FELIPE VÉLEZ SALDARRIAGA

ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, CARBONO LÁBIL E NITROGÊNIO NO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia para obtenção de título de *Magister Scientiae.*

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T
V436e
2016

Vélez Saldarriaga, Felipe, 1990-
Estoques de carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio no solo em diferentes sistemas de uso da terra / Felipe Vélez Saldarriaga. – Viçosa, MG, 2016.
viii, 67f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.
Orientador: Rasmo Garcia.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Solos orgânicos. 2. Solos - Teor de carbono. 3. Solos - Teor de nitrogênio. 4. Sequestro de carbono.
5. Sistemas silvipastoris. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-graduação em Zootecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 631.417

FELIPE VÉLEZ SALDARRIAGA

ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, CARBONO LÁBIL E NITROGÊNIO NO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Zootecnia para obtenção de título de *Magister Scientiae.*

APROVADA: 07 de julho de 2016.

Emanuelle Mercês Barros Soares

Fernanda Helena Martins Chizzotti
(Coorientadora)

Rasmo Garcia
(Orientador)

“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine. E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria. E ainda que distribuísse todos os meus bens aos pobres, e ainda que entregasse o meu corpo para ser queimado, e não tivesse amor, de nada valeria”. (1 Coríntios 13:1-3)

A Deus por me trazer onde estou agora e guiar todos os dias meus passos.

Aos meus pais, Iván e Yaneth por me educar com tanto amor.

A minha irmã Natalia e minha avó Magnolia por sempre acreditar nos meus sonhos.

A minha noiva Blanca e minha filha Susana, pela força e inspiração que me dão todos os dias para continuar.

DEDICO

A meu avô José (*in memoriam*) por me ensinar a “ser un hombre de bien”

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus por me fazer o homem que hoje sou e me dar todas as ferramentas para continuar lutando nesta bonita vida.

Ao Brasil por ser um pais de portas abertas e exemplo agropecuário para Colômbia.

A minha família pelo grande apoio incondicional que sempre me dão.

À Universidade Federal de Viçosa e ao departamento de Zootecnia por me receber, disponibilizar suas instalações e permitir acrescentar meus conhecimentos.

Ao Professor Dr. Rasmo Garcia, pela orientação, apoio e incontáveis conhecimentos que conseguiu me transmitir durante o mestrado.

À Professora Dra. Fernanda Helena Martins Chizzotti, pela coorientação e suporte ao longo do mestrado.

À Professora Dra. Emanuelle Mercês Barros Soares pelos ensinamentos e disponibilidade sempre que foi necessário.

A COLFUTURO pelo empréstimo dos recursos para fazer a pós-graduação.

Ao senhor Raul Cardoso Filho por disponibilizar sua fazenda para a condução do experimento.

Aos meus grandes amigos Brasileiros Everton, Daniel e Roberson pelas assessorias e a paciência para me ajudar.

À família do Everton pela hospitalidade e gentileza no período experimental.

Ao estagiário Luiz Augusto (Buraquinho) pelo apoio nas coletas.

Ao meu primo Juan Carlos e meu amigo Walas pela hospitalidade e por sempre me incentivar a crescer como profissional.

À senhora Moema e os amigos estrangeiros por me fazer sentir em família nesses anos.

A todos que, de algum modo, contribuíram para a realização deste trabalho

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

FELIPE VÉLEZ SALDARRIAGA, filho de Iván Vélez Gonzalez e Yaneth Saldarriaga Caro, nasceu em Medellín Antioquia, Colômbia, em 11 de maio de 1990.

Em 2008 ingressou no curso de Zootecnia na Universidade de Antioquia (Colômbia), graduando-se em março de 2014.

Em agosto de 2014, ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia, na Universidade Federal de Viçosa, UFV, área de concentração Forragicultura e Pastagem, concluindo em julho de 2016.

RESUMO

SALDARRIAGA, Felipe Vélez, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Estoques de carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio no solo em diferentes sistemas de uso da terra.** Orientador: Rasmo Garcia. Coorientadora: Fernanda Helena Martins Chizzotti.

Mudanças no uso da terra, tais como a substituição das áreas com vegetação nativa por áreas de cultivo e pastagens sob manejos inadequados, podem levar a rápidas perdas da matéria orgânica do solo (MOS) e contribuir com o aumento na emissão dos gases de efeito estufa. O sequestro de C, processo natural de transferência do CO_2 atmosférico através da fotossíntese para a matéria orgânica do solo, passa a ser muito mais importante em razão da necessidade de recuperar solos e ecossistemas degradados. Objetivou-se avaliar as alterações nos teores e no acúmulo de carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio no solo de diferentes sistemas de uso do solo na região da Zona da Mata Mineira. O solo estudado foi um Latossolo Vermelho com textura argilo-arenosa. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foram selecionados para o estudo seis áreas com os distintos usos do solo, a saber: mata nativa (referência); sistema silvipastoril com cinco anos; lavoura de milho com manejo convencional; sistema silvipastoril com três anos; pastagem produtiva e pastagem degradada. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm para efetuar as análises de pH, granulometria e densidade, além dos teores de carbono e nitrogênio na fração particulada (MOP) e associada à fração mineral (MAM) e carbono lábil do solo. Foram calculados os estoques desses elementos e o índice de manejo do carbono no solo (IMC). Houve diferenças significativas nos teores e nos estoques de carbono e nitrogênio dos sistemas avaliados em relação à mata nativa. De modo geral, os sistemas estão desempenhando um papel de emissores de $C\text{-}CO_2$, quando comparados com a mata nativa, em que o preparo constante do solo ou manejo inadequado do pastejo aceleraram o processo de oxidação e perda de carbono orgânico. O solo sob a lavoura convencional de milho e a pastagem degradada apresentaram os menores estoques de carbono lábil, assim como os menores IMC. Nos sistemas silvipastoris, foi observado um aumento no estoque de

carbono desde a implantação quando comparados com áreas que tem históricos similares, demonstrando a capacidade do sistema em manter ou aumentar o estoque de carbono orgânico.

ABSTRACT

SALDARRIAGA, Felipe Velez, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2016. **Stocks of total organic carbon, labile carbon and nitrogen in the soil in different land use systems.** Advisor: Rasmo Garcia. Co-advisor: Fernanda Helena Martins Chizzotti.

Changes in land use, such as the replacement of areas with native vegetation for croplands and pastures under inadequate managements, has led to rapid loss of soil organic matter (SOM) and contributed to the increase in the emission of greenhouse gases. The C sequestration, natural process of atmospheric CO2 transfer through photosynthesis to soil organic matter, becomes very important because of the need to recover soils and degraded ecosystems. This study aimed to evaluate changes in the levels and total organic carbon accumulation, labile carbon and nitrogen in the soil of different land use in the Zona da Mata Mineira region. The studied soil was an oxisol with clayey-sandy texture. The experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. Six areas were selected for the study with different land uses: native forest (reference); silvopastoral system with five years; corn crops with conventional management; silvopastoral system with three years; productive grassland and degraded pasture. The samples were collected at 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 and 60-100 cm to perform the pH analysis, particle size and density, in addition to carbon and nitrogen levels in particulate fractions (POM) and associated with minerals (MAM) and soil labile carbon. These variables were used to calculate the stocks of these elements in the soil and the carbon management index (CMI). There were significant differences in the levels and the carbon and nitrogen stocks of the evaluated systems in relation to native forest. In general, the systems are playing a role like C-CO2 emitters when compared to native forest, where the constant soil preparation or inappropriate grazing management accelerated the oxidation process and organic carbon loss. The soil under corn crops with conventional management and degraded pasture had the lowest labile carbon stock, as well as lower CMI. In silvopastoral systems, was observed a carbon stocks increase tendency since the implementation when compared to areas that have similar historical, demonstrating the system ability to maintain or even increase the stock of organic carbon.

SUMÁRIO

1. Introdução 1
2. Hipóteses 4
3. Objetivo 4
4. Material e Métodos 5
4.1 Histórico da área experimental 5
4.2 Amostragem e preparo do solo 11
4.3 Análise física do solo 11
4.4 Análise da Acidez do Solo: pH em água 12
4.5 Teores de carbono e nitrogênio nas diferentes frações da MOS 14
4.6 Teores de carbono lábil via permanganato de potássio 15
4.7 Estoques de carbono e nitrogênio nas diferentes frações do solo 16
4.8 Índice de manejo do carbono utilizando o carbono lábil pela via permanganato de potássio 17
4.9 Índice de manejo do carbono utilizando a matéria orgânica particulada 18
4.10 Análises estatísticas 19
5. Resultados e Discussão 20
5.1 Densidade do solo 20
5.2 Teores de carbono e nitrogênio do solo 21
5.3 Relação C/N 24
5.4 Comparação de métodos de cálculo dos estoques de carbono do solo 25
5.5 Estoques de Carbono e Nitrogênio em profundidade 27
5.6 Estoques de Carbono orgânico total e nas frações particulada e associada aos minerais 31
5.7 Variação no estoque de carbono orgânico total e de CO_2 equivalente 34
5.8 Estoques de Nitrogênio total e nas frações particulada e associada aos minerais 36
5.9 Teores de carbono lábil e não lábil 37
5.10 Estoques de Carbono lábil em profundidade 38
5.11 Estoques de Carbono não lábil em profundidade 40
5.12 Índice de Manejo do Carbono do solo por diferentes métodos 43
5.13 Índice de Manejo do Carbono do solo em profundidade 44
6. Conclusões 48
7. Referências 49
APÊNDICE 57

1. Introdução

Globalmente, o crescimento econômico e populacional continua sendo a causa principal do aumento das emissões de CO_2 proveniente da queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2014). De acordo com as últimas estimativas do *Intergovernamental Panel on Climate Change* a contribuição do crescimento da população e o crescimento econômico entre 2000 e 2010 mantiveram-se em grandes características idênticas às três décadas anteriores. Além de um aumento na temperatura de cerca de 1 a 2,5℃ até 2030, prevê-se que duran te este período, milhares de milhões de pessoas, especialmente em países em desenvolvimento, irão enfrentar as mudanças nos padrões de chuvas e eventos extremos, como escassez de água, secas e/ou inundações (FAO, 2009).

Neste contexto, os governos, a comunidade científica, organizações de desenvolvimento e do setor privado cada vez mais reconhecem que terras áridas, campos nativos e pastagens merecem maior atenção, não só pelo tamanho de suas áreas, degradação generalizada e resiliência limitada à seca e desertificação, mas também pelas suas potenciais capacidades de sequestrar e armazenar carbono (FAO, 2009).

A atividade agropecuária nas regiões tropicais e subtropicais tem demonstrado ser altamente dependente da matéria orgânica do solo (MOS) para sua sustentabilidade, em virtude das inter-relações entre o C do solo e as características físicas, químicas e biológicas. Nesse sentido, o sequestro de C, processo natural de transferência do CO_2 atmosférico através da fotossíntese para a MOS, passa a ser muito mais importante em razão da necessidade de recuperar solos e ecossistemas degradados, melhorar a qualidade da água, aumentar a biodiversidade e a produtividade para alcançar níveis adequados de segurança alimentar (LAL, 2006). Em solos sob vegetação natural, o balanço entre as adições e perdas de carbono leva a um estado de equilíbrio dinâmico, no qual praticamente não existe variação no teor de carbono orgânico com o tempo (BAYER e MIELNICZUK, 1999). No entanto, na conversão da vegetação natural em áreas para atividades agrícolas, pecuárias e florestais, verifica-se, em geral, nas regiões tropicais, uma rápida perda de carbono orgânico do solo (COS) e N, devido à combinação entre calor e umidade, que facilita a decomposição, o frequente uso

de queimadas, e também, ao constante revolvimento do solo levando à oxidação do COS (CASTRO FILHO et al., 1991).

Mudanças nos estoques de COS podem gerar alterações significativas nos teores de C-CO_2 na atmosfera, vendo-se afetados também, processos que ocorrem na biosfera e na hidrosfera. O equilíbrio entre estes ambientes tem sido alterado com a elevação da concentração de CO_2 na atmosfera com o crescimento industrial, levando à intensificação do chamado efeito estufa. Como consequência das práticas inadequadas mencionadas acima, estima-se que as perdas globais de C orgânico nos solos cultivados já atingiram 50 Pg C (1 Pg = 10^{15} g) (JANZEN, 2006). Em termos globais, o C está armazenado nos seguintes compartimentos: oceânico (38.000 Pg); compartimento geológico – principalmente petróleo, gás natural e carvão mineral (5.000 Pg); biosfera, que corresponde ao solo (2.500 Pg) + biota terrestre (620 Pg); e o compartimento atmosférico (760 Pg) (LAL, 2004). O solo é o maior reservatório de C do ecossistema terrestre. Considerando que o reservatório oceânico é de difícil manejo e que o reservatório fóssil tem contribuído essencialmente com as emissões de gás carbônico, o solo se torna de grande relevância dado ao seu potencial de sequestrar carbono, e, assim a sua contribuição na mitigação das mudanças climáticas (LIMA et al., 2015).

A transformação do C do solo compreende, essencialmente, duas fases: fase de fixação do C-CO_2 e fase de regeneração. A fixação do C-CO_2 atmosférico é efetuada pelos organismos fotossintéticos (plantas, algas e bactérias autotróficas). Esta fixação finaliza-se na síntese de compostos hidrocarbonados de complexidade variável: amidos, hemiceluloses, celuloses, ligninas, proteínas, óleos, ácidos nucleicos e outros polímeros. Estes compostos retornam ao solo com os resíduos vegetais e são utilizados pelos organismos que regeneram o C-CO_2 durante as reações de oxidação respiratória, utilizando a energia que lhes é indispensável para manutenção e crescimento. A multiplicação dos microrganismos estimulada pela maior disponibilidade de substrato resulta no incremento da biomassa microbiana, ocasionando imobilização temporária do C. A fase de regeneração, correspondente às diferentes etapas de decomposição das substancias carbonadas por meio de atuação dos microrganismos do solo. A decomposição caracteriza-se pela quebra das formas orgânicas mais complexas em compostos orgânicos mais simples e elementos minerais (mineralização) (SILVA, 2007).

Em solos de alta fertilidade natural os estoques do C do solo sob a vegetação nativa estão frequentemente perto da capacidade máxima daquele solo em armazenar C (CHUNG et al., 2008). Em alguns ecossistemas, entretanto, a fertilidade natural do solo é baixa, e a produção primária vegetal é limitada de tal forma que após a aplicação de calcário e adubos químicos aos sistemas agrícolas, pastagens ou florestas plantadas, a produção primária poderia superar significativamente aquela da vegetação nativa. Esse fenômeno é mais comum nas áreas de solos altamente intemperizados das regiões tropicais (CORAZZA et al., 1999; JANTALIA et al., 2007).

A recuperação dos teores de COS pode ser obtida mediante a implantação de pastagem, ou, no caso de sistemas de produção intensivos, mediante a redução do revolvimento do solo e da adoção de um sistema de rotação de culturas com a inclusão de espécies perenes e com alta produção de fitomassa (BAYER e MIELNICZUK, 1997). As Braquiárias em regiões tropicais constituem-se uma das principais culturas perenes com potencial de sequestrar carbono no solo. Nesse mesmo raciocínio, a presença das árvores nas áreas de pastagens, além de auxiliar o acúmulo total de carbono no sistema, apresentam a prerrogativa de estocar o carbono em horizontes mais profundos do solo, o qual favorece a proteção do mesmo da decomposição por parte de microrganismos devido ao ambiente com limitação de nutrientes e energia necessários para o seu normal desenvolvimento (SCHMIDT et al., 2011).

Segundo Rocha (2000), o Brasil tem todas as condições privilegiadas para mitigar a mudança climática global, participando na redução das emissões através de projetos de sequestro de carbono, entre eles, os que implantam sistemas agroflorestais, promovendo manutenção e até aumento dos estoques de C. Embora, existem estudos sobre a capacidade de acúmulo de carbono em diferentes sistemas de uso da terra, carbono lábil e comportamento do nitrogênio em solos de regiões com clima temperado, são poucos os trabalhos conduzidos em condições tropicais, havendo uma necessidade de novas pesquisas que envolvam esse tipo de avaliações nessas regiões.

2. Hipóteses

- A mudança de uso do solo altera a dinâmica da MOS e suas frações.
- A implantação de sistemas agroflorestais contribui ao acúmulo de carbono orgânico e N no solo.
- Áreas submetidas a preparo constante do solo ou manejo inadequado do pastejo resultam em perdas nos estoques de C e N.

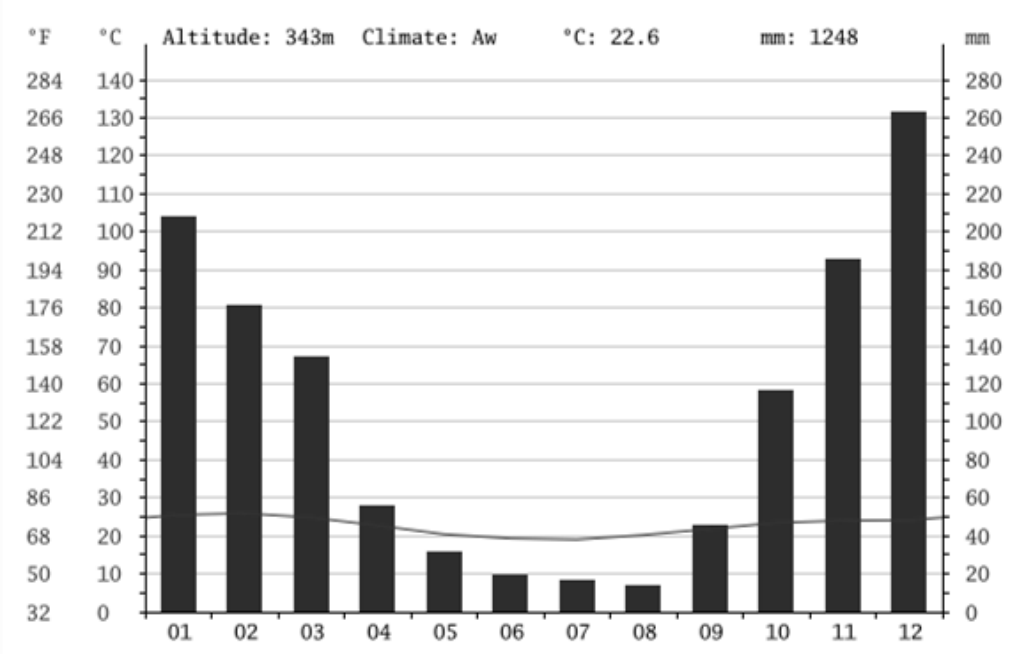
3. Objetivo

Avaliar as alterações nos teores e no acúmulo de carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio no solo de diferentes sistemas de uso da terra em áreas estabelecidas na região da Zona da Mata Mineira.

4. Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de julho de 2015 a dezembro de 2015. A área de estudo está localizada no município de Visconde do Rio Branco, na Fazenda Floresta, localizada na latitude 20°58 ’38.01”S e longitude 42°53 ’4.38”O na Zona da Mata, região sudeste do Estado de Minas Gerais. O clima da região é Clima tropical com estação seca (Classificação climática de Koppen-Geiger: Aw) com temperatura média de 22.6 ℃ (Figura 1). A média anual de pluviosidade é de 1248 mm. Os dados climáticos vêm de um modelo climático disponível no site http://pt.climate-data.org/ que utiliza dados coletados em estações meteorológicas próximas ao local entre os anos 1982 e 2012.

Em todos os sistemas de uso, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho, textura argilo-arenosa.



Fonte: (http://pt.climate-data.org/)

Figura 1: Histórico de médias de temperaturas e pluviosidade nos meses de janeiro a dezembro entre os anos 1982 e 2012.

4.1 Histórico da área experimental

Foram selecionados para o estudo seis áreas com os distintos usos do solo, descritos a seguir (Figura 2):

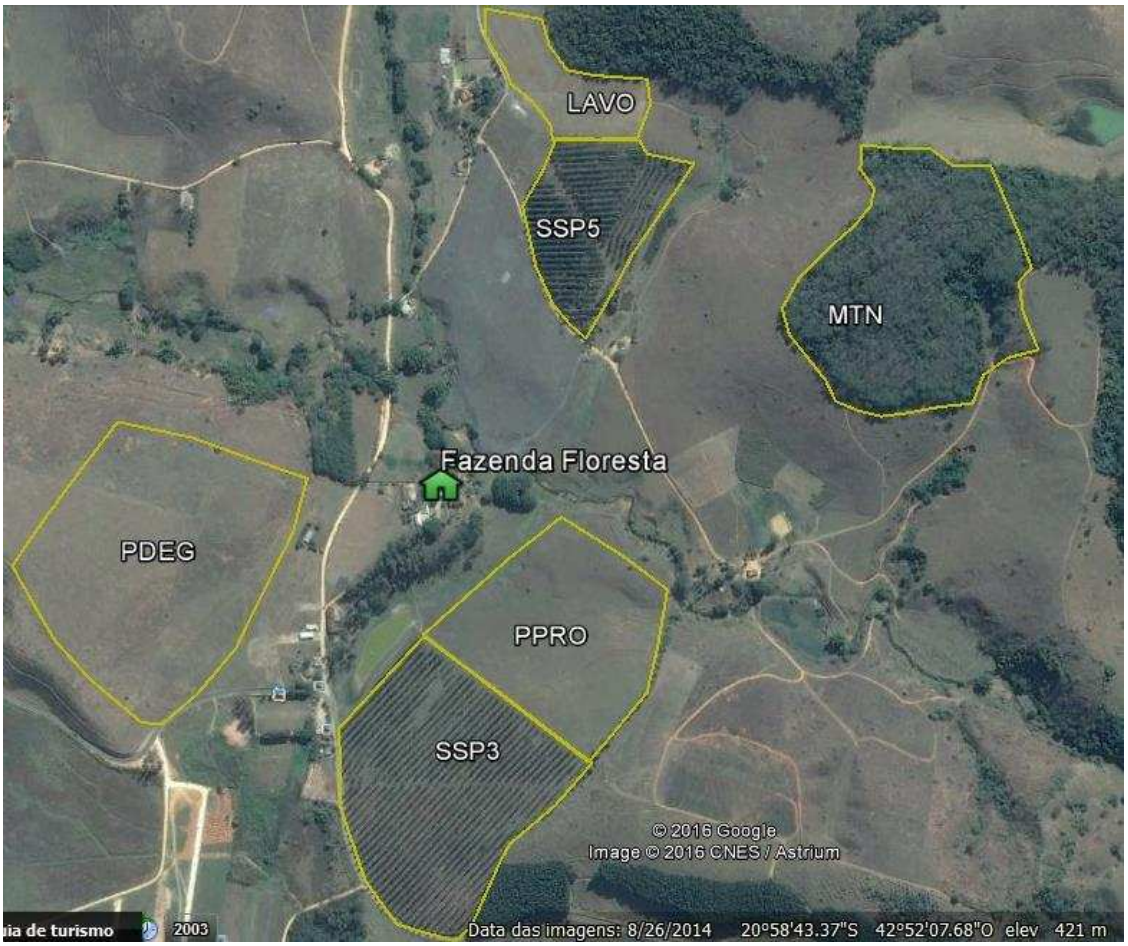


Figura 2. Áreas representativas dos diferentes sistemas de uso e manejo do solo na região da Zona da Mata Mineira, em Visconde do Rio Branco – MG. (*Fonte: Google Earth*). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

MTN – Mata Nativa, considerada referência, caracterizada por densa cobertura florestal, típico de uma floresta tropical do bioma Mata Atlântica em suas condições originais (Figura 3). A área de mata nativa é representada na fazenda por uma reserva legal onde provavelmente não se teve exploração ou interferência antrópica como queimadas.

SSP5 – Sistema silvipastoril com 5 anos. Esta área deixou de ser Mata Nativa aproximadamente em 1915. Após o desmatamento até 1965 foram cultivados milho e fumo sem muita tecnologia. Entre os anos 1965 e 2009 a área foi utilizada para o plantio de cana-de-açúcar manejada de forma tradicional. No ano 2009 formou-se uma pastagem natural. Já o Sistema silvipastoril foi implantado em dezembro de 2010. Durante os dois primeiros anos o sistema silvipastoril foi estabelecido com o modelo de integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF)

(Quadro 1). A espécie arbórea utilizada na integração foi o eucalipto (clone GG100), estabelecido no espaçamento de plantio 10 x 3 m no sentido Leste-Oeste (Figura 3). Ainda em dezembro de 2010, e seguindo-se o plantio de eucalipto, foi plantado milho (*Zea mays*) para produção de silagem. De outubro-novembro de 2011 foi novamente plantado milho para produção de silagem e capim-braquiarão (*Urochloa brizanta* cv. Marandu) e após a colheita do milho, introduziram-se bovinos no sistema. A adubação do eucalipto no plantio foi de 200 g/cova de *NPK* 6-30-6 e cobertura com 200 g/cova de 20-00-20 em duas aplicações. A adubação de plantio do milho foi 400 kg/ha do fertilizante 8-28-16 e cobertura com 400 kg/ha de 30-00-10. Ainda, foram feitas duas desramas nas árvores de eucalipto conforme preconizado pelo manejo silvicultural. Em toda a área, antes da implantação do sistema foi realizada a análise do solo sendo aplicadas duas toneladas de calcário por hectare na superfície do solo e incorporado mecanicamente. Em agosto de 2012 foram colocados bovinos no sistema silvipastoril, com lotação intermitente, até a data de coleta das amostras em 2015 (Quadro 1).

LAVO – Lavoura de Milho (*Zea mays*) com preparo convencional do solo (Figura 3). Antes de 1965 tem o mesmo histórico de SSP5 já que são duas áreas adjacentes que tiveram o mesmo uso. De 1965 até o ano 2009 a área era cultivada com cana de açúcar, sem correção de solo nem adubação. Desde 2009 até a data de coleta das amostras em 2015, entre 2009 e 2015 a área foi gradeada e adubada anualmente recebeu três calagens. Após a colheita do milho para ensilagem no período de verão, nos últimos anos foram feitos novos plantios de milho “safrinha” e, após a colheita, em todo o restante do ano, a área não é utilizada ficando o solo descoberto

SSP3 – Sistema silvipastoril com 3 anos. Esta área deixou de ser Mata Nativa aproximadamente em 1915. De 1915 a 1985 a área foi utilizada como pastagem natural manejada com lotação continua sem correção de solo nem adubação, além de utilização de fogo para controle de plantas invasoras. Em 1985 a área foi estabelecida com pasto de *Brachiaria decumbens* sendo manejada em lotação contínua com adequada capacidade de suporte até 2012. O Sistema Silvipastoril foi implantado em dezembro de 2012. Este foi estabelecido com o modelo de Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) só durante o primeiro ano. A espécie arbórea utilizada na integração foi o eucalipto (clone GG100), estabelecido no espaçamento de plantio 10 x 3 m em curvas de nível sem manter

o sentido Leste-Oeste (Figura 3). Ainda em dezembro de 2012 e seguindo-se o plantio de eucalipto foi plantado o milho para produção de silagem e juntamente com o milho o capim-braquiarão (*Urochloa brizanta* cv. Marandu). A adubação do eucalipto e do milho no plantio foi a mesma utilizada no SSP5 mas com uma única aplicação. Também foram feitas duas desramas nas árvores e uma correção do solo com duas toneladas de calcário aplicadas a lanço na superfície do solo e sem incorporação. Foram colocados bovinos (bezerros) em julho de 2013 e o sistema continuou sendo manejado como sistema silvipastoril com lotação continua até novembro de 2013 onde foi dividido em piquetes e começaram a manejar o pasto com lotação intermitente até a data de coleta das amostras em 2015 com vacas produtoras de leite.

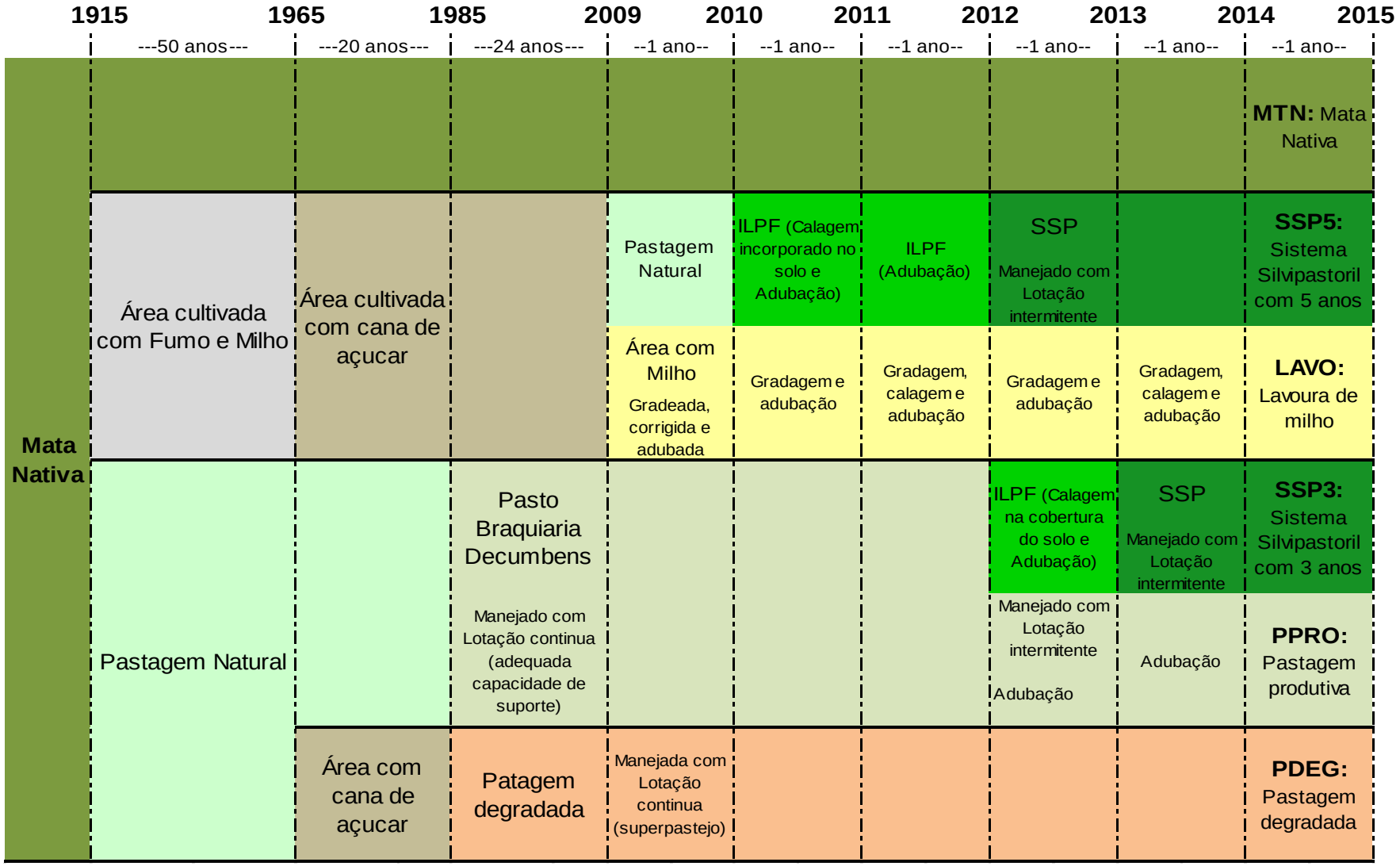
PPRO – Pastagem Produtiva. Antes de 1985 tem o mesmo histórico de SSP3 já que são duas áreas adjacentes que tiveram o mesmo uso. A implantação deste sistema ocorreu há 30 anos e foi estabelecido com pasto de *Brachiaria decumbens* (Figura 3). Foi corrigido e adubado em outubro-novembro de 2012 junto com o SSP3 sem revolvimento do solo. Em novembro de 2014 foi feita uma nova adubação com a fertilizante ureia *(46-0-0)* e Mono-Amônio-Fosfato *(11-52-0)*. O manejo do pastejo foi conduzido na forma de lotação continua até novembro de 2013 onde junto com o SSP3 foi dividido em piquetes e o pasto começou a ser manejado em lotação intermitente com adequada capacidade de suporte do pasto.

PDEG – Pastagem Degradada. Deixou de ser Mata Nativa aproximadamente em 1915. Entre 1965 e 1985 foi cultivada com cana de açúcar manejada de forma tradicional (com queimadas). Depois de 1985 a área ficou mais de 30 anos sendo conduzida com pasto de *Brachiaria decumbens* e gramas nativas, a qual nunca recebeu aplicação de calcário e adubação. Sempre foi manejada com continua lotação animal, caracterizando-se por ser superpastejada com baixa oferta forrageira para os bovinos, sem presença de árvores e evidenciando sinais de degradação com existência de cupins de montículo (*Cornitermes cumulans*), participação de plantas invasoras e solo descoberto (Figura 3).

No quadro 1 é sumarizada a conosequência de uso e o manejo adotado desde 1915.

Figura 3. Sistemas de uso e manejo do solo na região da Zona da Mata Mineira, em Visconde do Rio Branco – MG. (a) mata nativa; (b) sistema silvipastoril com 5 anos; (c) lavoura de milho; (d) sistema silvipastoril com 3 anos; (e) pastagem produtiva; (f) pastagem degradada.

Quadro 1. Cronossequencia de Sistemas de uso e manejo do solo em áreas da região da Zona da Mata Mineira, em Visconde do Rio Branco – MG (Cores iguais representam o mesmo histórico). ILPF: integração lavoura pecuária floresta; SSP: sistema silvipastoril.



4.2 Amostragem e preparo do solo

As amostras de solo foram coletadas durante os meses de setembro a novembro de 2015. Para cada tratamento foram retiradas quatro amostras compostas em diferentes profundidades oriundas de 6 amostras simples, sendo que cada amostra composta constitui uma repetição. As amostragens de solo foram efetuadas em cada unidade experimental, em cinco profundidades diferentes (0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm), para análises de granulometria, pH, teores de carbono orgânico total e N, carbono lábil e fracionamento físico da MOS.

Com o objetivo de coletar amostras indeformadas de solo para estimar densidade e realizar cálculos dos estoques de carbono e nitrogênio dos sistemas, em cada unidade experimental foram abertas oito minitrincheiras (duas para cada repetição) nas mesmas profundidades com o auxílio de cilindro metálico com volume interno de 99,00 cm^3.

As amostras foram armazenadas em sacos plásticos, sendo protegidas da luz e transportadas para o laboratório, para posterior secagem ao ar e passadas em peneira de 2,0 mm para subsequentes análises de características físicas e químicas, conforme recomendações da EMBRAPA (1997).

4.3 Análise física do solo

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, descrito no manual da EMBRAPA (1997). Para esse procedimento foram pesados 10 g de solo e adicionados 10 ml de NaOH (1 N) e 200 ml de água destilada. Em seguida, o solo foi submetido à rotação de 25–30 rpm durante aproximadamente 16 horas para dispersar suas partículas. A amostra dispersa foi colocada em peneira de 0,053 mm, onde ficou retida a fração areia. A porção silte mais argila passou através dessa peneira e, em seguida, foram separados por diferença de sedimentação de suas partículas, de acordo com a Lei de Stokes.

A determinação da densidade do solo foi feita segundo a metodologia descrita no manual da EMBRAPA (1997), por meio do uso de anéis cilíndricos de volume conhecido. A densidade aparente do solo foi definida pela razão entre a massa da amostra seca a 105–110 ºC por 24 h e o volume do anel.

4.4 Análise da Acidez do Solo: pH em água

A medição eletrônica do potencial hidrogeniônico foi efetuada por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo**:**líquido (água) como descrito no manual EMBRAPA (1997). Esta medição consiste em colocar 10ml de solo em copo plástico de 100ml, adicionar 25ml de líquido, agitar a amostra com bastão de vidro e deixar em repouso por uma hora. Finalmente, cada amostra foi agitada com bastão de vidro e mergulhados os eletrodos na suspensão previamente homogeneizada para fazer a leitura do pH.

A análise de textura e pH foi efetuada para caracterizar as propriedades físicas do solo e auxiliar na interpretação dos resultados de carbono e nitrogênio no solo, por tanto, os dados (Tabela 1) para essa variável são apresentados de maneira descritiva.

Tabela 1. pH em água e Granulometria (g kg^{-1}) nas diferentes profundidades e sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

Profundidade (cm)	Sistemas de uso da terra	pH	Areia (g kg^{-1})	Silte (g kg^{-1})	Argila (g kg^{-1})
0-10	MTN	4,75	585	66	349
	SSP5	5,38	424	75	501
	LAVO	6,25	636	76	288
	SSP3	5,51	555	69	376
	PPRO	5,48	614	46	340
	PDEG	5,33	492	79	429
10-20	MTN	4,71	562	49	389
	SSP5	4,85	402	86	512
	LAVO	5,20	625	65	310
	SSP3	5,26	572	76	351
	PPRO	5,20	591	71	338
	PDEG	5,13	460	41	498
20-40	MTN	4,74	426	48	526
	SSP5	4,95	415	76	509
	LAVO	5,16	556	60	384
	SSP3	5,13	537	65	398
	PPRO	5,39	569	54	377
	PDEG	5,32	439	68	493
40-60	MTN	4,84	387	55	558
	SSP5	5,24	323	76	602
	LAVO	5,30	449	33	519
	SSP3	5,23	512	61	427
	PPRO	5,53	520	36	444
	PDEG	5,32	409	67	524
60-100	MTN	5,04	366	58	576
	SSP5	5,26	329	88	583
	LAVO	5,34	385	67	547
	SSP3	5,20	472	60	468
	PPRO	5,70	441	80	479
	PDEG	5,50	365	68	567

MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pasto produtivo; PDEG: pasto degradado.

Observa-se que nas camadas superficiais (0-20 cm) o sistema LAVO apresentou maior fração de areia, enquanto na área do SSP5 a fração argila foi maior na comparação dos tratamentos (Tabela 1). No entanto, a granulometria das

áreas foi próxima entre si permitindo evidenciar os efeitos do uso e manejo nas variáveis analisadas. Nos estudos para avaliar a influência do manejo e da cobertura vegetal no carbono orgânico do solo é importante dissociar os efeitos de textura, uma vez que existe relação positiva entre os teores de silte e argila e o teor de carbono em Latossolos (ZINN et al., 2005). Nesses solos mais argilosos, a floculação de argila e a formação de agregados estáveis são favorecidas conferindo maior proteção natural da MOS.

Observa-se, de modo geral, que o solo sob MTN apresentou valor de pH menor em relação aos outros sistemas de uso da terra, para todas as profundidades avaliadas; e sistemas como a LAVO onde é realizada a calagem a seis anos apresenta valor de pH maior principalmente na camada mais superficial.

4.5 Teores de carbono e nitrogênio nas diferentes frações da MOS

O fracionamento físico granulométrico do carbono orgânico foi realizado conforme os procedimentos descritos por Cambardella e Elliott (1992). Para isto, foram usados 10 g de solo seco e 30 ml de hexametafosfato de sódio (5 g L^{-1}), com agitação da suspensão por 15 horas em agitador horizontal (150 oscilações min^{-1}). A suspensão foi lavada com jato de água em peneira (53 *mesh*), sendo que a fração retida na peneira correspondera à matéria orgânica particulada (MOP) e a porção restante, denominada matéria associada, aos minerais (MAM). A água em suspensão foi evaporada em estufa de ar forçado a 50 ℃.

Em seguida, a fração MAM e as amostras do solo foram trituradas com um almofariz e pilão para posteriormente serem passadas através de peneiras com malha de 100 *mesh* (0,150 mm). A estimação do carbono e nitrogênio da MOP foi obtida por diferença entre os teores de carbono total e carbono da MAM, e a diferença entre os teores de nitrogênio total e nitrogênio da MAM.

Para a análise de carbono orgânico e nitrogênio do solo foi utilizado o método por combustão seca. Para isto, amostra de aproximadamente 25 g de solo seco foi moída até que passasse totalmente em peneira de 100 *mesh*. Da amostra peneirada, foram pesados de 3 a 5 mg em folhas de estanho embrulhadas e, seguidamente, acondicionada em analisador elementar Vario EL III no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. Este método baseia-se na oxidação da amostra na presença de $Cr_2O_7^{-2}$ e

CO_3O_4/Ag à temperatura de 1.200–1.500 ℃ com adição de O_2 sob pressão de 30 kPa. Nesse processo as moléculas orgânicas são oxidadas até CO_2, H_2O e O_2 e, posteriormente esses compostos foram carreados na forma de gás para um forno de redução, sob fluxo de hélio. Na etapa final o CO_2 foi separado em coluna cromatográfica e determinado em detector acoplado ao aparelho.

4.6 Teores de carbono lábil via permanganato de potássio

A quantificação do carbono oxidável via permanganato de potássio (C lábil) em amostras de solo foi realizada segundo o método “do carbono ativo” descrito por Weil et al. (2003) com modificações feitas pelos laboratórios Glover (Land Institute) e Barbercheck (Universidade Estadual da Pensilvânia) e escrito por Culman et al. (2012). Para tal fim foram identificados dois tubos de centrífuga de 50 ml para cada amostra, pesados 0,8 gramas de solo fino seco ao ar (100 mesh) em um dos tubos e adicionados 18,0 ml de água deionizada em cada um dos tubos de centrífuga contendo o solo. Utilizando a pipeta de 1,0 -10,0 ml foram adicionados 2,0 ml da solução estoque 0,33 mol L-1 de $KmnO_4$ em cada tubo. Para a preparação do “branco” foram adicionados 18,0 ml de água deionizada e 2,0 ml de solução de KmnO4. Os tubos foram tampados imediatamente e agitados manualmente de forma vigorosa por 2 segundos para assegurar a dispersão de partículas dentro da solução.

Posteriormente os tubos foram colocados sob agitação a 140 rpm durante 30 minutos. Após isto, as amostras foram agitadas manualmente evitando que o solo ficasse aderido na parede ou na tampa do tubo. Neste ponto, foram retiradas as tampas dos tubos para evitar a perturbação adicional do solo após sedimentação.

As amostras foram deixadas em repouso por 10 min (para decantação), posteriormente sendo adicionados 49,5 ml de água deionizada no segundo conjunto de tubos de centrifugação. Após a decantação, foram transferidos 0,5 ml do sobrenadante para o segundo tubo contendo 49,5 ml de água. Foi feito o mesmo procedimento com o “branco” e com os quatro pontos da curva de calibração.

Finalmente foi realizada uma leitura em espectrofotômetro de absorção atômica com um comprimento de onda de 565 nm no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa.

O carbono não lábil foi determinado pela diferença entre o carbono orgânico total e o carbono lábil.

4.7 Estoques de carbono e nitrogênio nas diferentes frações do solo

Com o fim de verificar como pode interferir na interpretação dos resultados foram calculados alguns estoques sem correção da massa do solo considerando nesse cálculo as alterações na densidade aparente e a espessura da camada estudada, sendo os resultados expressos por unidade de área C em Mg ha^{-1} (AGUILAR et al., 1988; TIESSEN et al., 1982). Foram, então, calculados da seguinte forma:

Estoque = *DS* x A x e

onde:

Estoque = estoque de carbono ou nitrogênio em determinada profundidade (Mg ha^{-1})

DS = densidade do solo na profundidade amostrada na área dos tratamentos (Kg m^{-3}).

A = teor de carbono ou nitrogênio na profundidade amostrada (g kg^{-1})

e = espessura da camada considerada (cm)

Para estimar os estoques de carbono, carbono lábil e nitrogênio do solo levou-se em consideração a correção por camada equivalente de solo, conforme as recomendações propostas por Carvalho et al. (2009). Essa correção é realizada para minimizar os erros de cálculos dos estoques, oriundos da compactação do solo nos sistemas modificados pela ação do homem, para que amostras de camadas compactadas possam ser comparáveis com as da mata nativa na mesma profundidade.

$$\text{ESTOQUE} = \frac{A \times Ds_{\text{tratamento}} \times \left(\frac{Ds_{\text{mata nativa}}}{Ds_{\text{tratamento}}} \times e \right)}{10}$$

onde:

Estoque = estoque de carbono ou nitrogênio em determinada profundidade (Mg ha^{-1})

A = teor de carbono ou nitrogênio na profundidade amostrada (g kg^{-1})

$Ds_{tratamento}$= densidade do solo na profundidade amostrada na área dos tratamentos (Kg m^{-3}).

$Ds_{mata\ nativa}$ = densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência (Kg m^{-3}).

e = espessura da camada considerada (cm)

Além disso, para verificar o acúmulo ou a perda de carbono orgânico do solo, foi calculada a variação do estoque de carbono orgânico no solo em relação ao sistema referência definido pela mata nativa (ΔEstC, t ha^{-1}) e em relação aos sistemas adjacentes que apresentam um histórico similar, pela diferença entre os valores médios de estoque de carbono orgânico neste sistema e em cada um dos demais com o objetivo de facilitar as interpretações na variação dos estoques de carbono orgânico total.

4.8 Índice de manejo do carbono utilizando o carbono lábil pela via permanganato de potássio

O Índice de Manejo de carbono (IMC) foi calculado para cada sistema e para cada profundidade, pelo método proposto por Blair et al., (1995). Utilizaram-se os teores de carbono orgânico total de carbono lábil.

Os cálculos para a estimativa do Índice de Manejo de Carbono foram realizados considerando a mata nativa próxima aos outros sistemas de uso da terra como referência (IMC=100). Para estimar o IMC é necessário obter o índice de comportamento do carbono (ICC), labilidade (L) e índice de labilidade (IL)

Estes serão obtidas através das seguintes fórmulas:

CNL = COT – CL

ICC = COT do tratamento / COT Ref.

L = CL / CNL

IL = L do tratamento / L Ref.

Em que:

CNL = teor de carbono não lábil (g kg^{-1}); COT = teor de carbono orgânico total (g kg^{-1}); CL = teor de carbono lábil (g kg^{-1}); ICC = índice de comportamento do carbono; COT do tratamento = teor de carbono no solo do tratamento (g kg^{-1}); COT Ref. = teor de carbono no solo do sistema referência (g kg^{-1}) L = labilidade do carbono; IL = índice de labilidade do carbono no solo; L = labilidade do carbono no solo no tratamento e L Ref = labilidade do carbono no solo no sistema referência. A partir do ICC e IL, foi calculado o IMC.

$$IMC = ICC \times IL \times 100$$

4.9 Índice de manejo do carbono utilizando a matéria orgânica particulada

Foi calculado o Índice de Manejo de carbono (IMC) para cada sistema e para cada profundidade, pelo método proposto por Blair et al., (1995) e com as adaptações sugeridas por Diekow, (2005). E neste caso, utilizou-se a MOP representando a porção lábil da matéria orgânica do solo (MOS) e a MAM como porção não lábil.

Os cálculos para a estimativa do Índice de Manejo de Carbono (IMC) foram realizados considerando a mata nativa próxima aos outros sistemas de uso da terra como referência (IMC=100). Para determinar o IMC foi necessário, primeiramente, obter outros dois índices, o estoque de Carbono e a labilidade do carbono, a partir das três:

IEC = estC total do tratamento / estC Ref. Total;

L = estC lábil / estC não lábil

ILC = L tratamento / L Ref

Em que:

IEC = índice de estoque de carbono no solo; estCtrat = estoque de carbono no solo do tratamento (Mg ha^{-1}); estC Ref. = estoque de carbono no solo do sistema

referência (Mg ha^{-1}); L = labilidade do carbono no solo; estC lábil = estoque de carbono da matéria orgânica particulada (Mg ha^{-1}); estC não lábil = estoque de carbono da matéria orgânica mineral (Mg ha^{-1}); IL = índice de labilidade do carbono no solo; L = labilidade do carbono no solo no tratamento e L Ref = labilidade do carbono no solo no sistema referência. A partir do IEC e IL, foi calculado o IMC.

$$IMC = IEC \times IL \times 100$$

4.10 Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância, separadamente por profundidades, ao nível de significância de 5% de probabilidade, comparando as médias pelo teste de Tukey para caracterizar as diferenças entre os diferentes sistemas de uso e manejo do solo. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do aplicativo computacional SAS® (SAS Institute, 2004) e as figuras por meio do programa Excel®.

5. Resultados e Discussão

5.1 Densidade do solo

Mudanças na densidade são importantes para explicar as variações nos estoques de COT do solo, estes dependem linearmente do teor de COT e da densidade.

Foram observadas diferenças de densidade do solo entre usos da terra (P<0,05) em todas as profundidades (Figura 4). A mata nativa apresentou valores inferiores de densidade do solo, a pastagem degradada nas profundidades maiores a 20 cm também apresentou densidades baixas sem diferenças significativas com o sistema em equilíbrio (MTN). Foi observado nos dois sistemas silvipastoris e na pastagem produtiva, densidades de solo similares entre sistemas, e entre as diferentes profundidades. A lavoura de milho apresentou maior densidade do solo em profundidades maiores a 40 cm. O sistema lavoura de milho apresentou maior compactação do solo em profundidades maiores a 40 cm.

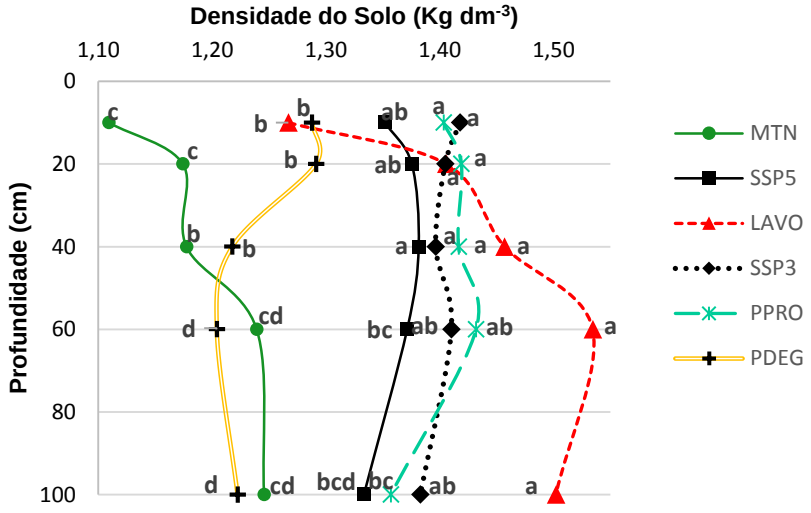


Figura 4. Densidade do solo em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

A baixa densidade apresentada na MTN para todas as profundidades é devido à ausência de interferência antrópica. O fato do sistema PDEG apresentar

densidades muito similares às da MTN nas profundidades maiores a 20 cm demostra que a compactação causada pelo pisoteio animal durante vários anos só teve efeito significativo nas camadas mais superficiais do solo como foi verificado por Bell et al. (2011) que em sistema de integração lavoura-pecuária, eles demonstraram que mesmo com o pisoteio constante dos animais na área, os possíveis danos decorrentes da compactação do solo são superados pelo próprio sistema ao aumentar a atividade de raízes, a ação da fauna e os aumentos nos teores de carbono do solo.

Don et al. (2011) em uma meta-análise em solos da região tropical, reportaram que quando florestas primarias são desmatadas e as áreas começam a ser utilizadas para lavouras, existe um aumento da densidade em 16% aproximadamente. Neste estudo a maior diferença quando as densidades foram comparadas com a MTN foi apresentada pela LAVO na profundidade de 40-60 cm, onde teve um aumento do 23%. A compactação nesse último sistema em profundidades maiores a 40 cm pode estar relacionada ao alto trafego de maquinaria durante vários anos. Nos solos que são constantemente revolvidos para semeadura das culturas, (como é o casso do sistema LAVO) a compactação superficial é desfeita, porém, graças ao contato dos implementos de corte com o solo e pressão do rodado no sulco em aração, camadas mais profundas são compactadas, denominando-se “pé-degrade” ou “pé-de-arado”, como constatado por Stone e Silveira (1999), Silva et al. (2003), Reichert et al. (2003) e Alves e Suzuki (2008) e ocorre, portanto, abaixo da camada arável, que é aproximadamente a 20 cm de profundidade (SILVA, 2003)

5.2 Teores de carbono e nitrogênio do solo

Os teores de carbono orgânico em todos os sistemas de uso da terra tiveram tendência geral de diminuição com o aumento da profundidade (Figura 5), visto que a camada superficial do solo é a zona onde a deposição de materiais orgânicos ocorre com maior intensidade (DON et al., 2011).

Para o COT, observa-se diferenças significativas ($P<0,05$) entre os sistemas para todas as profundidades, com os maiores valores na MTN, e isso pode ser devido que ao longo de pelo menos 100 anos não houve exploração humana, além da constante queda de folhas, material vegetal acumulado na superfície e também

à ausência de revolvimento, que contribui para a manutenção de carbono orgânico no sistema (CASTRO FILHO et al., 1991).

Nas profundidades maiores a 10-20 cm (Figura 5) o SSP5 e a LAVO apresentaram os menores teores de COT, os outros sistemas tiveram valores intermediários. Um padrão de resposta similar foi observado para o carbono associado à fração mineral (C-MAM), onde a MTN sobressai em todas as profundidades e a LAVO apresentou os menores valores principalmente até os primeiros 60 cm do solo. A perturbação antrópica do sistema estável (MTN) causou mais perdas do que ganhos nos teores de carbono ao longo dos anos, principalmente nos sistemas que possuem um histórico de preparo do solo mecanizado e com alta intensidade do revolvimento (SPP5 e LAVO), o que pode ter aumentando a oxidação de compostos orgânicos, ruptura mecânica dos agregados, expondo a superfície do solo ao impacto das gotas de chuva e consequentemente à inibição da mineralização da matéria orgânica do solo (oxidação de compostos orgânicos com a liberação de CO_2) (LIMA et al., 2015). Não foram verificadas diferenças nos teores de carbono da matéria orgânica particulada para nenhuma profundidade.

Têm sido sugerido que a qualidade e a quantidade de carbono orgânico total (COT) são fatores importantes que afetam a dinâmica do N no solo e a sua retenção no ecossistema, sendo necessário estudalos em conjunto para um melhor entendimento dessa dinâmica (HART et al., 1994). Com relação ao nitrogênio total (NT) no solo, apenas na camada de 60-100 cm não apresentou diferença significativa (Figura 5). Nas camadas de 20-40, 40-60 cm, a MTN e o SSP3 obtiveram os maiores valores de N e já nas camadas mais superficiais (0-10, 10-20 cm) a MTN apresentou os maiores teores de NT.

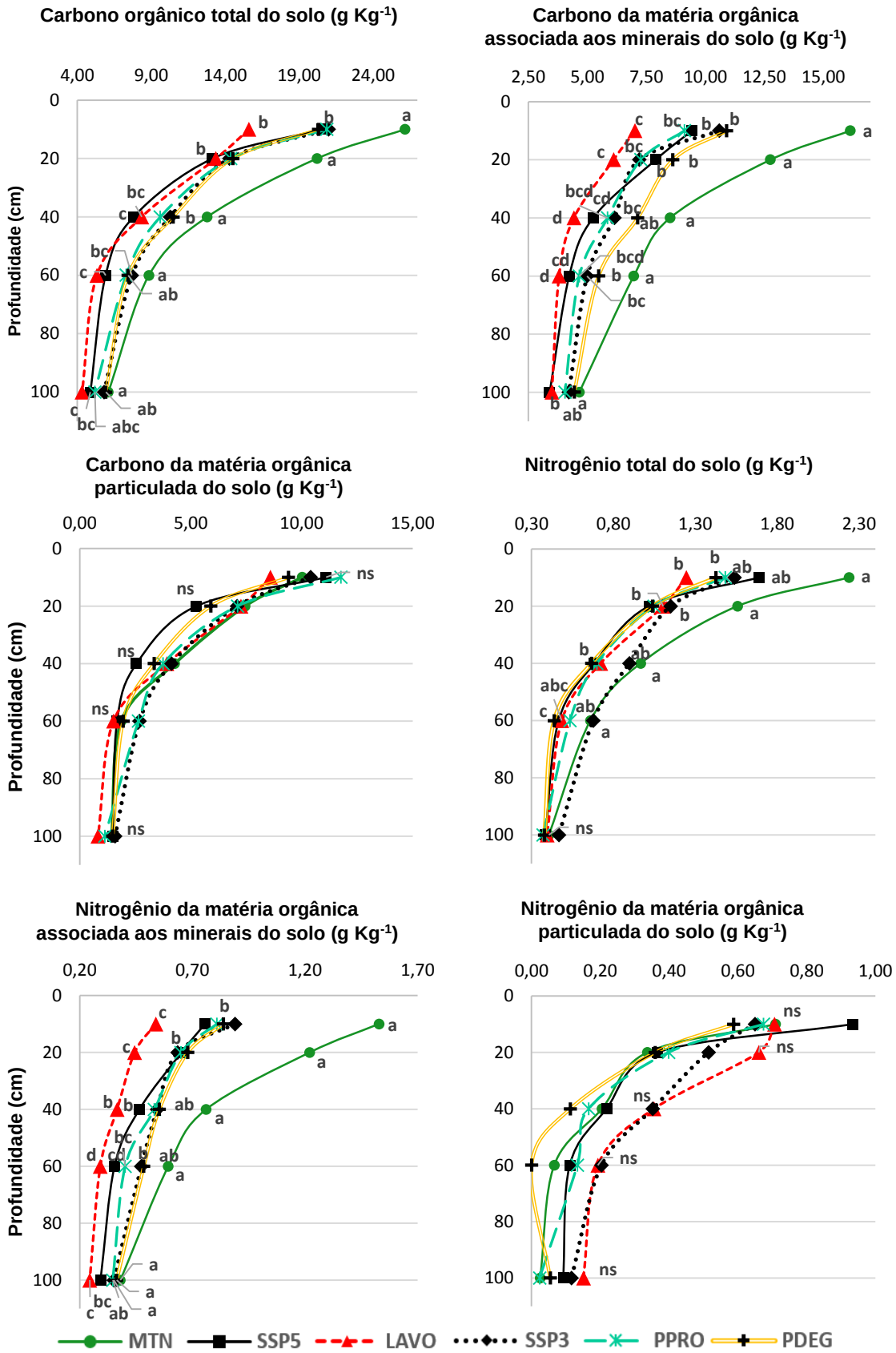


Figura 5. Teores de carbono e nitrogênio em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). ns: não significativo. MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Os teores de nitrogênio da matéria orgânica associada aos minerais do solo foram significativamente maiores na MTN em todas as profundidades (Figura 5), mas a diferença foi diminuindo conforme aumenta a profundidade. O padrão de resposta para esta fração foi muito parecido com o carbono, onde os menores valores achados em todas as profundidades também foram os do sistema LAVO, os outros sistemas tiveram valores intermediários. Para os teores de nitrogênio da matéria orgânica particulada não se observaram diferenças significativas.

A mudança no uso da terra mais comum é a conversão de florestas em sistemas agrícolas, sendo que 13 milhões de ha são desmatadas por ano para esse fim (FAO, 2006). Segundo Don et al (2011) a destruição de florestas primárias provoca uma rápida perda de C da biomassa e do solo. Esta destruição normalmente vem acompanhada de queima da vegetação natural, e além de reduzir os teores da matéria orgânica do solo, acarreta perda de fertilidade e aumento da erosão.

A perda de C orgânico no solo da LAVO foi afetada pela pouca quantidade de resíduos culturais depositados no mesmo. O milho produzido nesta área é coletado na sua totalidade e armazenado na forma de silagem para posteriormente ser utilizado na alimentação animal. Isto faz com que a proporção da matéria seca total removida do campo na forma de produtos agrícolas seja quase de 100% e o solo fique descoberto após a colheita até o próximo plantio. Vários estudos têm destacado o efeito benéfico de plantas de cobertura nas propriedades edáficas e no rendimento de culturas, decorrentes da ciclagem de nutrientes e da decomposição da palhada (TORRES; PEREIRA; FABIAN, 2008).

5.3 Relação C/N

A relação C/N do solo variou de 11,35 a 17,06 e as diferenças entre os sistemas ocorreram desde a profundidade de 20-40 cm até os 100 cm (Figura 6). Nessas camadas com profundidade maior a 20 cm destacou-se o PDEG com a maior relação C/N. As outras áreas tiveram relações C/N semelhantes.

A PPRO e os dois sistemas silvipastoris, apresentam relações C/N baixas assim como a MTN em todas as profundidades. Valores maiores de relação C/N como os encontrados na PDEG favorecem o acúmulo de resíduos vegetais em superfície, geralmente pela baixa oferta de N no sistema, fato que reduz a taxa de

mineralização dos resíduos e, consequentemente, a ciclagem de nutrientes (HOPPE et al., 2006), isto permite manter o estoque de carbono por mais tempo.

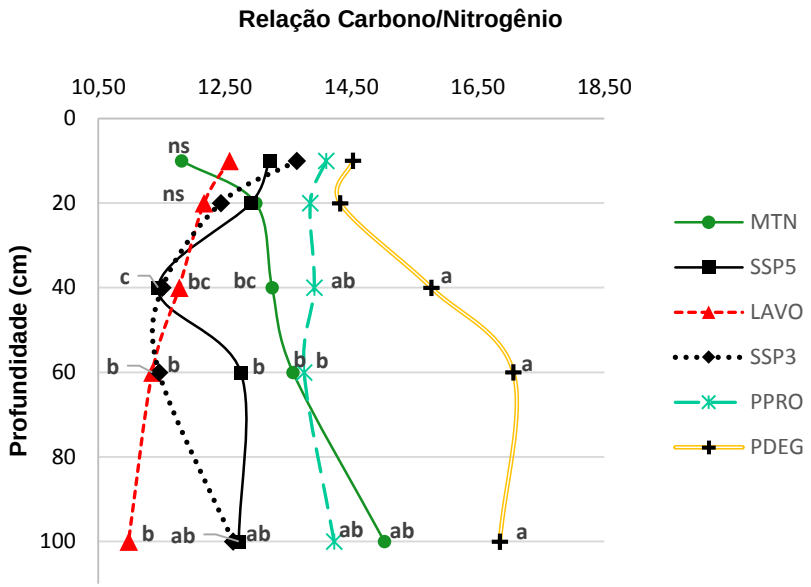


Figura 6. Relação Carbono/Nitrogênio em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). ns: não significativo; MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

5.4 Comparação de métodos de cálculo dos estoques de carbono do solo

A adequada avaliação do estoque de carbono orgânico em sistemas de produção agropecuária é essencial para o balanço de gases de efeito estufa em sistemas rurais de produção. Igualmente os métodos para calcular os estoques armazenados no solo também são importantes, mas, até hoje, muitas vezes os métodos são equivocadamente descritos (FERNANDES et al., 2013). Trabalhos conduzidos desde 1970 começaram a expressar a quantidade de MOS não somente em valores de concentração, como também os de estoque de carbono, considerando nesse cálculo as alterações na densidade aparente e a espessura da camada estudada, sendo os resultados expressos por unidade de área (C em Mg ha^{-1}) (AGUILAR et al., 1988; TIESSEN et al., 1982). Recentemente, essa medida tem sido considerada insuficiente, pois as práticas de manejo podem alterar a densidade do solo e, assim, ao se considerar uma mesma profundidade de uma área cultivada e de uma área sob vegetação nativa, as massas de solo serão

diferentes, podendo levar a interpretações equivocadas (JANTALIA et al., 2006; VELDKAMP, 1994).

A fim de apresentar a importância da correção dos estoques de C para a mesma massa de solo e minimizar os erros de cálculos dos estoques, oriundos da compactação do solo nos sistemas modificados pela ação do homem, e, para que amostras de camadas compactadas possam ser comparáveis com as da mata nativa na mesma profundidade, foram comparados os valores não corrigidos (calculados) e corrigidos dos estoques para a camada de 0-100 cm.

Desse modo, foi comparada a equação tradicional ((Teor de carbono x Densidade aparente do solo x Profundidade)/10) que considera as alterações na densidade aparente e a espessura da camada estudada com a equação proposta por Carvalho et al (2009) (estoque corrigido), que baseados nos trabalhos de Moraes et al. (1996) e Veldkamp (1994) e partindo da premissa proposta por Veldkamp (1994), de que a relação entre a densidade aparente e a espessura da camada permanece constante em relação ao solo de referência (MTN).

Por esse último método a correção foi feita para cada camada estudada, corrigindo-se a espessura da mesma em relação à mata nativa. Sendo os resultados das duas equações, expressos por unidade de área – $MgC.ha^{-1}$. Existem na literatura várias propostas para efetuar essa correção, mas Fernandes et al (2013) relata que quando a quantificação dos estoques é feita até camadas com profundidade maior a 40 cm, a equação proposta por Carvalho et al. (2009) é a mais indicada.

Na Tabela 2 são apresentados os valores calculados e corrigidos dos estoques de C do solo para os diferentes sistemas de uso da terra. Como pode ser observado, os valores corrigidos dos estoques na camada de 0-100 cm para os sistemas SSP5, LAVO, SSP3 e PPRO, são menores ($P<0,05$) do que aqueles sem correção, os quais estão superestimados. Se fossem levados em conta os valores não corrigidos estariam se contabilizando em média 17,85 Mg ha^{-1} de C a mais para cada um dos sistemas mencionados. A principal causa de que o sistema PDEG não apresentara diferença significativa com a MTN, foi a similaridade entre as densidades de quase todas as profundidades, excetuando as mais superficiais (0-10 e 10-20 cm). Os estoques apresentados a seguir foram corrigidos com a equação proposta por Carvalho et al (2009).

Tabela 2. Comparação de métodos de cálculo dos estoques de carbono na camada de solo de 0 a 100 cm sob diferentes condições de uso da terra.

Estoque de Carbono (Mg ha^{-1})	Sistemas de uso da terra					
	MTN	**SSP5**	**LAVO**	**SSP3**	**PPRO**	**PDEG**
Calculado[a]	135,27 a	109,81 a	105,18 a	132,44 a	126,03 a	117,23 a
Corrigido[b]	135,27 a	95,61 b	87,46 b	112,33 b	106,66 b	112,29 a
P-valor	*1,0000*	*0,0402*	*0,0425*	*0,0018*	*0,0059*	*0,1956*

a (Teor de carbono x Densidade aparente do solo x Profundidade)/10; b correção por equivalência de massa. Letras iguais dentro do mesmo sistema de uso da terra não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

5.5 Estoques de Carbono e Nitrogênio em profundidade

Os estoques de carbono orgânico, nitrogênio e suas diferentes frações nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo, nas cinco profundidades são apresentados na figura 7.

O estoque de COT foi afetado pelos sistemas de uso e manejo do solo em todas as profundidades avaliadas. Os maiores estoques foram observados na mata nativa. O sistema LAVO e SSP5 que tem um histórico de uso da terra similar (Quadro 1), apresentaram os menores estoques de C em quase todas as profundidades com exceção da camada mais superficial (0-10 cm) onde o SSP5 superou a LAVO (P<0,05). Já na profundidade de 60-100 cm os outros sistemas não evidenciaram diferença significativa com a MTN. Esses comportamentos nos estoques de COT são repetidos com muita similaridade ao avaliar os estoques de C da matéria orgânica associada aos minerais. Os estoques de C da matéria orgânica particulada não apresentaram diferenças significativas em nenhuma profundidade.

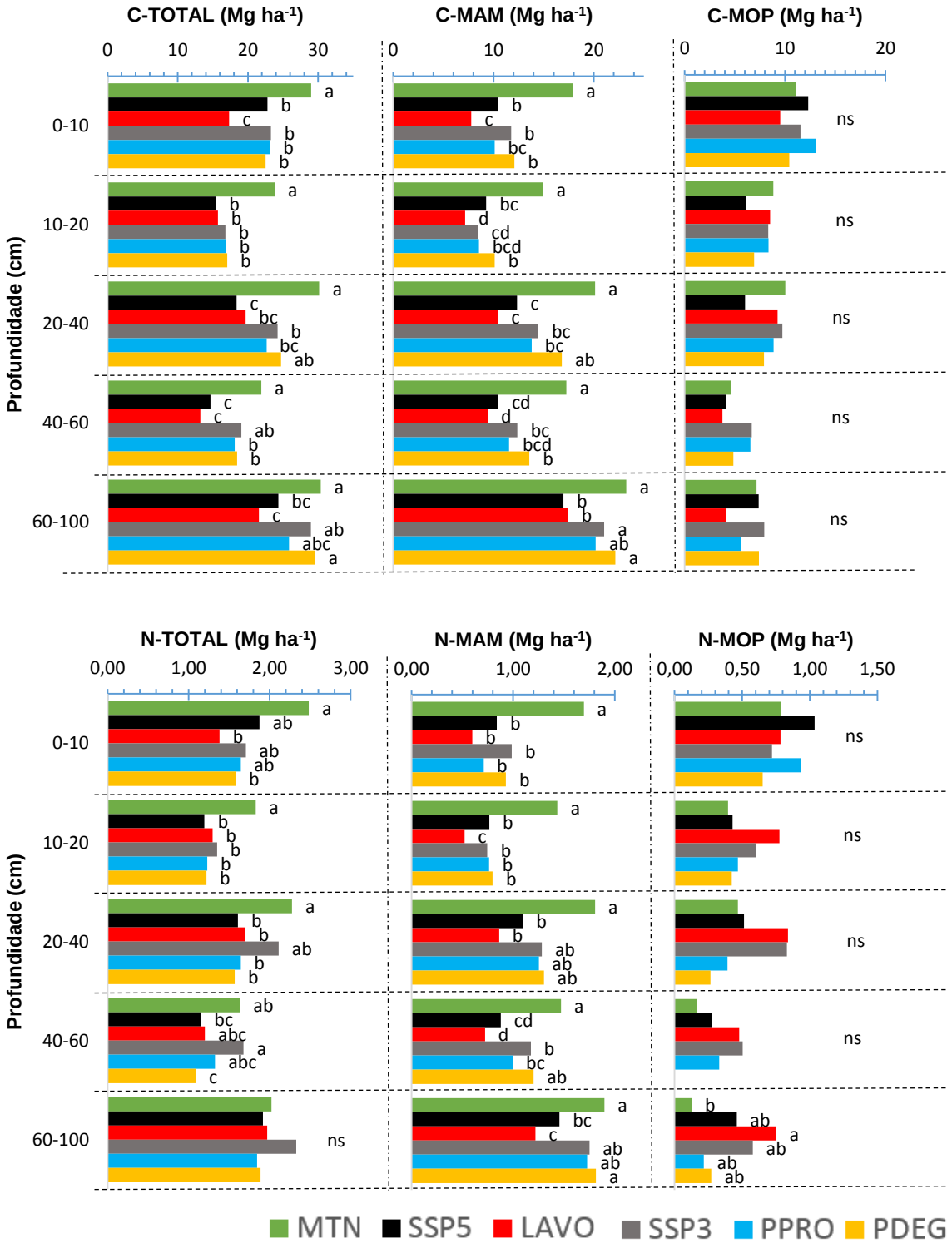


Figura 7 Estoques de carbono e nitrogênio em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). ns: não significativo. C-TOTAL: carbono orgânico total; C-MAM: carbono associado aos minerais; C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada. N-TOTAL: nitrogênio total; N-MAM: nitrogênio associado aos minerais; N-MOP: nitrogênio da matéria orgânica particulada. MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Para o NT, não se observaram diferenças significativas na última profundidade (60-100). Na profundidade 0-10 e 10-20 cm a MTN apresenta os maiores estoques de NT, mas já quando a profundidade atende os 20-40 e 40-60 cm o SSP3 iguala-se estatisticamente com o sistema referência e na profundidade 40-60 cm a PDEG expõe os menores valores.

No nitrogênio da C-MAM, a MTN apresentou também os maiores estoques em todas as profundidades, mas na profundidade de 60-100 cm só diferiu estatisticamente dos sistemas LAVO e SSP5. O sistema LAVO apresentou os menores valores para esta característica em todas as profundidades. Porém, ao avaliar-se o N da matéria orgânica particulada, observou-se diferença significativa só na profundidade de 60-100 cm, onde contrário ao estoque de N da matéria orgânica associada aos minerais o sistema com os valores mais altos foi LAVO e os menores valores corresponderam para a MTN.

Ao avaliar no SSP5 os estoques de COT, C-MAM e compará-los com a MTN e o sistema LAVO, pode-se observar (Figura 7) que o sistema silvipastoril em 5 anos ainda não aportou significativamente C nas profundidades maiores a 20 cm. Isto permite inferir que o componente radicular do eucalipto precisa de um tempo maior para ter um aporte de carbono orgânico no solo. A entrada de C nas camadas mais profundas do solo está relacionada, principalmente, com o aporte do sistema radicular das plantas, liberação de exsudados radiculares, lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e transformação desses materiais carbonados pelos macro e microrganismos do solo (SILVA, 2007). Vários autores (SIQUEIRA et al.,1991; SILVA et al., 2004; RANGEL, 2006) relatam que a presença de espécies arbóreas altamente produtivas como o eucalipto nos sistemas, tem elevada adição de resíduos que nem sempre pode estar diretamente relacionada à incorporação a curto prazo do C na matéria orgânica do solo, pois a presença de altas concentrações de celulose, lignina e outros polifenóis, podem inibir a ação microbiana, retardando o processo de decomposição dos resíduos vegetais, fato que, por outro lado, favorece a manutenção de uma cobertura vegetal constante e elevada sobre o solo.

Por outro lado, ao observar os estoques de COT e C da matéria orgânica associada aos minerais nas camadas mais superficiais (Figura 7), encontra-se que este sistema teve aporte maior do que a LAVO, devido à somatória do aporte de serapilheira da árvore e da gramínea, e à renovação radicular da gramínea. Isto

permite acumulação de resíduos na superfície e oferece futura fonte de substrato para os microrganismos do solo, já que o carbono na superfície do solo é mais propenso às mudanças no uso da terra e outras perturbações do que no subsolo (VELDKAMP et al, 2003). Essa informação é confirmada ao observar os estoques de carbono lábil dos dois sistemas (Figura 12) onde o SSP5 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm ultrapassa os estoques desta fração quando comparado com a LAVO.

Em virtude de haver uma tendência de maiores valores de quantidades de carbono presentes nas cinco profundidades estarem nos sistemas menos perturbados, como no SSP3, PPRO e PDEG, espera-se que, com a adoção dos sistemas silvipastoris, nos próximos anos ocorra maior incremento na recuperação dos estoques de carbono orgânico.

A percolação de água pelo perfil do solo possibilita a entrada de C orgânico dissolvido para as camadas mais profundas (SILVA et al., 2007). Além disso, o carbono nas camadas mais profundas, também pode estar relacionado com alta infestação de plantas invasoras com raízes pivotantes durante vários anos, que após elas morrerem deixaram suas raízes no perfil do solo, servindo como aporte de carbono e/ou condutos para a percolação do carvão na forma mineral oriundo das queimadas. Haile et al. (2010) observaram aumentos de carbono em camadas profundas do solo em áreas com presença de árvores e arbustos. Isto pode explicar para a pastagem degradada os altos estoques de carbono na fração associada aos minerais para as camadas mais profundas (Figura 7) e o alto estoque de carbono não lábil (Figura 13).

A PDEG apresenta histórico diferente do resto dos sistemas, sendo um sistema com pouca perturbação do solo e com menor densidade do solo (Figura 4) junto com a MTN, o que facilita a entrada de C no perfil do solo. Resultados semelhantes encontrados por Mosquera et al. (2012) na Amazônia colombiana baseados em $\delta^{13}C$, indicam que após 30 anos de pastagem degradada, esta, ainda continha mais do 50% do C derivado da floresta nativa. A fração do solo que não é substituído coincide aproximadamente com a fracção de C estável. Os valores de $\delta^{13}C$ sugerem que as mudanças nos estoques de carbono atribuídas às mudanças no uso da terra, podem ser parcialmente herdadas do uso do solo anterior, confundindo assim a interpretação dos efeitos do uso da terra. No entanto, a introdução de pastos melhorados para a recuperação de pastagens degradadas é

uma alternativa viável do uso da terra, tanto para o sequestro de carbono e como uma alternativa econômica atraente para os pecuaristas.

No bioma cerrado, Braz et al. (2013) sob as pastagens degradadas, observaram que o C derivado da Braquiária foi achado apenas até a profundidade de 50 cm, o que pode ser explicado pela diminuição da produtividade da pastagem em virtude da falta de fertilizante de manutenção e excesso de lotação animal, o C do solo derivado da gramínea, começa a ser perdido e deixa de contribuir para o estoque de C do solo nas camadas mais profundas do que 50 cm (LIMA et al., 2015). O C estocado no sistema PDEG provavelmente ainda seja proveniente dos resíduos aportados pela mata antes da mudança no uso do solo. As mínimas atividades de revolvimento do solo contribuíram para que esse carbono permanecesse estocado no perfil do solo principalmente na fração não lábil (Figura 13). Embora o sistema PDEG era considerado degradado, é um sistema que consegue manter animais ao longo do ano, mesmo com pouca cobertura no solo. No caso de que nesta área se incorporasse algum tipo de integração ou consorcio, poderiam se repor e manter os estoques de carbono e nitrogênio no solo.

5.6 Estoques de Carbono orgânico total e nas frações particulada e associada aos minerais

O estoque de carbono orgânico total (COT) na camada de 0-100 cm foi influenciado pelo sistema de manejo e uso da terra (Figura 8). Nota-se que a MTN apresenta o maior estoque de COT com diferenças significativas ($P<0,05$) sobre os outros sistemas. Em segunda posição os sistemas SSP3 e PDEG tiveram exatamente o mesmo estoque de COT ($P>0,05$), seguidos pelo sistema PPRO. Os sistemas que evidenciaram os menores estoques de COT foram o SSP5 e a LAVO, sendo a LAVO o sistema com o menor valor.

Para as frações da matéria orgânica, a particulada não apresentou diferença significativa ($P>0,05$) entre sistemas, mas na fração MAM a MTN apresentou novamente o maior estoque diferindo significativamente ($P<0,05$) sobre os outros sistemas. É importante destacar que entre os sistemas SSP3 e PDEG houve diferença para esta característica, sendo maior o estoque na PDEG, mas sem diferenças significativas entre eles ($P>0,05$), isto revela que o COT da PDEG está mais associado à fração C-MAM do que à matéria orgânica particulada (C-MOP).

A PPRO apresentou valores intermediários e de maneira idêntica ao COT os menores estoques da fração MAM os apresentaram o SSP5 e a LAVO, sendo a LAVO o sistema com o menor valor.

A principal mudança no uso do solo que causou maiores prejuízos nos estoques de carbono foi a conversão do sistema em equilíbrio (MTN) para lavoura (representada pelo sistema LAVO), onde em 100 anos após o desmatamento houve uma perda de 35% do estoque de COT, enquanto a conversão de MTN em pastagens (representada pelo sistema PPRO) no mesmo período de tempo perdeu 21% do estoque de COT. Resultados semelhantes foram expostos por Don et al, (2011) argumentando que a conversão de floresta primária em lavouras causou perdas duas vezes maiores de COT (25%) do que a sua conversão em pastagens (12%).

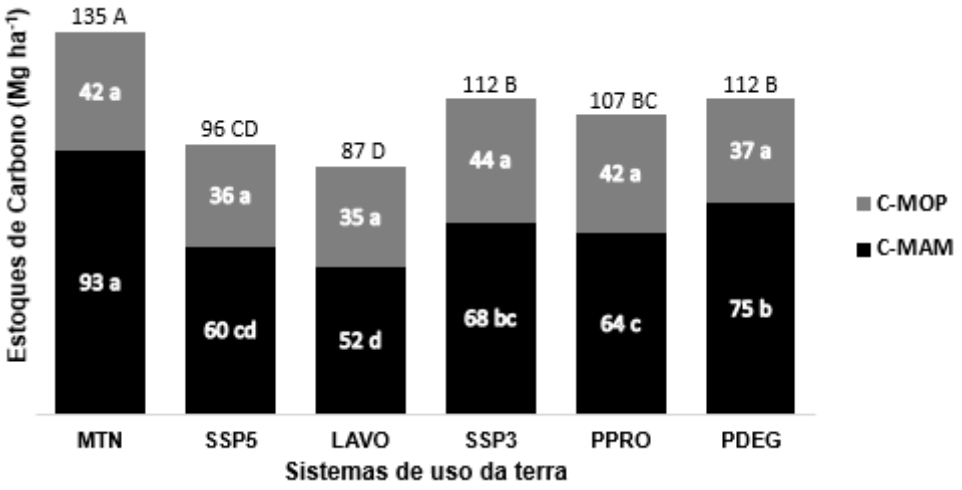


Figura 8. Estoque de carbono orgânico total, carbono da fração associada aos minerais e carbono da matéria orgânica particulada (Mg ha^{-1}) na camada de 0-100 cm do solo em diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras minúsculas iguais na mesma fração do solo não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). Letras maiúsculas iguais sobrepostas na coluna não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05) e representam o carbono orgânico total na camada de 0-100 cm. C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada; C-MAM: carbono associado aos minerais. MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Estudos conduzidos pela rede Agrogases da Embrapa no bioma da floresta Amazônica, permitiram que, se as pastagens forem conduzidas em manejos de fertilidade e de carga animal adequados, isso pode aumentar os estoques de C no solo em relação à floresta original. Se as pastagens, entretanto, não forem

adubadas, e as taxas de lotação animal altas, isso resultará na degradação das pastagens com a consequente redução dos estoques de C no solo em relação à floresta original (LIMA et al., 2015). Contrário a isto, os resultados achados neste estudo, demostraram que a área onde o sistema PPRO está implantado, embora tenha sido adubada durante dois anos, ao ser comparado com a MTN, é possível inferir (pela diferença dos estoques da MTN e a PPRO dividida o número de anos) que após o desmatamento ocorrido há 100 anos, a PPRO perdeu significativamente 0,28 Mg ha^{-1} ano.

Um estudo realizado por Campos (2003), no nordeste do Espírito Santo, avaliou áreas adjacentes de mata e pasto, conclui que após 22 anos de pastagem houve um aumento no estoque (0 -100 cm) de C do solo de 0,4 Mg ha^{-1} ano^{-1} em comparação com a mata original. A perda de carbono na área de PPRO objeto de discussão pode ter acontecido principalmente entre os anos 1915 e 1985 (Quadro 1), devido ao uso frequente do para "limpar" as pastagens. Isso resultou na degradação da área (altas perdas de matéria orgânica na forma de CO_2) até a implantação do Capim-Braquiária em 1985.

Embora existam poucos trabalhos sobre a influência do estabelecimento de pastagens e sistemas silvipastoris nos estoques de C no solo do bioma Mata Atlântica, Tarré et al (2001) avaliando a incorporação de C da pastagem pela análise da mudança da relação isotópica do C da matéria orgânica do solo ($^{13}C/^{12}C$), não encontrou nenhuma contribuição significativa do C derivado do capim-Braquiaria nas camadas abaixo de 40 cm em amostras retiradas a uma profundidade de 100 cm. Além disso, os autores estimaram que, em média, a taxa de acumulação de C no solo (0-100 cm) sob as pastagens consorciadas (*B. humidicola* com *Desmodium ovalifolium*) foi de 1,17 Mg ha^{-1} ano^{-1}, resultado semelhante ao achado neste estudo para o SSP5 que acumulou na mesma profundidade 1,63 Mg ha^{-1} ano^{-1} o que o corrobora a importância dos consórcios com leguminosas e pastagens que integrem o componente arbóreo no sistema para a recuperação dos estoques de Carbono orgânico do solo.

Silva et al. (2004), na estação experimental Embrapa Cerrados, comparando os estoques de C sob Cerrado e em 6 pastagens, consorciadas ou não com leguminosas, destacaram que somente as pastagens que receberam adubação com P e K e com baixas taxas de lotação animal acumularam quantidades significativas de C no perfil do solo. Como essas práticas de manejo são raramente

adotadas nessa região, concluíram que na maioria das vezes é pouco provável que os estoques de C sob pastagens de *Brachiaria* e outras sejam maiores do que sob a vegetação nativa.

O trabalho realizado por Campos (2003), citado anteriormente, em uma área com histórico parecido à pastagem degradada (Quadro 1), onde após o desmatamento foi mantida sob pastagem por 10 anos e posteriormente cultivada com cana-de-açúcar por 12 anos, observaram na profundidade de 0-100 cm de um Latossolo com 80% de areia, redução dos estoques de C da cultura quando comparada com áreas adjacentes de pastagem e mata nativa. Eles atribuem ás perdas às renovações que foram em intervalos de cinco anos, demonstrando que, as operações de cultivo e queima da cana, acarretam perdas significativas no estoque de C do solo.

5.7 Variação no estoque de carbono orgânico total e de CO_2 equivalente

Com o fim de facilitar a interpretação dos resultados do estoque de carbono no solo, foi realizada a diferença dos estoques de COT e a emissão de CO_2 equivalente em relação a área referencial de MTN (Figura 9). Para verificar o balanço de CO_2 foi considerado o fator de correção de 3,67 adotado por Rangel e Silva (2007). Esse parâmetro permite avaliar se o solo está armazenando ou emitindo C-CO_2 para atmosfera (FORTIN et al., 1996; BAYER et al., 2000; ROCHA, 2000).

De modo geral todos os sistemas atuaram como emissores de CO_2 após o desmatamento há 100 anos, mas ao verificar o histórico (Quadro 1) observa-se que os sistemas SSP5 e SSP3 estão desempenhando um papel de sequestradores (armazenadores) de carbono, pois o SSP5 e a LAVO apresentam um histórico muito parecido antes da implantação do sistema silvipastoril, uma vez que a área era utilizada para os mesmos fins. Com isto, reconhece-se que na conversão de uma área de lavoura com manejo convencional nas condições edafo-climaticas avaliadas foram acumuladas no solo 1,63 Mg C ha^{-1} ano^{-1}, o que equivale a estocar no solo 29 Mg ha^{-1} de CO_2 atmosférico em cinco anos. Uma situação similar acontece com o SSP3 e PPRO que antes da implantação possuíam exatamente o mesmo manejo, dessa forma comprova-se que a mudança de uma pastagem de Capim-Braquiária em monocultivo para um sistema silvopastoril pode acumular no

solo 1,89 Mg C ha^{-1} ano^{-1}, o que equivale a estocar 21 Mg ha^{-1} de CO_2 atmosférico em três anos. Estudos recentes (ADEWOPO et al, 2014) mostraram após 22 anos da conversão de pastagens nativas em sistema silvipastoril, aumentos na taxa de sequestro de carbono do solo de 0,88 Mg ha^{-1} ano^{-1}.

Já o sistema de PDEG que apresentou balanço de carbono similar ao SSP3, indica que, embora sejam áreas adjacentes, seus históricos de uso e manejo da terra diferem, o que concede a probabilidade que manejos inadequados da pastagem não sejam tão prejudiciais para os estoques de COT do solo quanto os sistemas de lavoura convencional.

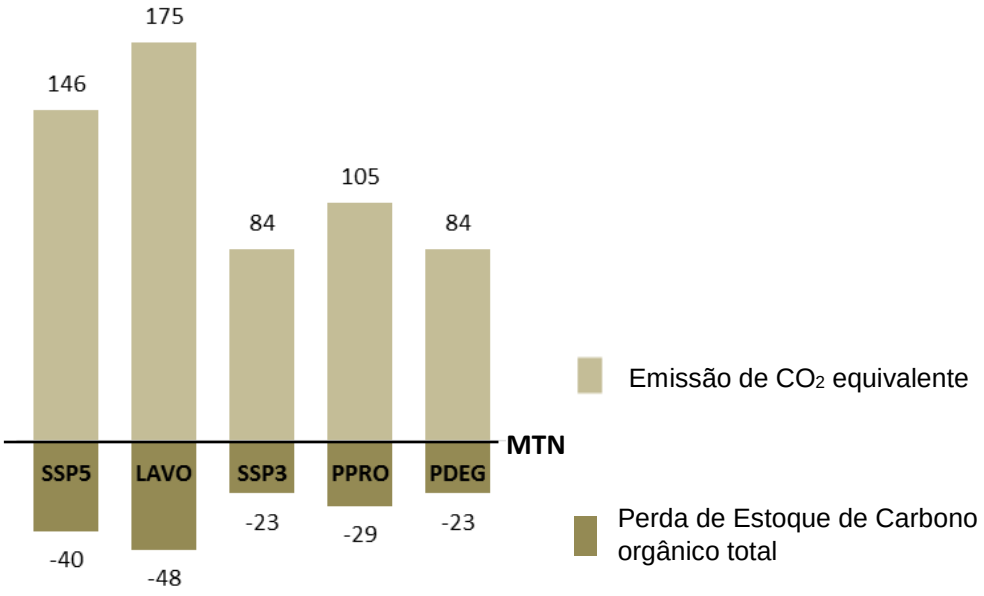


Figura 9. Variação nos estoques de carbono orgânico total do solo e emissão de CO_2 equivalente (Mg ha^{-1}) na camada de 0-100 cm do solo em diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. MTN: mata nativa (Referencia); SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Quando o uso da terra é alterado, o estoque de C começa a mudar até que um novo equilíbrio seja alcançado. O novo estado de equilíbrio do C do solo é atingido quando a taxa de decomposição do C orgânico é igual à taxa de entrada de C na forma de resíduos vegetais como é o caso da MTN. O ponto de equilíbrio é difícil de estimar devido à influência de fatores como a recalcitrância cada vez maior da fração remanescente não decomposta e à regulação da quantidade e diversidade do componente biológico do solo que é fortemente dependente da

oferta de substrato (LIMA et al., 2015). No entanto, até a data de coleta das amostras deste estudo, nenhum dos sistemas atuais de uso da terra atingiu o equilíbrio nos estoques de C e N.

Diferentes pesquisas têm mostrado que é possível alcançar um equilíbrio no período de 3 a 10 anos (DAVIDSON e ACKERMAN, 1993; FELLER e BEARE, 1997; HOUGHTON, 1999). Outros estudos reportaram entre 20 e 40 anos (RIEZEBOS e LOERTS, 1998;. SA et al, 2001;. CERRI et al, 2007;. SOLOMON et al, 2007; DON et al, 2011). Neste estudo, o período de tempo médio estimado para os SSP5 e SSP3 igualarem a MTN (se continuassem estocando o que estocaram até agora por ano) é de 18 anos aproximadamente.

Com isso, torna-se necessário um cuidado no manejo dos sistemas, uma vez que os vários revolvimentos para o preparo do solo aceleram o processo de oxidação e perda de carbono orgânico, o que evidencia a importância da adequação dos sistemas de manejo na redução da emissão de CO_2 para a atmosfera. Dessa forma, o manejo adequado para conservação do solo e produtividade das culturas deve ter como premissa a utilização de métodos de preparo mínimo ou nenhum revolvimento do solo e sistemas que incluam plantas com alta produção de resíduos (DAS NEVES et al., 2004).

5.8 Estoques de Nitrogênio total e nas frações particulada e associada aos minerais

Com relação ao estoque de nitrogênio total na profundidade de 0-100 cm apresentado na figura 10, dois sistemas (MTN e SSP3) apresentaram os maiores estoques sem diferença significativa entre eles ($P>0,05$). A MTN apresentou diferença significativa ($P<0,05$) com os demais sistemas que apresentaram valores próximos.

Na fração da matéria orgânica particulada houve diferença significativa ($P<0,05$) entre sistemas, e a LAVO mostrou o maior estoque. Os sistemas SSP5, SSP3, PPRO tiveram valores intermediários, e os menores estoques corresponderam a MTN e PDEG.

A fração associada aos minerais diferiu da particulada, mas também apresentou diferença significativa ($P<0,05$) entre sistemas. A MTN teve o maior estoque diferençando-se dos demais sistemas, e a LAVO o menor estoque também com diferença significativa quando comparado com os outros.

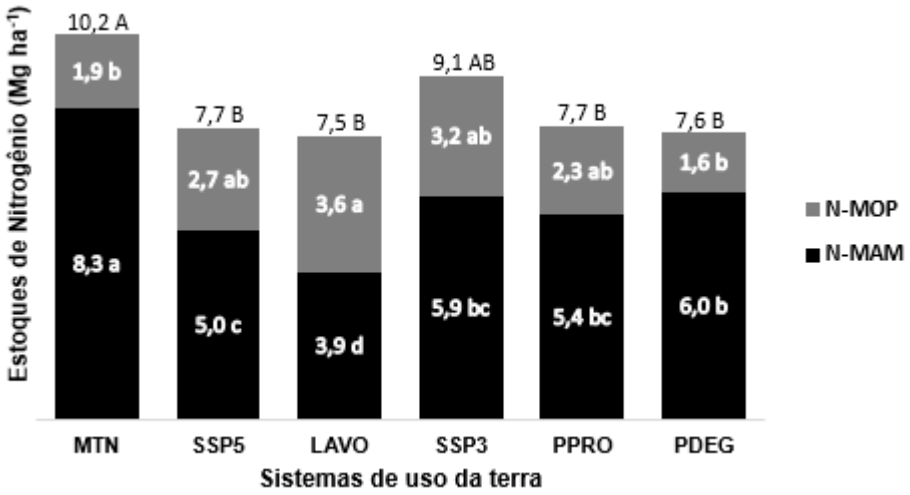


Figura 10. Estoque de nitrogênio total, nitrogênio da fração associada aos minerais e nitrogênio da matéria orgânica particulada (Mg ha^{-1}) na camada de 0-100 cm do solo em diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras minúsculas iguais na mesma fração do solo não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). Letras maiúsculas iguais sobrepostas na coluna não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05) e representam o nitrogênio total na camada de 0-100 cm. C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada; C-MAM: carbono associado aos minerais. MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

De todos os sistemas avaliados, a LAVO é o mais adubado. O N utilizado na adubação deste sistema, tem sua origem no fertilizante que é aplicado há 6 anos no sistema. Apesar disso não foram observados neste sistema maiores estoques em nenhuma das profundidades. Provavelmente isto aconteceu devido à perturbação regular do solo durante o plantio e colheita que aumenta o contato dos resíduos vegetais com o solo, e que associado às alterações dos regimes hídrico e térmico e ao aumento no uso de fontes minerais de nitrogênio, aumenta a taxa de decomposição do C do solo (LIMA et al., 2015). Estudos revelaram correlação positiva entre estoques de N e C em solos em todo o mundo (ANAYA e HUBER-SANNWALD, 2015; CHERUBIN et al, 2015). Segundo Wieder et al. 2015, baixos estoques de N é um dos principais fatores que limitam o sequestro de C.

5.9 Teores de carbono lábil e não lábil

Os teores de carbono lábil foram afetados de modo significativo pelos sistemas de uso do solo em todas as profundidades avaliadas (Figura 6). O sistema referência (MTN) obteve os maiores valores em todas as profundidades, e

novamente a LAVO de milho apresentou os menores valores, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (0-20 cm).

Em contraste a isto o sistema LAVO nos teores de carbono não lábil, apresenta os maiores valores nas camadas mencionadas anteriormente. No caso de carbono não lábil, a MTN mostrou valores intermediários. De forma similar ao sistema LAVO, a PDEG apresenta baixos teores de carbono lábil e altos teores de carbono não lábil. Isto pode ser explicado pela alta deposição de esterco animal nesta área, oriunda de pastejo em lotação continua. O esterco apresenta elevada proporção de materiais recalcitrantes, pois os compostos lábeis são seletivamente removidos no processo de digestão (PAUSTIAN e al., 1997).

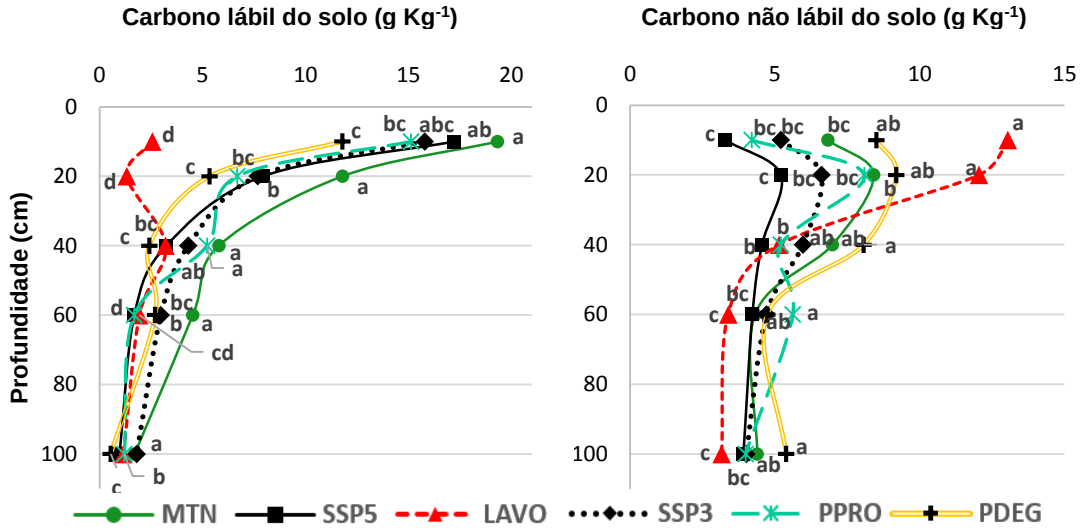


Figura 11. Teores de carbono lábil e não lábil em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

5.10 Estoques de Carbono lábil em profundidade

Houve variação nos estoques de carbono lábil e não lábil, entre os sistemas de uso e manejo do solo, independentemente da camada considerada (Figuras 11 e 12). Na figura 12, o sistema MTN, propiciou maior estoque de C lábil total na camada de 0-100 cm do que os outros sistemas e da mesma maneira a LAVO obteve um estoque muito abaixo dos demais sistemas (P<0,05). Ao comparar o SSP5 com a LAVO (que possuem um histórico similar antes da implantação do sistema silvipastoril) observou-se diferença significativa entre eles (45 a 23 Mg ha^{-1} respectivamente). Entre o SSP3 e PPRO não houve grandes variações (P>0,05),

mas ao compara-los com a PDEG, constatou-se diferença significativa (P<0,05), tendo o PDEG um menor estoque.

Nas cinco profundidades, quando cada uma foi comparada com a mesma camada dos outros sistemas, acharam-se diferenças significativas (P<0,05). De forma geral, observaram-se padrão muito parecido à camada 0-100 cm, onde os maiores estoques de carbono lábil encontraram-se nas camadas mais superficiais (independente da menor espessuras), com exceção do sistema LAVO que nas camadas 0-10 e 10-20 cm apresentou estoques muito baixos (P<0,05) quando comparadas com os outros sistemas.

Solomon et al. (2007) relatam que uma parte importante da mudança total do COT ocorre durante os primeiros anos após o desmatamento, indicando que esses solos contêm grandes quantidades de carbono lábil, potencialmente vulneráveis à degradação pelas alterações do uso do solo induzidas pelo homem, e neste estudo essa afirmação pode ser verificada com os altos estoques de Carbono Lábil na MTN (Figura 12). No entanto, comprovou-se que é possível aumentar significativamente em períodos de três a cinco anos estes estoques principalmente nas camadas mais superficiais quando foram comparados sistemas de uso da terra com históricos similares (SSP5-LAVO e SSP3-PPRO) mediante a implantação de sistemas silvipastoris.

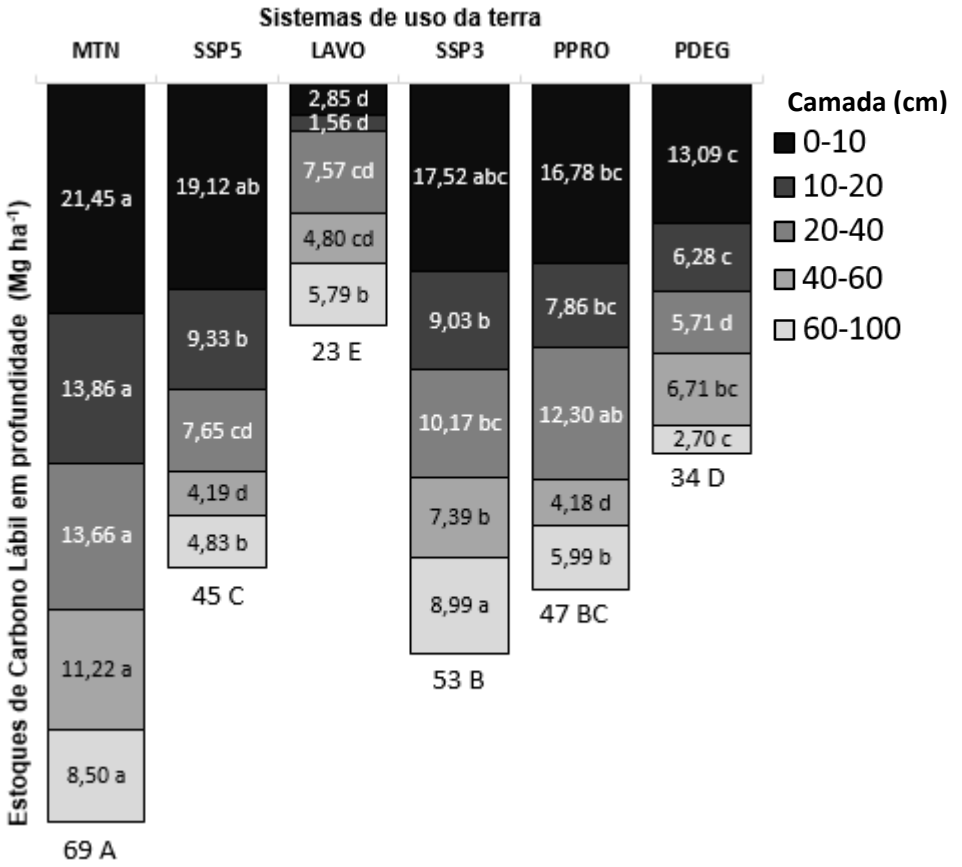


Figura 12. Estoque de carbono lábil do solo em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras minúsculas iguais na mesma fração do solo não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). Letras maiúsculas iguais na parte inferior das colunas não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05) e representam o carbono lábil ou não lábil na camada de 0-100 cm. MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

5.11 Estoques de Carbono não lábil em profundidade

No caso dos estoques de C não lábil (Figura 13), e contrário ao encontrado nos estoques de carbono lábil, o sistema PDEG para a camada de 0-100 cm apresentou o maior valor sem diferença significativa (P>0,05) com os sistemas MTN e LAVO. Ao avaliar o Carbono não lábil em profundidade, para quase todos os sistemas esteve distribuído nas diferentes camadas, lembrando que as camadas mais profundas possuem uma espessura maior e só se comparou entre sistemas e não entre profundidades de um mesmo sistema. Contrário aos estoques de carbono lábil (Figura 12), o sistema LAVO apresentou os maiores estoques de carbono não lábil nas profundidades 0-10 e 10-20 cm e do mesmo modo, o PDEG o maior valor na profundidade 60-100 cm.

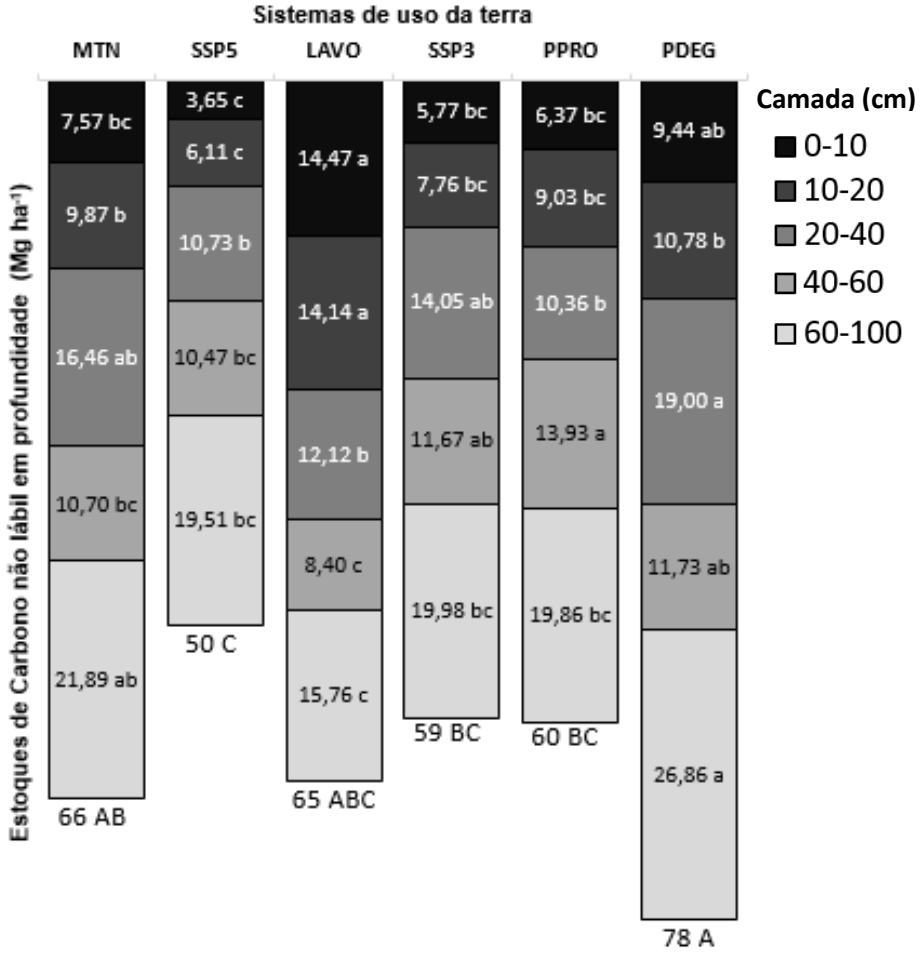


Figura 13. Estoque de carbono não lábil do solo em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras minúsculas iguais na mesma fração do solo não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). Letras maiúsculas iguais na parte inferior das colunas não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05) e representam o carbono lábil ou não lábil na camada de 0-100 cm. MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Na Figura 14 observa-se a distribuição porcentual dos estoques de carbono lábil e não lábil na profundidade de 0-100 cm. A fração de carbono orgânico lábil representa um componente biologicamente ativo da matéria orgânica do solo, sendo constituinte de compostos orgânicos mais rapidamente mineralizados em reações catalisadas por enzimas do solo, de origem microbiana e, portanto, diretamente associado à liberação de CO_2 para atmosfera. Além disso, os teores de carbono lábil são mais sensíveis às alterações no ambiente e apresentam maiores amplitudes de variações em relação aos de carbono orgânico total no solo (POWLSON et al., 1987), sugerindo sua maior aplicabilidade para detecção de

impactos de sistemas de manejo, relacionados à qualidade do solo e emissões antropogênicas de CO_2 para a atmosfera. Por isto, em qualquer sistema de uso da terra, é importante manter um balanço entre os estoques de carbono lábil e não lábil tal como é verificado no sistema referência (MTN) onde a proporção entre as frações é próxima a 50/50. Hoyle et al. (2016) afirmaram que quando o solo possui o 50% da sua matéria orgânica total na fora de reservatório lábil, é um solo biologicamente mais ativo e com maior potencial para a utilização de nutrientes.

É possível então conferir que em sistemas de uso da terra tais como SSP3 e SSP5 que utilizam práticas de manejo mais conservacionistas, a proporção está próxima à MTN (Figura 14), levando em consideração que entre estes dois, o sistema mais antigo só tem 5 anos, o que comprova a capacidade dos sistemas silvipastoris em manter e aumentar o componente biologicamente ativo do solo similar às condições naturais. Com esse mesmo raciocínio e próximo dos valores apresentados pelos sistemas silvipastoris, a PPRO mostrou que atividades de manejo adequadas do pastejo, tais como entrada e saída dos animais no piquete levando em consideração a altura do pasto, taxas de lotação conforme à disponibilidade de forragem, ajudam a manter essa fração lábil cuja principal função é o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e C aos microrganismos do solo (SILVA; MENDOÇA, 2007). Os sistemas LAVO e PDEG mostraram a menor proporção de carbono lábil com respeito ao carbono não lábil, sendo mais marcada a diferença na LAVO devido ao tipo de manejo dado nestes sistemas ao longo dos anos. É factível que esse carbono não lábil fique estocado por muito mais tempo, mas considerando o solo como um todo, é necessário levar em consideração a proporção lábil que vai favorecer o crescimento da biomassa aérea e radicular, e nos próximos anos maiores estoques de COT (JANZEN et al., 1992).

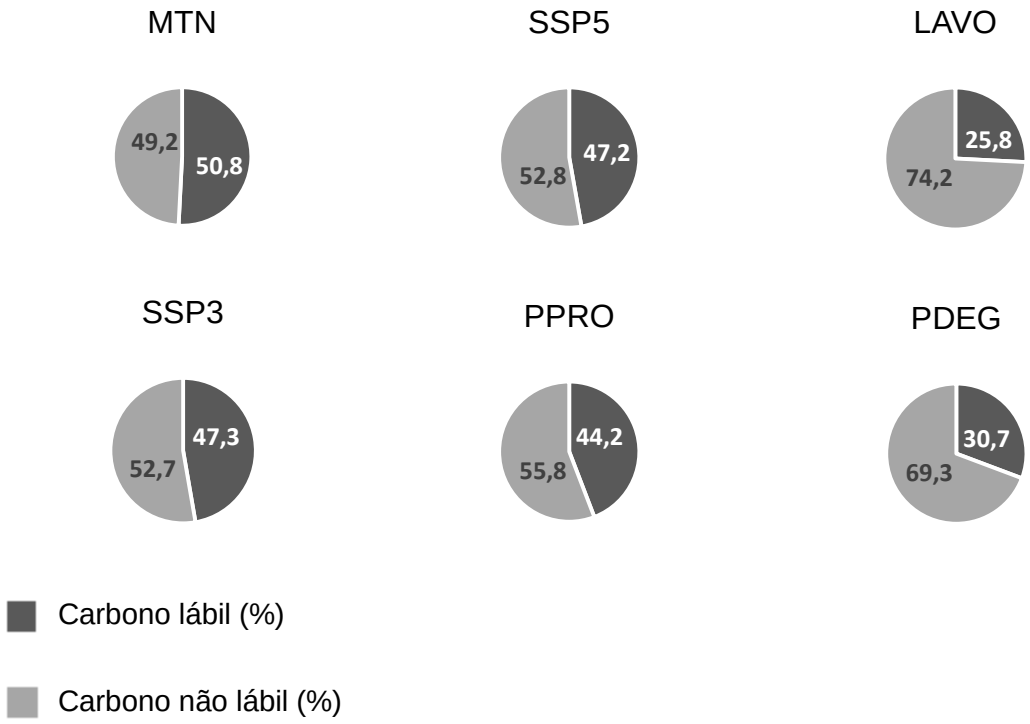


Figura 14. Distribuição percentual dos estoques de carbono lábil e carbono não lábil na profundidade de 0-100 cm do solo em diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

5.12 Índice de Manejo do Carbono do solo por diferentes métodos

O índice de manejo de carbono (IMC), sugerido por Blair et al. (1995) e Vieira et al. (2007), leva em consideração aspectos da labilidade da MOS e permite comparar as mudanças que ocorrem no C orgânico total e no C lábil, em consequência do uso e manejo do solo. O fato dos sistemas de manejo mostrarem IMC superiores ou igual ao da mata nativa (100), que representa o sistema de referência, evidenciam a capacidade desses sistemas de melhorar a qualidade do solo e promover sustentabilidade de agroecossistemas em regiões tropicais (Blair et al., 1995).

O IMC é utilizado para avaliar o impacto dos sistemas de manejo a longo prazo no equilíbrio solo-planta-atmosfera (Diekow et al., 2005). Esse índice expressa a qualidade do solo, sendo os maiores valores traduzidos em superioridade física, química e biológica do sistema. Foi proposto inicialmente por

Blair et al. (1995) e, posteriormente adaptado por Diekow et al. (2005) ao separar o carbono lábil por fracionamento físico ao invés da oxidação química com permanganato de potássio. Desse modo, neste trabalho estimou-se o IMC pelos dois métodos (Tabela 3) na profundidade de 0-100 cm. Foi encontrada diferença significativa (P<0,05) somente no método proposto por Blair et al. (1995) que utiliza o carbono lábil pela via permanganato.

Tabela 3. Índice de manejo do carbono por dois métodos na profundidade de 0 a 100 cm do solo sob diferentes condições de uso da terra.

IMC	Sistemas de uso da terra						
0-100 cm	**MTN**	**SSP5**	**SSP3**	**PPRO**	**PDEG**	**LAVO**	***P-valor***
C-Lábil vía Permanganato[a]	100 a	71,54 b	68,59 b	58,74 b	35,08 c	12,16 d	*<.0001*
MOP vía Fracionamento Físico[b]	100	103,90	80,20	84,77	103,85	101,69	*0.2893*

[a] Índice de manejo do carbono na profundidade de 0-100 cm do solo utilizando o carbono lábil pela via permanganato; [b] Índice de manejo do carbono na profundidade de 0-100 cm do solo utilizando a fração matéria orgânica particulada. Letras iguais dentro do mesmo método de estimação do índice de manejo do carbono não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Observa-se que o método proposto por Diekow et al. (2005) que utiliza os estoques da fração particulada da matéria como carbono mais lábil, não seria o mais adequado para as condições deste experimento, porque superestima os valores principalmente em alguns sistemas de uso e manejo da terra, devido a que nem toda matéria orgânica particulada pode ser considerada lábil. Os resultados demostram que a estimação do carbono lábil pela via permanganato é uma opção mais sensível para a determinação do índice de manejo de carbono.

5.13 Índice de Manejo do Carbono do solo em profundidade

A avaliação do índice de manejo do carbono (IMC) em profundidade foi realizada com base no método proposto por Blair et al. (1995) e os sistemas comparados tomando a área de mata nativa como referência, ou seja, IMC igual a 100%. Podemos observar na figura 15 a variação nos valores de IMC em

profundidade no solo, onde os resultados mais elevados significam qualidade do solo superior entre as áreas estudadas.

Na camada de 0-10 cm observa-se superioridade (P<0,0001) do IMC no SSP5 em relação às demais áreas avaliadas exceto com a MTN com a qual não teve diferença significativa. Os sistemas PPRO e SSP3 tiveram valores intermediários e o menor IMC foi para a LAVO seguido pelo PDEG. Um padrão de resposta similar foi observado na camada 10-20, embora o SSP5 não tenha apresentado valor superior, se mantem sem diferença significativa com a MTN. O alto IMC do SSP5 é reflexo da acumulação de carbono lábil desde sua implantação, causada pela maior deposição de resíduos que seu sistema historicamente homólogo (LAVO). Freitas et al. (2013), considerando a deposição de serapilheira da forrageira e do componente arbóreo, observaram maiores valores de IMC em sistema agroflorestal quando comparado com monocultivo de pasto.

Para a profundidade de 20-40 cm o sistema PPRO apresentou um IMC igual ao da MTN (100). Os outros sistemas tiveram IMC menores, sendo a PDEG o sistema que evidenciou o menor valor. Essa superioridade da pastagem produtiva sobre a maioria dos sistemas nesta profundidade, pode ser explicada pelo manejo do pasto nesta área, onde a altura de entrada dos animais (lotação intermitente) é maior conforme ao recomendado pela EMBRAPA (DA COSTA e DE QUEIROZ, 2013) para a espécie *Brachiaria decumbens.* Essa maior altura do pasto favorece melhor desenvolvimento radicular da planta e renovação radicular. Em trabalho recente, Da Silva et al. (2014) constataram que a manutenção de maiores alturas do pasto aumenta a deposição de carbono no solo elevando, consideravelmente, o IMC.

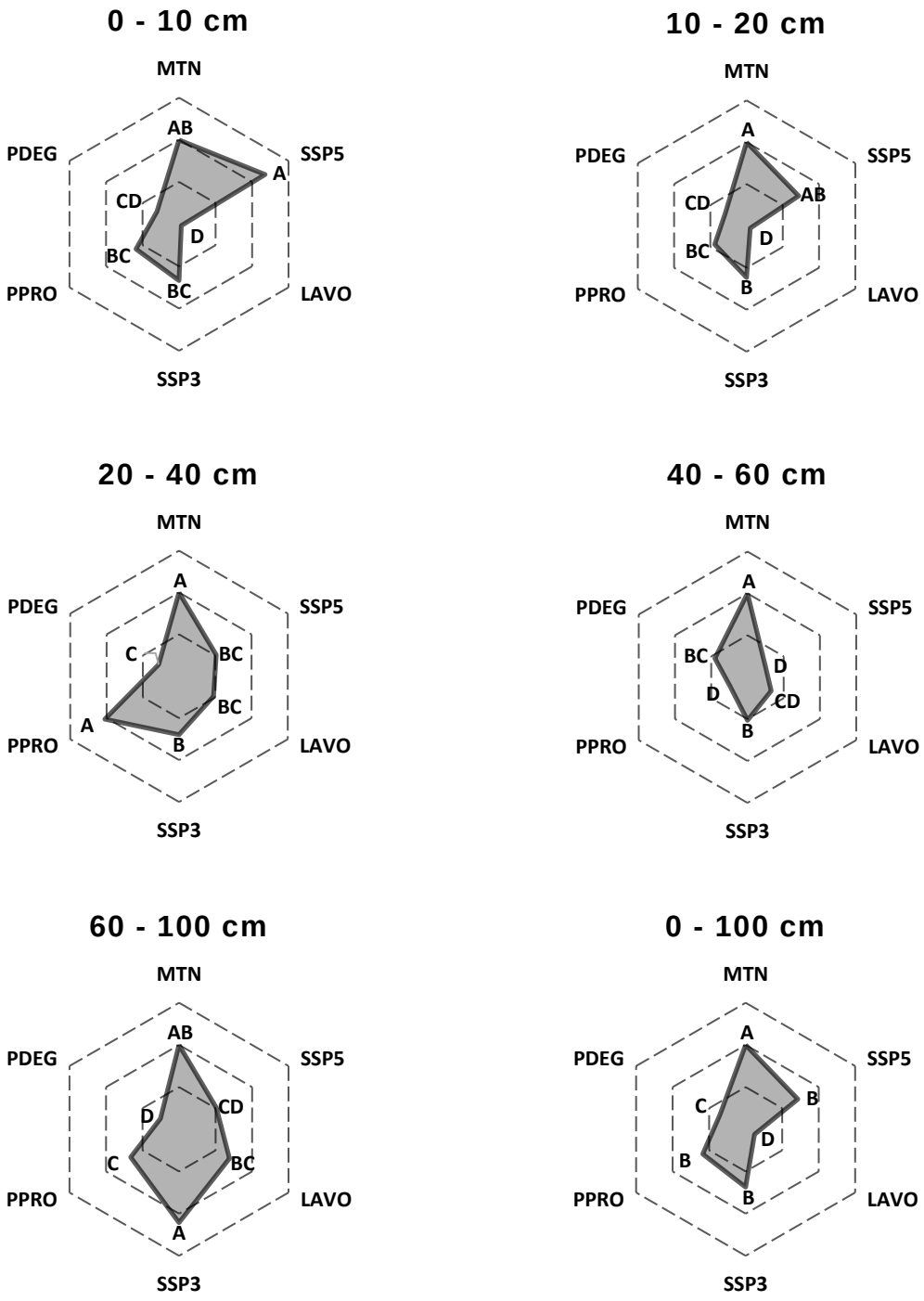


Figura 15 Índice de manejo do carbono no solo nas diferentes profundidades e sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG. Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

No intervalo de 40-60 cm de profundidade observaram-se em quase todos os sistemas menores valores de IMC com respeito à camada anterior (20-40 cm). Somente a PDEG manteve um valor similar. Na camada mais profunda (60-100 cm) o SSP3 destacou-se com o maior valor, mas sem diferença significativa com a MTN e o menor valor foi obtido pelo PDEG. O alto IMC do SSP3 pode estar relacionado com o aporte de carbono lábil por parte das raízes do eucalipto, que nesta idade, já devem ter ultrapassado um metro de profundidade e por não ter adubação superficial, seu sistema radicular explora melhor o solo. A causa de que o SSP5 tenha apresentado um IMC baixo nesta profundidade, uma vez que é mais antigo do que o SSP3, pode estar relacionado além de um histórico com alta perturbação do solo, também com o desenvolvimento radicular superficial do eucalipto plantado devido às adubações nitrogenadas nesta área.

De forma geral e avaliando o IMC total na profundidade de 0-100 cm, nenhum dos sistemas apresentou um IMC superior ou igual à MTN. Os sistemas SSP5, SSP3 e PPRO que preconizam a cobertura do solo, apresentaram valores intermediários e similares entre eles. O menor valor ($P<0,0001$) foi observado para o sistema LAVO, seguido pela PDEG, onde o solo destes sistemas permanece descoberto parcial ou totalmente em algumas épocas do ano. Lima et al. (2015) indicaram que presença dos resíduos vegetais na superfície do solo tem grande importância na redução dos processos erosivos do solo, na preservação da umidade e no regime térmico do solo, reduzindo a ocorrência de altas temperaturas.

6. Conclusões

A densidade do solo aumenta significativamente com o alto trafego de maquinaria em profundidades maiores a 40 cm.

Lotação animal continua em pastagens degradadas compacta o solo só nas camadas superficiais (0-20 cm).

A correção dos estoques de C para a mesma massa de solo é importante para uma avaliação mais realista quanto aos impactos de atividades antrópicas sobre os estoques de C do solo em relação a uma área de referência.

Quando comparados com a mata nativa, os demais sistemas desempenharam um papel de emissores de C-CO_2, mas os sistemas silvipastoris atuaram como sequestradores de carbono desde sua implantação quando comparados com áreas que tem históricos similares.

A estimativa do índice de manejo de carbono do solo utilizando o carbono lábil pela via permanganato de potássio, é mais sensível para detectar as alterações de uso e manejo no solo do que o C particulado, obtido via fracionamento físico.

Sistemas que preconizam a cobertura do solo como os sistemas silvipastoris e a pastagem produtiva, apresentam maior estoque de carbono lábil no perfil do solo, assim como maiores índices de manejo do carbono do solo quando comparados com áreas de lavoura convencional de milho e pastagem degradada.

7. Referências

ADEWOPO, J. B., SILVEIRA, M. L., XU, S., GERBER, S., SOLLENBERGER, L. E., & MARTIN, T. A. Management intensification impacts on soil and ecosystem carbon stocks in subtropical grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, v. 78, n. 3, p. 977-986, 2014.

AGUILAR, R.; KELLY, E.F.; HEIL, R.D. Effects on cultivation on soils in northern Great Plains rangeland. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1081-1085, 1988.

ALVES, M.C. & SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas-DOI: 10.4025/actasciagron. v26i1. 1953. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2008.

ANAYA, C. A.; HUBER-SANNWALD, E. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics after conversion of tropical forest to traditional sugarcane agriculture in East Mexico. **Soil and Tillage Research**, v. 147, p. 20-29, 2015.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, cap. 2, p. 9-26, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO2. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, jul./set. 2000.

BELL, L. W., KIRKEGAARD, J. A., SWAN, A., HUNT, J. R., HUTH, N. I., & FETTELL, N. A. Impacts of soil damage by grazing livestock on crop productivity. **Soil and Tillage Research**, v. 113, n. 1, p. 19-29, 2011.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for

agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.46, p.1459‑1466, 1995.

BRAZ, S.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; GUIMARAES, A. P.; BODDEY, R. M. Mudanças nos estoques do carbono do solo dos cerrados cultivados com pastagens de braquiária. In: REUNIAO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇAO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. **Anais**... Teresina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 1 CD-ROM.

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, D. V. Uso da técnica de 13C e fracionamento físico da matéria orgânica em solos sob cobertura de pastagens e cana-de-açúcar na região da Mata Atlântica. **Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 2003.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGEL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p.342-349, 2009.

CASTRO FILHO, C.; VIEIRA, M. J.; CASÃO JÚNIOR, R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. **Soil Tillage**, Amsterdam, v. 20, p. 271-283, 1991.

CERRI, C. E. P., EASTER, M., PAUSTIAN, K., KILLIAN, K., COLEMAN, K., BERMOUX, M., ... & CERRI, C. C. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 122, n. 1, p. 58-72, 2007.

CHERUBIN, M. R., FRANCO, A. L. C., CERRI, C. E. P., DA SILVA OLIVEIRA, D. M., DAVIES, C. A., & CERRI, C. C. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils—Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 211, p. 173-184, 2015.

CHUNG, H.; GROVE, J. H.; SIX, J. Indications for soil carbon saturation in a temperate agroecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 1132-1139, 2008.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E. D.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 425-432, 1999.

CULMAN, S. W.; SNAPP, S. S.; FREEMAN, M. A.; SCHIPANSKI, M. E.; LAL, R.; BENISTON, J.; DRINKWATER, L. E.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLOVER, J. D.; GRANDY, A. S.; SIX, J.; LEE, J.; MAUL, J. E.; MIRKSY, S, B.; SPARGO, J. T.; WANDER, M. M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. **Soil Science Society of America Journal**, vol. 76, no 2, p. 494-504**,** 2012.

DA COSTA, J. A. A.; DE QUEIROZ, H. P. Régua de manejo de pastagens. **Embrapa Gado de Corte-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2013.

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

DAS NEVES, C. M. N., SILVA, M. L. N., CURI, N., MACEDO, R. L. G., & TPKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciênc. agrotec., Lavras**, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, set.out., 2004

DAVIDSON, E. A.; ACKERMAN, I. L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. **Biogeochemistry**, v. 20, n. 3, p. 161-193, 1993.

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

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks–a meta-analysis. **Global Change Biology**, vol. 17, no 4, p. 1658-1670, 2011.

FAO. Forestry Paper, Vol. 147, FAO, Rome, 2006.

FELLER, C; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 1, p. 69-116, 1997.

FERNANDES. F. A.; FERNANDES, A .H. B. M. Atualização dos métodos de cálculo de estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo. Corumbá: Embrapa Pantanal, **(Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 95)**, 5 p, 2013.

FIELD, C. B., BARROS, V. R., DOKKEN, D. J., MACH, K. J., MASTRANDREA, M. D., BILIR, T. E., ... & GIRMA, B. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.

FORTIN, M. C.; ROCHETTE, P.; PATTEY, E. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no tillage small-grain cropping systems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 60, p. 1541- 1547, 1996.

FREITAS, E. C. S. D., OLIVEIRA NETO, S. N. D., FONSECA, D. M. D., SANTOS, M. V., LEITE, H. G., & MACHADO, V. D. Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em Sistema Agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. 2013.

HAILE, S. G.; NAIR, V. D.; NAIR, P. R. Contribution of trees to carbon storage in soils of silvopastoral systems in Florida, USA. **Global change biology**, v. 16, n. 1, p. 427-438, 2010.

HART, S.C.; NASON, G.E.; MYROLD, D.D.; PERRY, D.A. Dynamics of gross nitrogen transformations in an old‑growth forest: the carbon connection. **Ecology**, v.75, p.880‑891, 1994.

HOPPE, J.M. et al. Estimativa de biomassa em povoamento de ***Platanus*** x ***acerifolia*** (Aiton) Willd. estabelecido no município de Dom Feliciano, RS. **Ciência Florestal**, v.16, p. 463-471, 2006.

HOUGHTON, R. A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850–1990. **Tellus B**, v. 51, n. 2, p. 298-313, 1999.

HOYLE, F. C.; MURPHY, D. V, SHEPPARD, J. Labile carbon. **Fact Sheets**. Disponível em: <”http://www.soilquality.org.au/factsheets/labile-carbon”>. Acessado 28 de junho de 2016.

JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R; ZOTARELLI, L.; BODEY, R. M.; URQUIAGA, S. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo de solo. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases do efeito estufa**. Porto Alegre: Embrapa Agrobiologia, p.35-57, 2006.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D.V. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Effect of tillage intensity on carbon stocks under a soybean based crop rotation in the Brazilian Cerrado. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, NL, v. 85, p. 97-109, 2007.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A; LAFOND, G. P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction onganic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p. 1799-1806, 1992.

JANZEN, H.H. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? Soil Biol. Biochem., 38:419-424, 2006.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin América. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C. E. P. (Ed.). **Carbon sequestration in soils of Latin America.** New York: Howarth, p. 49-64, 2006.

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

LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J.; ALMEIDA, P. L.; URQUIAGA, S. Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. 3. ed. **rev- Brasília, DF: Embrapa**, 2015.

MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI,C. C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia. **Geoderma**, v. 70, p. 63-81, 1996.

MOSQUERA, O., BUURMAN, P., RAMIREZ, B. L., & AMEZQUITA, M. C. Carbon stocks and dynamics under improved tropical pasture and silvopastoral systems in Colombian Amazonia. **Geoderma**, v. 189, p. 81-86, 2012.

NEELY, C.; BUNNING, S.; WILKES, A. Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change. Rome: **FAO**, 2009.

PAUSTIAN, K.; ANDRÉN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; Van NOORDWIJK, M. & WOOMER, P. Agricultural soils as a sink to mitigate CO2 emissions. **Soil Use Manag**., 13:230-244, 1997.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.19, n.2, p.159-164, 1987.

RANGEL, O. J. P. Estoque e frações da matéria orgânica e suas relações com o histórico de uso e manejo de Latossolos. 2014.

REICHERT, J.M.; REINER T, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. R. Ci. Amb., 27:29-48, 2003.

RIEZEBOS, H. T; LOERTS, A. C. Influence of land use change and tillage practice on soil organic matter in southern Brazil and eastern Paraguay. **Soil and Tillage Research**, v. 49, n. 3, p. 271-275, 1998.

ROCHA, M. T. Aquecimento e o seqüestro de carbono em projetos agroflorestais. **Revista Ecologia**, Rio de Janeiro, n. 151, 2000.

SA, J. C. D. M, CERRI, C. C., DICK, W. A., LAL, R., VENSKE FILHO S. P, PICCOLO, M. C. FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.

SCHMIDT, Michael WI et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011.

SILVA, I. R. D., NOVAIS, R. F. D., BARROS, N. F. D., & SILVA, E. F. D. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.10-20, 2004a.

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

SILVA, J. E, DA; RESCK, D. V. S., CORAZZA, E. J., & VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 103, n. 2, p. 357-363, 2004b.

SILVA, R.B.; DIAS JUNIOR, M.S.; SILVA, F.A.M. & FOLE, S.M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:973- 983, 2003.

SIQUEIRA, J. O., NAIR, M. G., HAMMERSCHMIDT, R., SAFIR, G. R., & PUTNAM, A. R. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 10, n. 1, p. 63-121, 1991.

SOLOMON, D., LEHMANN, J., KINYANGI, J., AMELUNG, W., LOBE, I., PELL, A., ... & SKJEMSTAD, J. A. N. Long-term impacts of anthropogenic perturbations on dynamics and speciation of organic carbon in tropical forest and subtropical grassland ecosystems. **Global Change Biology**, v. 13, n. 2, p. 511-530, 2007.

SOLOS, Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, 1997.

STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. Pesq. Agropec. Bras., 34:83-91, 1999.

TARRÉ, R. MACEDO, R., CANTARUTTI, R. B., DE REZENDE, C. P., PEREIRA, J. M., FERREIRA, E., ... & BOODEY, R. M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, v. 234, n. 1, p. 15-26, 2001.

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; BETTANY, J.R. Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. **Agronomy Journal**, v.74, p.831-835, 1982.

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

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

VELDKAMP, E., BECKER, A., SCHWENDENMANN, L., Clark, D. A., & SCHULTE-BISPING, H. Substantial labile carbon stocks and microbial activity in deeply weathered soils below a tropical wet forest. **Global Change Biology**, v. 9, n. 8, p. 1171-1184, 2003.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long‑term no‑till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v.96, p.195‑204, 2007.

WEIL, R. R.; ISLAN, K. R.; STINE, M. A.; GRUVER, J. B.; SAMSON-LIEBIG, S. E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, vol. 18, no 01, p. 3-17, 2003.

WIEDER, W. R., CLEVELAND, C. C., SMITH, W. K., & TODD-BROWN, K. Future productivity and carbon storage limited by terrestrial nutrient availability. **Nature Geoscience**, v. 8, n. 6, p. 441-444, 2015.

ZINN, Y. L.; LAL, R; RESCK, D. VS. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 127, n. 1, p. 168-173, 2005.

APÊNDICE

Tabela 1. Densidade do solo nas diferentes profundidades e sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

Profundidades (cm)	MTN	SSP5	LAVO	SSP3	PPRO	PDEG	*P-valor*
	Densidade do Solo (kg dm-3)						
0-10	1,11 c	1,35 ab	1,27 b	1,42 a	1,40 a	1,29 b	*<.0001*
10-20	1,17 c	1,38 ab	1,41 a	1,40 a	1,42 a	1,29 b	*<.0001*
20-40	1,18 b	1,38 a	1,46 a	1,40 a	1,42 a	1,22 b	*<.0001*
40-60	1,24 cd	1,37 bc	1,53 a	1,41 ab	1,43 ab	1,20 d	*<.0001*
60-100	1,25 cd	1,33 bcd	1,50 a	1,38 ab	1,36 bc	1,22 d	*<.0001*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Tabela 2. Teores de carbono e suas frações (g kg^{-1}) em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	MTN	SSP5	LAVO	SSP3	PPRO	PDEG	*P-valor*
	Profundidade 0-10 cm						
C-TOTAL	26,17 a	20,53 b	15,62 c	21,00 b	20,88 b	20,31 b	*<.0001*
C-MAM	16,14 a	9,43 b	7,02 c	10,59 b	9,11 bc	10,90 b	*<.0001*
C-MOP	10,03	11,10	8,59	10,40	11,77	9,41	*0.1065*
	Profundidade 10-20 cm						
C-TOTAL	20,21 a	13,15 b	13,38 b	14,30 b	14,38 b	14,53 b	*<.0001*
C-MAM	12,76 a	7,89 b	6,11 c	7,20 bc	7,27 bc	8,62 b	*<.0001*
C-MOP	7,45	5,26	7,26	7,10	7,11	5,91	*0.2938*
	Profundidade 20-40 cm						
C-TOTAL	12,79 a	7,81 c	8,36 bc	10,28 b	9,62 bc	10,49 b	*<.0001*
C-MAM	8,51 a	5,25 cd	4,43 d	6,15 bc	5,86 bcd	7,13 ab	*<.0001*
C-MOP	4,28	2,56	3,93	4,13	3,76	3,36	*0.2347*
	Profundidade 40-60 cm						
C-TOTAL	8,85 a	5,92 c	5,33 c	7,69 ab	7,31 b	7,44 b	*<.0001*
C-MAM	6,97 a	4,23 cd	3,81 d	4,99 bc	4,66 bcd	5,48 b	*<.0001*
C-MOP	1,88	1,68	1,52	2,70	2,65	1,96	*0.0614*
	Profundidade 60-100 cm						
C-TOTAL	6,10 a	4,89 bc	4,32 c	5,81 ab	5,18 abc	5,93 a	*<.0001*
C-MAM	4,66 a	3,41 b	3,50 b	4,22 a	4,05 ab	4,45 a	*<.0001*
C-MOP	1,44	1,48	0,82	1,59	1,14	1,48	*0.1426*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; C-TOTAL: carbono orgânico total; C-MAM: carbono associado aos minerais; C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada.

Tabela 3. Estoques de carbono e suas frações (Mg ha^{-1}) em profundidade sem correção por equivalência de massa nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	MTN	**SSP5**	**LAVO**	**SSP3**	**PPRO**	**PDEG**	***P-valor***
				Profundidade 0-10 cm			
C-TOTAL	29,01 a	27,82 a	19,74 b	29,80 a	29,28 a	26,10 a	*<.0001*
C-MAM	17,91 a	12,72 b	8,90 c	15,01 b	12,78 b	14,00 b	*<.0001*
C-MOP	11,11 b	15,10 ab	10,84 b	14,79 ab	16,50 a	12,10 ab	*0.0076*
				Profundidade 10-20 cm			
C-TOTAL	23,79 a	18,10 b	18,82 b	20,07 ab	20,36 ab	18,78 b	*0.0043*
C-MAM	14,94 a	10,85 b	8,57 c	10,11 bc	10,29 b	11,14 b	*<.0001*
C-MOP	8,84	7,24	10,25	9,96	10,07	7,64	*0.2317*
				Profundidade 20-40 cm			
C-TOTAL	30,16 a	21,59 b	24,32 ab	28,74 a	27,28 ab	25,57 ab	*0.0150*
C-MAM	20,11 a	14,50 b	12,91 b	17,18 ab	16,58 ab	17,27 ab	*0.0022*
C-MOP	10,04	7,09	11,40	11,56	10,70	8,29	*0.1818*
				Profundidade 40-60 cm			
C-TOTAL	21,92 a	16,25 c	16,33 c	21,67 ab	20,93 ab	17,89 bc	*0.0001*
C-MAM	17,27 a	11,63 b	11,69 b	14,08 b	13,24 b	13,19 b	*<.0001*
C-MOP	4,66	4,62	4,65	7,58	7,69	4,70	*0.0406*
				Profundidade 60-100 cm			
C-TOTAL	30,39 ab	26,06 b	25,96 b	32,17 a	28,18 ab	28,89 ab	*0.0119*
C-MAM	23,23 a	18,18 b	20,99 ab	23,37 a	21,93 ab	21,76 ab	*0.0094*
C-MOP	7,16	7,87	4,97	8,80	6,25	7,13	*0.2241*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; C-TOTAL: carbono orgânico total; C-MAM: carbono associado aos minerais; C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada.

Tabela 4. Estoques de carbono e suas frações (Mg ha^{-1}) em profundidade corrigidos por equivalência de massa nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	MTN	**SSP5**	**LAVO**	**SSP3**	**PPRO**	**PDEG**	***P-valor***
				Profundidade 0-10 cm			
C-TOTAL	29,02 a	22,77 b	17,32 c	23,29 b	23,16 b	22,53 b	*<.0001*
C-MAM	17,90 a	10,46 b	7,79 c	11,75 b	10,11 bc	12,09 b	*<.0001*
C-MOP	11,12	12,31	9,53	11,54	13,05	10,44	*0.1024*
				Profundidade 10-20 cm			
C-TOTAL	23,78 a	15,44 b	15,71 b	16,79 b	16,89 b	17,06 b	*<.0001*
C-MAM	14,94 a	9,27 bc	7,18 d	8,46 cd	8,54 bcd	10,13 b	*<.0001*
C-MOP	8,84	6,17	8,53	8,33	8,35	6,94	*0.3253*
				Profundidade 20-40 cm			
C-TOTAL	30,16 a	18,38 c	19,69 bc	24,22 b	22,65 bc	24,71 ab	*<.0001*
C-MAM	20,12 a	12,35 c	10,43 c	14,48 bc	13,80 bc	16,80 ab	*<.0001*
C-MOP	10,04	6,03	9,25	9,73	8,85	7,91	*0.2179*
				Profundidade 40-60 cm			
C-TOTAL	21,92 a	14,66 c	13,20 c	19,06 ab	18,11 b	18,43 b	*<.0001*
C-MAM	17,27 a	10,49 cd	9,43 d	12,38 bc	11,55 bcd	13,58 b	*<.0001*
C-MOP	4,66	4,17	3,77	6,69	6,56	4,85	*0.0636*
				Profundidade 60-100 cm			
C-TOTAL	30,39 a	24,35 bc	21,55 c	28,97 ab	25,85 abc	29,56 a	*0.0002*
C-MAM	23,23 a	16,98 b	17,44 b	21,04 a	20,19 ab	22,16 a	*<.0001*
C-MOP	7,16	7,37	4,11	7,93	5,66	7,39	*0.1438*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; C-TOTAL: carbono orgânico total; C-MAM: carbono associado aos minerais; C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada.

Tabela 5. Teores de nitrogênio e suas frações (g kg^{-1}) em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	MTN	**SSP5**	**LAVO**	**SSP3**	**PPRO**	**PDEG**	***P-valor***
			Profundidade 0-10 cm				
N-TOTAL	2,24 a	1,69 ab	1,24 b	1,54 ab	1,48 ab	1,43 b	*0.0139*
N-MAM	1,53 a	0,76 b	0,54 c	0,89 b	0,81 b	0,84 b	*<.0001*
N-MOP	0,71	0,93	0,71	0,65	0,67	0,59	*0.7899*
			Profundidade 10-20 cm				
N-TOTAL	1,56 a	1,02 b	1,10 b	1,15 b	1,05 b	1,04 b	*0.0003*
N-MAM	1,22 a	0,65 b	0,44 c	0,64 b	0,65 b	0,68 b	*<.0001*
N-MOP	0,34	0,37	0,66	0,51	0,40	0,36	*0.0970*
			Profundidade 20-40 cm				
N-TOTAL	0,97 a	0,68 b	0,72 b	0,90 ab	0,70 b	0,67 b	*0.0021*
N-MAM	0,76 a	0,47 b	0,37 b	0,54 ab	0,53 ab	0,55 ab	*0.0014*
N-MOP	0,20	0,22	0,36	0,35	0,17	0,11	*0.0902*
			Profundidade 40-60 cm				
N-TOTAL	0,66 ab	0,47 bc	0,48 abc	0,68 a	0,54 abc	0,44 c	*0.0051*
N-MAM	0,59 a	0,35 cd	0,29 d	0,47 b	0,40 bc	0,48 ab	*<.0001*
N-MOP	0,07	0,11	0,19	0,20	0,13	0,00	*0.0845*
			Profundidade 60-100 cm				
N-TOTAL	0,41	0,38	0,40	0,47	0,37	0,38	*0.4405*
N-MAM	0,38 a	0,29 bc	0,24 c	0,35 a	0,34 ab	0,36 a	*<.0001*
N-MOP	0,03 a	0,09 a	0,15 a	0,12 a	0,02 a	0,05 a	*0.0337*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; N-TOTAL: nitrogênio total; N-MAM: nitrogênio associado aos minerais; N-MOP: nitrogênio da matéria orgânica particulada.

Tabela 6. Estoques de nitrogênio e suas frações (Mg ha^{-1}) em profundidade sem correção por equivalência de massa nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	MTN	**SSP5**	**LAVO**	**SSP3**	**PPRO**	**PDEG**	***P-valor***
Profundidade 0-10 cm							
N-TOTAL	2,48	2,29	1,57	2,18	2,08	1,83	*0.1281*
N-MAM	1,70 a	1,02 b	0,68 b	1,26 ab	0,90 b	1,08 b	*0.0013*
N-MOP	0,79	1,27	0,89	0,92	1,18	0,75	*0.6362*
Profundidade 10-20 cm							
N-TOTAL	1,83 a	1,40 ab	1,56 ab	1,61ab	1,48 ab	1,35 b	*0.0427*
N-MAM	1,43 a	0,90 b	0,62 c	0,89 b	0,92 b	0,88 b	*<.0001*
N-MOP	0,41 b	0,50 ab	0,93 a	0,72 ab	0,56 ab	0,46 ab	*0.0351*
Profundidade 20-40 cm							
N-TOTAL	2,28 ab	1,89 ab	2,10 ab	2,51 a	1,98 ab	1,63 b	*0.0160*
N-MAM	1,81 a	1,29 ab	1,07 b	1,52 ab	1,50 ab	1,34 ab	*0.0319*
N-MOP	0,47	0,60	1,03	0,99	0,47	0,28	*0.0288*
Profundidade 40-60 cm							
N-TOTAL	1,63 ab	1,28 bc	1,48 abc	1,91 a	1,53 abc	1,05 c	*0.0038*
N-MAM	1,47 a	0,98 b	0,90 b	1,34 a	1,15 ab	1,17 ab	*0.0002*
N-MOP	0,16	0,30	0,59	0,57	0,39	0,00	*0.0599*
Profundidade 60-100 cm							
N-TOTAL	2,02	2,05	2,38	2,59	2,00	1,85	*0.0868*
N-MAM	1,90 a	1,56 ab	1,47 b	1,94 a	1,88 a	1,78 ab	*0.0065*
N-MOP	0,13 b	0,49 ab	0,91 a	0,64 ab	0,23 b	0,27 b	*0.0059*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; N-TOTAL: nitrogênio total; N-MAM: nitrogênio associado aos minerais; N-MOP: nitrogênio da matéria orgânica particulada.

Tabela 7. Estoques de nitrogênio e suas frações (Mg ha^{-1}) em profundidade corrigidos por equivalência de massa nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	MTN	**SSP5**	**LAVO**	**SSP3**	**PPRO**	**PDEG**	***P-valor***
				Profundidade 0-10 cm			
N-TOTAL	2,48 a	1,87 ab	1,38 b	1,71 ab	1,65 ab	1,58 b	*0.0143*
N-MAM	1,70 a	0,84 b	0,60 b	0,99 b	0,71 b	0,93 b	*<.0001*
N-MOP	0,79	1,03	0,78	0,72	0,94	0,65	*0.8073*
				Profundidade 10-20 cm			
N-TOTAL	1,83 a	1,19 b	1,30 b	1,35 b	1,23 b	1,22 b	*0.0007*
N-MAM	1,43 a	0,77 b	0,52 c	0,75 b	0,76 b	0,80 b	*<.0001*
N-MOP	0,40	0,43	0,78	0,60	0,47	0,42	*0.1101*
				Profundidade 20-40 cm			
N-TOTAL	2,28 a	1,61 b	1,70 b	2,11 ab	1,64 b	1,57 b	*0.0025*
N-MAM	1,81 a	1,10 b	0,86 b	1,28 ab	1,25 ab	1,30 ab	*0.0027*
N-MOP	0,47	0,51	0,84	0,83	0,39	0,27	*0.0761*
				Profundidade 40-60 cm			
N-TOTAL	1,63 ab	1,15 bc	1,20 abc	1,68 a	1,33 abc	1,09 c	*0.0052*
N-MAM	1,47 a	0,88 cd	0,72 d	1,17 b	1,00 bc	1,20 ab	*<.0001*
N-MOP	0,16	0,28	0,48	0,50	0,33	0,00	*0.0850*
				Profundidade 60-100 cm			
N-TOTAL	2,02	1,92	1,97	2,33	1,84	1,89	*0.4396*
N-MAM	1,90 a	1,46 bc	1,22 c	1,75 ab	1,73 ab	1,81 a	*<.0001*
N-MOP	0,13 b	0,46 ab	0,75 a	0,58 ab	0,22 ab	0,27 ab	*0.0263*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; N-TOTAL: nitrogênio total; N-MAM: nitrogênio associado aos minerais; N-MOP: nitrogênio da matéria orgânica particulada.

Tabela 8. Estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total (Mg ha^{-1}) na camada do solo de 0-100 cm sem correção por equivalência de massa nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	MTN	**SSP5**	**LAVO**	**SSP3**	**PPRO**	**PDEG**	***P-valor***
C-TOTAL	135,27 a	109,81 cd	105,17 d	132,44 ab	126,02 abc	117,22 bcd	*0.0002*
C-MAM	93,46 a	67,90 cd	63,06 d	79,75 b	74,82 bc	77,36 b	*<.0001*
C-MOP	41,81	41,91	42,12	52,69	51,21	39,87	*0.0865*
N-TOTAL	10,25 a	8,91 ab	9,08 ab	10,79 a	9,07 ab	7,70 b	*0.0088*
N-MAM	8,30 a	5,74 bc	4,73 c	6,95 b	6,35 b	6,26 b	*<.0001*
N-MOP	1,95 b	3,17 ab	4,35 a	3,84 ab	2,83 ab	1,76 b	*0.0116*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; C-TOTAL: carbono orgânico total; C-MAM: carbono associado aos minerais; C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada; N-TOTAL: nitrogênio total; N-MAM: nitrogênio associado aos minerais; N-MOP: nitrogênio da matéria orgânica particulada.

Tabela 9. Estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total (Mg ha^{-1}) na camada do solo de 0-100 cm corrigidos por equivalência de massa nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	MTN	**SSP5**	**LAVO**	**SSP3**	**PPRO**	**PDEG**	***P-valor***
C-TOTAL	135,27 a	95,61 cd	87,46 d	112,33 b	106,66 bc	112,29 b	*<.0001*
C-MAM	93,46 a	59,56 cd	52,27 d	68,11 bc	64,19 c	74,76 b	*<.0001*
C-MOP	41,81	36,05	35,19	44,22	42,47	37,53	*0.2189*
N-TOTAL	10,25 a	7,75 b	7,55 b	9,18 ab	7,69 b	7,34 b	*0.0010*
N-MAM	8,30 a	5,04 c	3,92 d	5,94 bc	5,45 bc	6,05 b	*<.0001*
N-MOP	1,95 b	2,71 ab	3,63 a	3,24 ab	2,34 ab	1,61 b	*0.0397*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; C-TOTAL: carbono orgânico total; C-MAM: carbono associado aos minerais; C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada; N-TOTAL: nitrogênio total; N-MAM: nitrogênio associado aos minerais; N-MOP: nitrogênio da matéria orgânica particulada.

Tabela 10. Teores de carbono lábil e não lábil (g kg^{-1}) em profundidade nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	Profundidades (cm)	MTN	SSP5	LAVO	SSP3	PPRO	PDEG	*P-valor*
C-Lábil	0-10	19,34 a	17,24 ab	2,57 d	15,80 abc	15,13 bc	11,80 c	*<.0001*
	10-20	11,80 a	7,95 b	1,33 d	7,69 b	6,70 bc	5,35 c	*<.0001*
	20-40	5,80 a	3,25 bc	3,21 bc	4,32 ab	5,22 a	2,43 c	*<.0001*
	40-60	4,53 a	1,69 d	1,94 cd	2,98 b	1,69 d	2,71 bc	*<.0001*
	60-100	1,71 a	0,97 b	1,16 b	1,80 a	1,20 b	0,54 c	*<.0001*
C-não Lábil	0-10	6,83 bc	3,29 c	13,04 a	5,20 bc	4,20 bc	8,51 ab	*<.0001*
	10-20	8,41 b	5,21 c	12,04 a	6,61 bc	8,09 bc	9,18 b	*<.0001*
	20-40	6,99 ab	4,56 b	5,15 b	5,96 ab	5,20 b	8,07 a	*0.0018*
	40-60	4,32 bc	4,23 bc	3,39 c	4,71 ab	5,62 a	4,73 ab	*0.0003*
	60-100	4,39 ab	3,92 bc	3,16 c	4,01 bc	3,99 bc	5,39 a	*0.0004*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Tabela 11. Estoques de carbono lábil e não lábil (Mg ha^{-1}) em profundidade sem correção por equivalência de massa nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	Profundidades (cm)	MTN	SSP5	LAVO	SSP3	PPRO	PDEG	*P-valor*
C-Lábil	0-10	21,46 a	23,38 a	3,28 c	22,41 a	21,22 a	15,18 b	*<.0001*
	10-20	13,85 a	10,92 b	1,87 d	10,80 b	9,44 bc	6,91 c	*<.0001*
	20-40	13,76 a	8,96 bc	9,36 bc	12,04 ab	14,78 a	5,91 c	*<.0001*
	40-60	11,22 a	4,64 c	5,93 c	8,40 b	4,80 c	6,52 bc	*<.0001*
	60-100	8,50 ab	5,17 cd	7,01 bc	9,99 a	6,56 bc	2,67 d	*<.0001*
Total	0-100	68,79 a	53,07 c	27,45 e	63,64 ab	56,79 bc	37,19 d	*<.0001*
C-não Lábil	0-10	7,56 bc	4,44 c	16,46 a	7,39 bc	8,06 bc	10,91 b	*<.0001*
	10-20	9,93 bc	7,17 c	16,95 a	9,27 bc	10,92 bc	11,87 b	*<.0001*
	20-40	16,39	12,64	14,95	16,70	12,49	19,66	*0.0508*
	40-60	10,70 b	11,61 b	10,41 b	13,26 ab	16,13 a	11,37 b	*0.0005*
	60-100	21,89 ab	20,89 ab	18,95 b	22,18 ab	21,62 a	26,22 a	*0.0233*
Total	0-100	66,48 ab	56,75 b	77,72 a	68,80 ab	69,23 ab	80,04 a	*0.0131*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Tabela 12. Estoques de carbono lábil e não lábil (Mg ha^{-1}) em profundidade corrigidos por equivalência de massa nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

	Profundidades (cm)	MTN	SSP5	LAVO	SSP3	PPRO	PDEG	*P-valor*
C-Lábil	0-10	21,45 a	19,12 ab	2,85 d	17,52 abc	16,78 bc	13,09 c	*<.0001*
	10-20	13,86 a	9,33 b	1,56 d	9,03 b	7,86 bc	6,28 c	*<.0001*
	20-40	13,66 a	7,65 bc	7,57 bc	10,17 ab	12,30 a	5,71 c	*<.0001*
	40-60	11,22 a	4,19 d	4,80 cd	7,39 b	4,18 d	6,71 bc	*<.0001*
	60-100	8,50 a	4,83 b	5,79 b	8,99 a	5,99 b	2,70 c	*<.0001*
Total	0-100	68,69 a	45,13 c	22,58 e	53,10 b	47,12 bc	34,49 d	*<.0001*
C-não Lábil	0-10	7,57 bc	3,65 c	14,47 a	5,77 bc	6,37 bc	9,44 ab	*<.0001*
	10-20	9,87 b	6,11 c	14,14 a	7,76 bc	9,03 bc	10,78 b	*<.0001*
	20-40	16,45 ab	10,73 b	12,12 b	14,05 ab	10,36 b	19,00 a	*0.0018*
	40-60	10,70 bc	10,47 bc	8,40 c	11,67 ab	13,93 a	11,73 ab	*0.0003*
	60-100	21,89 ab	19,51 bc	15,76 c	19,98 bc	19,86 bc	26,86 a	*0.0004*
Total	0-100	66,49 ab	50,48 c	64,89 abc	59,23 bc	59,55 bc	77,80 a	*0.0008*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada.

Tabela 13. Índice de manejo do carbono do solo em profundidade utilizando o carbono lábil pela via permanganato de potássio nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

Profundidades (cm)	Sistemas	ICC	L	IL	IMC
0-10	MTN	1 a	3,78 ab	1 ab	100 ab
	SSP5	0,78 b	5,70 a	1,51 a	117,89 a
	LAVO	0,60 c	0,20 c	0,05 d	3,19 d
	SSP3	0,80 b	3,22 abc	0,84 bc	66,77 bc
	PPRO	0,80 b	2,81 abc	0,74 bc	58,87 bc
	PDEG	0,78 b	1,48 bc	0,39 cd	30,20 cd
	P-valor	*<.0001*	*0.0009*	*<.0001*	*<.0001*
10-20	MTN	1 a	1,43 ab	1 ab	100 a
	SSP5	0,65 b	1,60 a	1,11 a	71,95 ab
	LAVO	0,68 b	0,11 d	0,08 d	5,10 d
	SSP3	0,71 b	1,21 abc	0,88 abc	61,49 b
	PPRO	0,71 b	0,88 bc	0,61 bc	43,90 bc
	PDEG	0,72 b	0,59 cd	0,41 cd	29,52 cd
	P-valor	*<.0001*	*<.0001*	*<.0001*	*<.0001*
20-40	MTN	1 a	0,88 a	1 ab	100 a
	SSP5	0,61 d	0,76 ab	0,86 b	51,34 bc
	LAVO	0,66 cd	0,67 ab	0,76 bc	47,66 bc
	SSP3	0,80 bc	0,77 ab	0,88 ab	69,71 b
	PPRO	0,75 bcd	1,21 a	1,37 a	102,29 a
	PDEG	0,82 b	0,30 b	0,34 c	28,08 c
	P-valor	*<.0001*	*0.0002*	*<.0001*	*<.0001*
40-60	MTN	1 a	1,08 a	1 a	100 a
	SSP5	0,67 c	0,40 bc	0,37 cd	24,91 d
	LAVO	0,60 c	0,58 bc	0,54 bc	32,71 cd
	SSP3	0,87 ab	0,64 b	0,60 b	51,53 b
	PPRO	0,83 b	0,30 c	0,28 d	23,51 d
	PDEG	0,84 b	0,58 bc	0,54 bc	44,96 bc
	P-valor	*<.0001*	*<.0001*	*<.0001*	*<.0001*
60-100	MTN	1 a	0,39 ab	1 ab	100 ab
	SSP5	0,80 bc	0,25 bc	0,64 bc	51,13 cd
	LAVO	0,71 c	0,39 ab	1 ab	69,14 bc
	SSP3	0,95 ab	0,45 a	1,16 a	110,67 a
	PPRO	0,85 abc	0,31 ab	0,79 ab	66,19 c
	PDEG	0,97 a	0,10 c	0,27 c	25,41 d
	P-valor	*<.0001*	*<.0001*	*<.0001*	*<.0001*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; ICC = índice de comportamento do carbono; L = labilidade do carbono; IL = índice de labilidade do carbono no solo; IMC: índice de manejo do carbono.

Tabela 14. Índice de manejo do carbono do solo em profundidade utilizando a matéria orgânica particulada nos diferentes sistemas de uso da terra na região da Zona da Mata, em Visconde do Rio Branco – MG.

Profundidades (cm)	Sistemas	IEC	L	IL	IMC
0-10	MTN	1 a	0,63 b	1 b	100
	SSP5	0,78 b	1,19 a	1,91 a	152,61
	LAVO	0,60 c	1,24 a	1,99 a	118,47
	SSP3	0,81 b	0,99 ab	1,60 ab	128,47
	PPRO	0,80 b	1,32 a	2,12 a	169,58
	PDEG	0,78 b	0,86 ab	1,38 ab	107,22
	P-valor	*<.0001*	*0.0060*	*0.0054*	*0.0898*
10-20	MTN	1 a	0,60 b	1 b	100
	SSP5	0,53 b	0,68 ab	1,14 b	62,51
	LAVO	0,54 b	1,23 a	2,05 a	114,11
	SSP3	0,59 b	0,99 ab	1,66 ab	96,56
	PPRO	0,58 b	0,98 ab	1,64 ab	95,41
	PDEG	0,59 b	0,69 ab	1,15 b	67,64
	P-valor	*<.0001*	*0.0136*	*0.0073*	*0.0772*
20-40	MTN	1 a	0,53	1 a	100
	SSP5	0,63 d	0,49	0,92 a	58,65
	LAVO	0,68 d	0,91	1,72 a	122,06
	SSP3	0,83 bc	0,67	1,26 a	105,58
	PPRO	0,78 bcd	0,65	1,22 a	95,11
	PDEG	0,85 ab	0,48	0,90 a	77,33
	P-valor	*<.0001*	*0.1108*	*0.0456*	*0.2340*
40-60	MTN	1 a	0,27	1,00	100
	SSP5	0,51 c	0,40	1,46	73,60
	LAVO	0,45 c	0,41	1,51	70,71
	SSP3	0,65 b	0,54	1,98	134,70
	PPRO	0,62 b	0,59	2,15	133,89
	PDEG	0,64 b	0,36	1,31	83,17
	P-valor	*<.0001*	*0.0925*	*0.0802*	*0.0924*
60-100	MTN	1 ab	0,31	1	100
	SSP5	0,84 bc	0,44	1,41	118,22
	LAVO	0,74 c	0,24	0,78	57,27
	SSP3	0,99 ab	0,38	1,22	122,01
	PPRO	0,89 abc	0,29	0,92	86,99
	PDEG	1,02 a	0,34	1,09	112,57
	P-valor	*<.0001*	*0.1779*	*0.1241*	*0.0880*

Letras iguais na mesma profundidade não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P>0,05). MTN: mata nativa; SSP5: sistema silvipastoril com 5 anos; LAVO: lavoura de milho; SSP3: sistema silvipastoril com 3 anos; PPRO: pastagem produtiva; PDEG: pastagem degradada; IEC = índice de estoque de carbono; L = labilidade do carbono; IL = índice de labilidade do carbono no solo; IMC: índice de manejo do carbono.