em recuperação; MN: Mata nativa. 1ª col.: primeira coleta (0 meses); 2ª col.: segunda coleta (6 meses); 3ª col. terceira coleta (12 meses). CV¹: Coeficiente de variação nas análises entre os sistemas de manejo na mesma coleta. CV²: Coeficiente de variação nas análises do mesmo sistema de manejo nas diferentes coletas.

Especialmente para a fração F1, na AR, a decomposição do material vegetal que existia na área no momento da instalação do experimento, sendo dessecado com herbicida, somado ao aporte de material vegetal de forma contínua após o isolamento da área contribuiu para aumento dos seus teores (Tabela 4), explicação essa sobre o aporte de material vegetal também relatada por Martins et al (2015) em vegetação de Caatinga, por Fontana et al. (2017) em Floresta Amazônica, por Guareschi et al (2013) e Batista et al. (2014) sob vegetação de Cerrado e Rosset et al. (2016) em Mata Atlântica, sendo esta última, de mesma fitofisionomia do presente estudo, Floresta Estacional Semidecidual. Esse padrão é concordante também com os maiores teores de COT observados nessa área e o aumento do COT em função do tempo de avaliação (Figura 5).

Na camada de 0,05-0,1 m, a AR também apresentou aumento no teor de C-F1 ao longo do tempo (Tabela 4). Para esta camada, a partir da segunda coleta, a área de AR apresentou teor superior à área MN, enquanto as áreas de PP e MN obtiveram resultados que não diferiram entre si. Ainda para a fração mais lábil do carbono, porém na camada de 0,1-0,2 m, foi observado o mesmo padrão de aumento dos teores de C-F1 na AR quando se compara no tempo zero ($2,26 \text{ g kg}^{-1}$) e após 12 meses ($3,28 \text{ g kg}^{-1}$), um aumento de 45 %. Esses dados da fração F1, ou seja, esse padrão de aumento dos teores de carbono desta fração não somente na camada de 0-0,05 m, mas também das camadas subsuperficiais de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m em função do tempo de avaliação da AR (Tabela 4), confirma o potencial das frações oxidáveis em detectar modificações nos sistemas de manejo pelo fato de ser uma análise de maior sensibilidade, e não apenas quantitativa como a avaliação dos teores de COT, que no qual não demonstrou aumento em camadas subsuperficiais de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m com o tempo de avaliação (Figura 7). Essa maior sensibilidade da fração F1 em detectar modificações nos sistemas de manejo também foi relatada nos trabalhos de Rangel et al. (2008) e Rosset et al. (2016).

Para a fração F2 do carbono, na camada de 0-0,05 m, da mesma forma como na fração F1, a AR apresentou maiores teores com ao longo do tempo, $3,16$, $5,46$ e $7,57 \text{ g kg}^{-1}$ no tempo 0, 6 e 12 meses, respectivamente (Tabela 4), aumentos esses de 73 e 140% quando se compara o teor desta fração no momento da instalação do experimento e após 6 e 12 meses, respectivamente. Quando se compara as áreas estudadas na mesma coleta, para a primeira coleta, as três áreas obtiveram resultados semelhantes. Já nas demais coletas, a AR apresentou teores de C-F2 superiores as demais áreas estudadas. Essa mesma tendência também foi

observada para as demais camadas avaliadas. Resultados semelhantes em relação ao C-F2 também foram encontrados entre as áreas e coletas para a fração F3 (Tabela 4).

Diferentemente do observado para as demais frações, a AR apresentou menores teores da fração F4 em função do tempo de avaliação da área, passando de 7,58 para 3,35 g kg⁻¹ no tempo 0 e 12 meses respectivamente. Esse fato deve-se ao aumento da contribuição dos teores de carbono das frações mais lábeis do carbono (F1 e F2) que essa área apresentou após 12 meses (Tabela 4), mesmo com maior teor de COT (Figura 7). Esse resultado, que representa a avaliação qualitativa das frações de carbono, demonstra que com o passar de 12 meses, a AR aumentou os teores da fração mais lábil de carbono e, por consequência, diminuiu os teores da fração mais recalcitrante. Fato este que evidencia a dinâmica da modificação das formas de carbono em áreas que passam por modificações nos sistemas de manejo. A fração F4 do carbono representa uma fração mais estabilizada da MOS, sendo que seu teor aumenta de forma lenta, ao longo de vários anos (RANGEL et al., 2008).

A partir dos resultados dos teores de carbono das frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo (frações F1, F2, F3 e F4) foi possível inserir os dados de maneira a se avaliar a distribuição proporcional percentual destas frações em relação ao conteúdo total de COT. Para todas as coletas, camadas e áreas, a distribuição do carbono entre as frações mais lábeis (F1 e F2) e as frações mais recalcitrantes (F3 e F4) demonstrou equilíbrio, ou seja, uma distribuição próxima a 50% para F1 e F2 e 50% para F3 e F4 (Figura 8). Padrão este semelhante ao observado em área de Mata Atlântica de mesma fitofisionomia por Rosset et al. (2016), porém contrastante ao observado por Melo et al. (2016) em fragmento de Cerrado Nativo. Já, em estudo realizado no bioma Amazônico, Fontana et al. (2017) encontraram porcentagens de carbono de F1 que chegaram a 79%.

De acordo com Zhongkui et al. (2010), um solo de boa qualidade não deve apresentar apenas elevado teor de MOS, necessita também de equilíbrio entre formas estáveis e mineralizáveis da MOS. O acúmulo de carbono nas frações lábeis e estáveis da MOS apresenta alto dinamismo, e é influenciado pela composição química (relação C/N), aporte de resíduos ao solo, condições climáticas e manejo adotado.

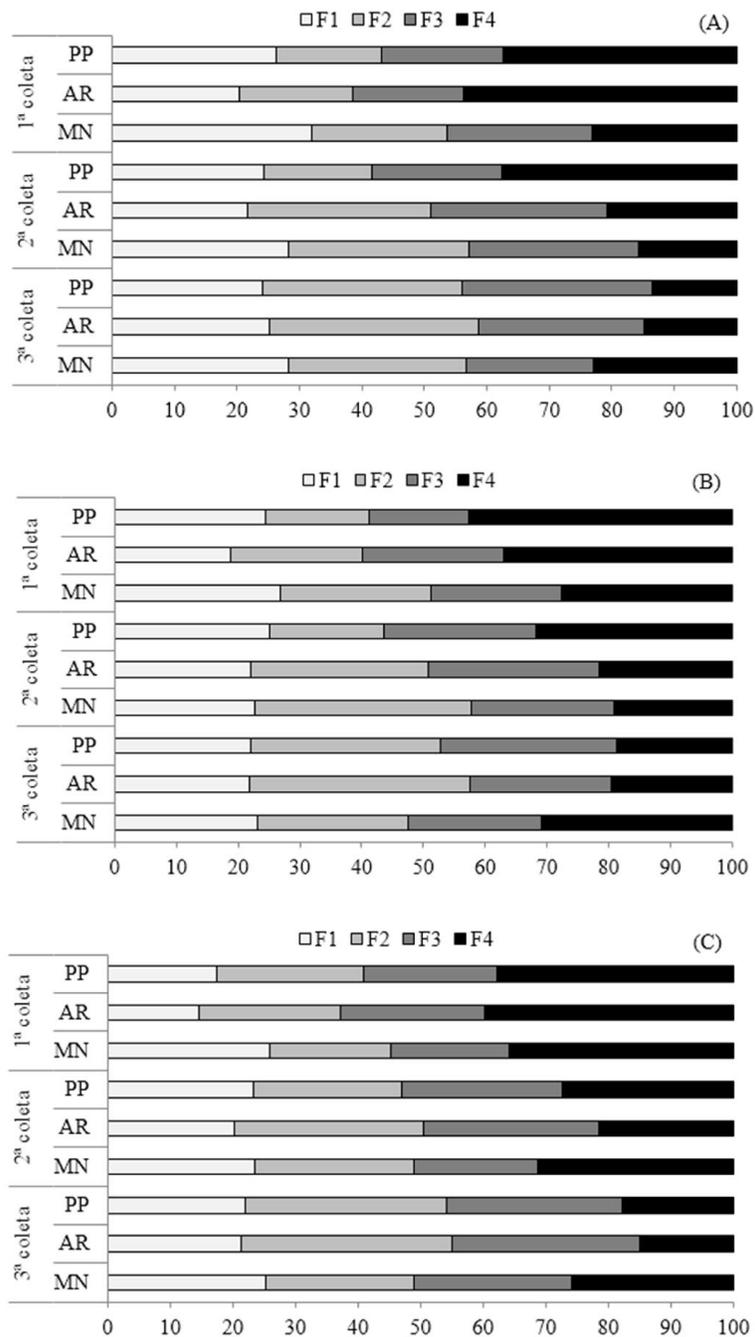


Figura 8. Porcentagem relativa de carbono das frações F1, F2, F3 e F4 nas camadas de 0-0,05 m (A), 0,05-0,1 m (B) e 0,1-0,2 m (C).

Com os resultados de carbono das frações F1, F2, F3 e F4 foi possível calcular índices que ajudam no entendimento da dinâmica do carbono no solo: carbono não lábil

(C_{NL}), relação carbono lábil e carbono total (C_L/C), e as relações F1/F4 e F1+F2/F3+F4, sendo apresentados na Tabela 5.

Na camada de 0-0,05 m, apenas a AR apresentou aumento no C_{NL} durante o tempo de avaliação, passando de 13,79, 14,63 e 16,94 g kg⁻¹, respectivamente no início do experimento e após seis e 12 meses. Para a primeira coleta a AR apresentou teor superior à área de PP e semelhante a MN, porém para a segunda e terceira coleta a AR superou os teores de C_{NL} da área de MN. Já para as demais camadas, de modo geral, esta diferença não significativa entre as áreas e coletas. Isso demonstra que após 12 meses de avaliação, maiores modificações na dinâmica das frações oxidáveis do carbono orgânico do solo acontecem de forma mais pronunciada na camada superficial do solo. Os teores de C_{NL} encontrados neste estudo são diferentes dos observados por Rosset et al. (2016) em sistemas de manejo incluindo pastagem e Mata Atlântica.

Como a fração F1 se mostra sensível em detectar mudanças nos sistemas de manejo, em especial na camada de 0-0,05 m (Tabela 4), conseqüentemente o carbono não lábil (C_{NL}) segue o mesmo padrão (Tabela 5), visto que é calculado a partir da subtração do COT pelo C da F1. O C_{NL} em camadas mais profundas apresenta maior resistência a modificações em função da maior proteção oferecida pela profundidade do solo em relação às ações antrópicas em superfície (GUARESCHI et al., 2013).

Para a relação C_L/C não foi possível observar diferenças significativas de forma a evidenciar que este indicador demonstra-se resultados importantes em relação ao manejo entre as áreas e tempos de avaliação (Tabela 5). Os valores desta relação foram semelhantes ao encontrados por Guareschi et al. (2013) no Cerrado e superiores aos encontrados por Rosset et al. (2016) em trabalho na Mata Atlântica.

Quando se avalia a relação F1/F4 (mais lábil com a mais recalcitrante), para as três camadas avaliadas, a área de MN apresentou valores superiores em relação às áreas de PP e AR na primeira coleta, 1,50. (Tabela 5). Esse resultado demonstra que solos sob vegetação original quando comparados a sistemas de manejo com certo grau de degradação apresentam deposição contínua de material vegetal e, conseqüentemente, maior relação entre as frações F1 e F4 do carbono. Esse comportamento corrobora com o observado por Rosset et al. (2016) no município de Guaíra, Paraná.

Tabela 5. Carbono não-lábil (C_{NL}), proporção de carbono lábil/C total (C_L/C) e relações entre as frações oxidáveis (F1/F4 e F1+F2/F3+F4) nas diferentes áreas, camadas e coletas.

Sistema de manejo	C_{NL} (g kg ⁻¹)											
	0-0,05 m				0,05-0,1 m				0,1-0,2 m			
	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²
PP	9,57bB	10,74abB	12,21aB	10,3	11,26aAB	9,90aB	12,00aB	10,3	11,88aA	7,88bB	11,13aA	12,9
AR	13,79bA	14,63bA	16,94aA	6,6	12,65aA	12,45aA	14,63aA	8,9	13,20aA	11,04aA	12,08aA	10,6
MN	11,41aAB	10,76aB	10,90aC	9,8	9,56aB	8,79abB	8,25aC	6,2	8,47aB	7,73aB	5,87bB	8,4
CV(%) ¹	11,4	9,5	4,3		8,0	6,5	11,3		14,6	8,9	7,3	
	C_L/C (%)											
	0-0,05 m				0,05-0,1 m				0,1-0,2 m			
	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²
PP	26,2aAB	24,5aAB	24,2aA	15,1	24,5aA	25,7aA	22,2aA	17,1	17,8aAB	22,8aA	22,5aA	17,9
AR	20,0aB	21,7aB	25,2aA	14,1	18,2aA	22,5aA	22,0aA	19,2	15,0aB	20,5aA	21,5aA	19,5
MN	32,0aA	28,2aA	28,7aA	10,0	26,7aA	22,7aA	23,5aA	15,8	26,0aA	22,7aA	25,2aA	19,9
CV(%) ¹	13,5	11,1	13,9		19,5	16,0	16,2		25,1	18,7	14,2	
	F1/F4											
	0-0,05 m				0,05-0,1 m				0,1-0,2 m			
	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²
PP	0,71bB	0,65bB	0,96aC	10,3	0,59bB	0,83bB	1,20aA	13,8	0,54cB	0,91bB	1,24aAB	17,5
AR	0,46bB	1,48aA	1,76aA	11,9	0,53bB	1,06aAB	1,16aAB	8,3	0,38cB	1,17bA	1,44aA	9,7
MN	1,50abA	1,83aA	1,22bB	11,5	1,07aA	1,23aA	0,84aB	20,5	0,74bA	0,97aAB	1,04aB	9,8
CV(%) ¹	16,4	14,2	5,6		15,7	15,5	15,4		16,3	12,0	11,1	
	F1+F2/F3+F4											
	0-0,05 m				0,05-0,1 m				0,1-0,2 m			
	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²	1ª col.	2ª col.	3ª col.	CV(%) ²
PP	0,75bB	0,71bC	1,32aA	22,9	0,71bB	0,78abB	1,11aA	19,3	0,73bAB	0,93abA	1,20aA	16,3
AR	0,63cB	1,06bB	1,44aA	18,6	0,67bB	1,03abAB	1,38aA	19,8	0,60bB	1,07aA	1,22aA	12,7
MN	1,18aA	1,34aA	1,34aA	13,4	1,07abA	1,37aA	0,94bA	18,0	0,83aA	1,05aA	0,95aA	13,0
CV(%) ¹	11,4	12,6	21,5		17,9	17,5	21,6		12,4	15,0	13,5	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha para cada área e camada (entre coletas), e maiúscula na coluna para cada camada (entre tratamentos) não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). PP: Pastagem permanente; AR: Área em recuperação; MN: Mata nativa. 1ª col.: primeira coleta (0 meses); 2ª col.: segunda coleta (6 meses); 3ª col. terceira coleta (12 meses). CV¹: Coeficiente de variação nas análises entre os sistemas de manejo na mesma coleta. CV²: Coeficiente de variação nas análises do mesmo sistema de manejo nas diferentes coletas.

Porém, vale ressaltar que para todas as camadas, quando se avalia o tempo de condução (0, 6 e 12 meses), a AR apresentou aumento nos valores desta relação em todas as camadas avaliadas, com o aumento mais significativo na camada mais superficial, passando de 0,46 para 1,76 entre o tempo 0 e 12 meses (Tabela 5), representando um aumento de 382% nesta relação em apenas 12 meses. Esse resultado expressivo representa a grande contribuição dos processos de recuperação de áreas degradadas para a melhoria do ambiente edáfico, pois maiores teores de carbono lábil indicam maior ciclagem e disponibilidade de nutrientes e formação e estabilização de macroagregados além de contribuir para restabelecimento da comunidade biológica do solo (BARRETO et al., 2011).

Essa mesma tendência observada para a relação F1/F4 também foi observada para a relação F1+F2/F3+F4 para a primeira coleta comparando a área de MN com as demais, e o aumento significativo desta relação na AR com o passar do tempo, chegando ao valor de 1,44 na camada de 0-0,05 m na terceira coleta (Tabela 5), aumento de 128%. Apesar dos valores acima da unidade para estas relações na AR em função do tempo de avaliação, Guareschi et al. (2013) destacam que é interessante obter balanço de carbono entre as frações oxidáveis da MOS.

De maneira geral, a área em recuperação apresentou significativo aumento nas relações que expressam o equilíbrio na distribuição das frações lábeis e recalcitrantes do solo, indicando assim, melhoria na qualidade da fração orgânica do ambiente edáfico, uma vez que o aumento gradativo de frações mais lábeis do carbono beneficiam a reciclagem de nutrientes, os processos de formação de macroagregados e o restabelecimento da qualidade biológica das áreas degradadas, ou seja, influencia positivamente nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área em processo de recuperação após o isolamento e plantio de espécies arbóreas nativas para recomposição florestal apresentou aumento dos teores de carbono orgânico total com o passar do tempo.

As frações oxidáveis do carbono orgânico demonstraram sensibilidade em identificar modificações significativas nos sistemas de manejo estudados ao longo de 12 meses de avaliação.

A área em recuperação apresentou maiores teores das frações mais lábeis do carbono após 12 meses em relação às áreas de pastagem e mata nativa.

Houve equilíbrio na distribuição do carbono lábil e recalcitrante do solo em todas as áreas, camadas e coletas realizadas.

A área em recuperação apresentou significativo aumento nas relações que expressam o equilíbrio na distribuição das frações lábeis e recalcitrantes do carbono do solo.

O processo de recuperação da área próxima a nascente, efetuado com o isolamento da área para que os bovinos não tivessem acesso e, posterior plantio de espécies arbóreas nativas, demonstrou ser efetivo na melhoria da qualidade edáfica daquele ambiente, em especial na melhoria da qualidade da fração orgânica do solo, tanto quantitativamente quanto qualitativamente. Essa afirmação é respaldada pelo aumento nos teores de carbono orgânico total do solo e aumento dos teores das frações mais lábeis do carbono ao longo do tempo, tendo reflexos no aumento das relações entre as frações mais lábeis e mais recalcitrantes do carbono.

Desta forma, perante aos resultados apresentados nesta pesquisa, ressaltando ainda que são os primeiros resultados desses indicadores edáficos para essa região geográfica, recomenda-se efetuar essas técnicas de isolamento e plantio de espécies arbóreas nativas para a recomposição florestal, pois as mesmas beneficiam o aumento quantitativo e influenciam positivamente na qualidade do carbono adicionado ao solo.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. D.; FRANCELINO, M. R.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183-194, 2018.

BALIEIRO, F. C.; COSTA, C. A.; OLIVEIRA, R. B.; OLIVEIRA, R.; DONAGEMMA, G. K.; ANDRADE, A. G.; CAPECHE, C. L. Carbon stocks in mined area reclaimed by leguminous trees and sludge. **Revista Árvore**, v. 41, n. 6, p. 1-10, 2017.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1471-1478, 2008.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOCO, M. K. S.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C.

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

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 487-592.

BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; ORSO, R.; MAFRA, Á. L.; BARETTA, D. The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 880-887, 2014.

BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 38, n. 3, p. 797-809, 2014.

BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, v. 111, n. 7, p. 1-12, 2012.

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

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. 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.

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

CITADINI-ZANETTE, V.; NEGRELLE, R. R. B.; LEAL-FILHO, L. S.; REMOR, R.; ELIAS, G. A.; SANTOS, R. Mimososa scabrella Benth. (Fabaceae) enhances the restoration in coal mining areas in the Atlantic Rainforest. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 103-114, 2017.

COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; ASSUNÇÃO, S. A. Atributos edáficos em áreas de agricultura, pastagem e três estágios sucessionais de floresta. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 3-11, 2017.

CRUZ, C. D. **Programa genes: biometria**. Ed. Viçosa: UFV, 2006. 382 p.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. **Embrapa**, Belém: ed. 633.281, n. 402, 2014. 36 p.

FERREIRA, M. P. S.; ARTUR, A. G.; QUEIROZ, H. M.; ROMERO, R. E.; COSTA, M. C. G. Changes in attributes of soils subjected to fallow in desertification hotspot. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 49, n. 1, p. 22-31, 2018.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p.570-574, 2005.

FONTANA, A.; MATIELLO, J. D.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Fracionamento químico da matéria orgânica em solo sob diferentes coberturas vegetais em Sooretama (ES). **Magistra**, v. 17, n.3, p. 135-141, 2005.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; BERNINI, T. A.; ANJOS, L. H. C.; WADT, P. G. S.; SANTOS, L. L. Compartimentos da matéria orgânica de solos sob floresta no estado do Acre. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-8, 2017.

GILBBERT, L. T. **Desenvolvimento de espécies arbóreas na recuperação de nascente em Mundo Novo – MS**. 2017. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mundo Novo, 2017.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. **Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 2, p. 242-250, 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BRITO, R. J. Distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Universidade Rural. Série Ciência da Vida** v. 26, n. 2, p. 57-69, 2006.

MAFRA, Á. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 217-224, 2008.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1511-1519, 2016.

MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; CORREIA, M.; E. F.; BALIEIRO, F. C.; PICCOLO, M. C. Organic matter in areas under secondary forests and pasture. **Cerne**, v. 23, n. 3, p. 283-290, 2017.

MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. **Soil & Tillage Research**, v. 127, n. 3, p. 85-91, 2013.

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F.; PORTILHO, I. I. R. Chemical and microbiological attributes under different soil cover. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 19-30, 2017.

PLANTE, A. F.; FERNÁNDEZ, J. M.; HADDIX, M. L.; STEINWEG, J. M.; CONANT, R. T. Biological, chemical and thermal indices of soil organic matter stability in four grassland soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 1051-1058, 2011.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. 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.

ROSSET, J. S.; LANA, M.; C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1529-1538, 2016.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 622-630, 2011.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. (Embrapa Agropecuária Oeste, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEITA, V. A.; LUMBERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ed. Rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SEMADE - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. **Estudo da Dimensão Territorial do Estado de Mato Grosso do Sul: Regiões de Planejamento**. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2015. 91p.

SILVA, C. F.; LOSS, A.; CARMO, É. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; MARTINS, M. A. Fertilidade do solo e substâncias húmicas em área de cava de extração de argila revegetada com eucalipto e leguminosas no Norte Fluminense. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 547-561, 2015.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FERNANDES, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1680-1689, 2012.

SILVA, M. A.; LIMA, M.; SILVA JUNIOR, C. A.; COSTA, G. M.; PERES, C. A. Achieving low-carbon cattle ranching in the Amazon: 'Pasture sudden death' as a window of opportunity. **Land Degradation and Development**, p. 1-9, 2018.

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. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society American, 1996. p. 1011-1020. (SSA Book series, 5).

WEST, T. O.; POST, W. M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 6, p. 1930-1946, 2002.

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

ZHONGKUI, L.; WANG, E.; SUN, O. J. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: a review and synthesis. **Geoderma**, v. 155, n. 3-4, p. 211-223, 2010.