

Adubos verdes para o incremento dos estoques de carbono em Neossolo Quartzarênico de Cerrado

Isabela Machado de Oliveira Lima¹, Maiara Fernanda Garcia Silva¹, Simone Cândido Ensinas¹, Jefferson Rogério Marques da Silva¹, Wolff Camargo Marques Filho², Giselle Feliciani Barbosa¹

¹ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária Cassilândia, Cassilândia, MS, Brasil. E-mail: isabela.agronomia@gmail.com (ORCID: 0000-0001-7837-748X); maiaragarcia648@gmail.com (ORCID: 0000-0003-0872-329X); simone-ensinas@uems.br (ORCID: 0000-0002-2919-4879); jeffersonmatogrosso@hotmail.com (ORCID: 0000-0001-5174-7081); giselle.barbosa@uems.br (ORCID: 0000-0001-5456-1039)

² Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Salinas, Salinas, MG, Brasil. E-mail: wolff.filho@ifnmg.edu.br (ORCID: 0000-0001-6407-1375)

RESUMO: Os benefícios adquiridos com a adubação verde estão relacionados com a sustentabilidade dos solos agrícolas pelo o aumento da matéria orgânica no sistema produtivo, redução dos efeitos da acidez e melhoria das demais propriedades do solo. Assim, este trabalho objetivou analisar o potencial de espécies utilizadas como adubos verdes em incrementar os teores e estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e índice de manejo de carbono (IMC) no solo. O experimento foi conduzido a campo, com delineamento em blocos casualizados, cinco tratamentos (implantação dos adubos verdes *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan* e *Crotalaria juncea*, área de pousio e área de vegetação nativa de Cerrado, sem interferência antrópica) e quatro repetições. Após o florescimento, os adubos foram cortados, dessecados naturalmente, e, amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, para o fracionamento granulométrico da matéria orgânica. Na camada mais profunda a área de pousio apresentou os maiores estoques de COP e a vegetação nativa os maiores teores de COT. O adubo verde *Cajanus cajan* mostrou-se eficiente para incrementar os teores e estoques de carbono no solo.

Palavras-chave: carbono orgânico associado aos minerais; carbono orgânico particulado; índice de manejo de carbono; matéria orgânica do solo

Green manure for the increase of soil carbon stocks in Typic Quartzipisamment of Cerrado

ABSTRACT: The benefits gained with green manure are related to the sustainability of agricultural soils by the increase of organic matter in the production system, reducing the effects of acidity and improving other soil properties. The objective this research was to assess the potential of species used as green manures to increase the contents and stocks of total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), organic carbon associated to minerals (OCam) and carbon management index (CMI) in the soil. The experiment was conducted under field conditions, in a randomized blocks, five treatments (green manures *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan* and *Crotalaria juncea*, fallow area and area of Cerrado native vegetation, without anthropic interference) and four replications. After flowering, the plants were cut, dried naturally, and then soil samples were collected at 0-10, 10-20 and 20-30 cm, for the granulometric fractionation of the organic matter. In the deepest layer the fallow area showed the highest stocks of POC and the native vegetation had the highest TOC levels. The green manure *Cajanus cajan* was efficient to increase the levels and stocks carbon in the soil, even in a short time.

Key words: organic carbon associated to minerals; particulate organic carbon; carbon management index; soil organic matter

Introdução

Grande parte do bioma Cerrado, em decorrência da exploração antrópica, foi convertida em áreas destinadas à atividade pecuária, e o uso intensivo das pastagens sem o manejo adequado durante longo período de tempo resultou na redução da qualidade do solo devido à acidificação e redução dos nutrientes disponíveis, erosão, compactação e diminuição da matéria orgânica do solo (MOS) (Moreira et al., 2005; Rosa et al., 2014).

A prática da adubação verde consiste no consórcio ou rotação de espécies vegetais em conjunto com a cultura de interesse econômico. Estas espécies, que podem ter ciclo anual ou um ciclo mais curto, podem, por fim, serem cortadas e incorporadas ao solo, ou apenas serem dispostas sobre a superfície. Espécies leguminosas se destacam em relação as demais devido ao seu maior acúmulo de massa vegetal e também por realizarem relação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio (Espindola et al., 2005).

A adubação verde proporciona a recuperação destas áreas, promovendo o resgate do carbono do solo, melhorando as estruturas físicas, químicas e biológicas, prevenindo a degradação, recuperando a fertilidade, otimizando a retenção de água e melhorando a cobertura vegetativa do solo, e assim, minimizando processos de degradação ambiental. Tais fatores, dentre outros, potencializam as vantagens da adubação verde tanto em área degradada como em um processo preventivo a médio e longo prazo (Ferreira et al., 2012). Com a intensificação da degradação há a redução do teor de carbono (C) no solo e consequente aumento de CO₂ liberado para a atmosfera. O sequestro de carbono no solo tem um importante papel ambiental, uma vez que a melhor utilização das áreas cultivadas vêm sendo apontados como alternativas para medidas mitigadoras de mudanças climáticas (Assis et al., 2006) e o solo é apontado como o maior compartimento de carbono, porém, devido à suscetibilidade a perdas, tanto a curto como a longo prazo, o carbono orgânico do solo deve ser preservado para minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas (Machado, 2005).

A exemplo da utilização de espécies de adubos verdes, Marchini et al. (2015) apresentaram a recuperação de um Latossolo com a utilização de crotalária ou feijão de porco em consórcio com a espécie arbórea Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*), os quais, em conjunto, contribuíram para a melhor estruturação do solo em comparação a uma área com vegetação nativa do Cerrado, apresentando recuperação do solo na camada de 0-10 cm. Outro benefício apresentado pela utilização de adubos verdes pode ser notado, por exemplo, na utilização de *Crotalaria juncea* em consórcio com a cultura do milho, onde esta leguminosa fornece nitrogênio para a cultura de interesse econômico em nível igual ao monocultivo da cultura com adubação nitrogenada (Chieza et al., 2017).

As mudanças nos teores totais de carbono orgânico do solo em função das práticas de manejo nem sempre são

detectadas em curto prazo. Em função disso, frações lábeis de C orgânico do solo, tais como a matéria orgânica leve, C facilmente oxidável e C na matéria orgânica particulada têm sido utilizadas como indicadores sensíveis às mudanças nos níveis de C orgânico do solo provocadas pelas práticas de manejo do solo (Rossi et al., 2012; Loss et al., 2013).

A partir de evidentes necessidades de avaliação da situação do solo, em estudo realizado por Conceição et al. (2014), foi destacada a importância e eficiência em se utilizar também a metodologia de índice de manejo do carbono, por meio das frações físicas da matéria orgânica, para determinação da influência no sistema de manejo agrícola sobre o solo.

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial dos adubos verdes no incremento dos teores e estoques de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado, carbono orgânico associado aos minerais e índice de manejo de carbono no solo, visando a recuperação de áreas de pastagens degradadas.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em área experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, em Cassilândia – MS, Brasil (51°43'15" W, 19°07'21" S e altitude média de 520 m.). O clima da região segundo Köppen (1948) é classificado como clima tropical chuvoso (Aw) apresentando verão chuvoso e inverno seco com precipitação menor que 60 mm. O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico de topografia predominantemente plana (Santos et al., 2013).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por cinco linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m, com área total de 12,5 m² e área útil composta pelas três linhas centrais de cada parcela. Os tratamentos utilizados foram os adubos verdes feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu cv. Mandarim (*Cajanus cajan*) e crotalária (*Crotalaria juncea*), área de pousio, frequentemente ocupada com espécies como o capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L) e *Brachiaria* spp., e a área de vegetação nativa do Cerrado, situada a 78,0 m da área experimental, sem interferência antrópica.

Os adubos verdes foram semeados manualmente, no início de dezembro de 2016, nas densidades de 6,0; 19,0 e 41,0 sementes por metro para os adubos feijão de porco, feijão guandu e crotalária, respectivamente. Quando as plantas apresentaram 50% de florescimento, estas foram cortadas manualmente rentes ao solo, e dispostos de maneira uniforme sobre a superfície das parcelas. Os cortes das plantas foram realizados nos dias 17 de março, 10 e 12 de abril de 2017, respectivamente, para o feijão de porco, feijão guandu e crotalária. Após cerca de 60 dias, amostras de solo foram coletadas em cada parcela, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Após a coleta, as amostras compostas foram destorroadas, secas à sombra e passadas em peneira

de malha de 2,0 mm. Uma porção da amostra de solo foi triturada em almofariz e passada em peneira de malha de 0,210 mm. Também foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos para se estimar a densidade do solo. A densidade do solo foi utilizada no cálculo dos estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam).

O teor de COT foi determinado pelo método de oxidação por via úmida, segundo metodologia descrita por Yeomans & Bremner (1988). As frações de COP e COam foram obtidas por meio do fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (Cambardella & Elliott, 1992). O teor de COP foi quantificado de acordo com metodologia de Yeomans & Bremner (1988). O teor de COam foi determinado à partir da diferença entre COT e COP.

Para determinação dos estoques de COT, COP e COam utilizou-se a expressão: Estoque de C em Mg ha^{-1} = (Teor de carbono em g kg^{-1} x densidade do solo em kg dm^{-3} x espessura da camada de solo considerada em cm) / 10.

O índice de manejo de carbono (IMC) foi calculado de acordo com a metodologia descrita por Blair et al. (1995). Primeiramente foi calculado o índice de compartimento de carbono (ICC), utilizando a expressão: $\text{ICC} = \text{COT tratamento} / \text{COT referência}$, em que COT tratamento, correspondeu ao estoque de COT no tratamento avaliado e COT referência correspondeu ao estoque de carbono na área de vegetação nativa do Cerrado. Em seguida, foi calculado o índice de labilidade (IL), utilizando a expressão $\text{IL} = \text{L tratamento} / \text{L referência}$, em que L tratamento correspondeu a labilidade da MOS no tratamento avaliado e L referência, a labilidade da MOS na área de vegetação nativa do Cerrado. O L foi calculado pela expressão $\text{L} = \text{estoque de COP} / \text{estoque de COam}$. Estes índices (ICC e IL) foram utilizados em seguida para o cálculo do IMC, que foi obtido pela expressão $\text{IMC} = \text{ICC} \times \text{IL} \times 100$.

Os resultados foram avaliados quanto a normalidade de sua distribuição, e, quando necessário, os dados foram transformados. Posteriormente realizou-se a análise de variância por meio do teste F, e, quando significativas, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Para a análise estatística utilizou-se o software Assisat – Statistical Assistance, versão 7.7 (Silva & Azevedo, 2016).

Resultados e Discussão

Os valores médios dos teores de COT, COP e COam, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. O maior teor de COT, na camada de 0-10 cm, foi encontrado na área de vegetação nativa de Cerrado, a qual também apresentou destaque em relação aos demais tratamentos quanto ao teor de COam na mesma profundidade. Já quanto ao teor de COP, valores superiores foram observados para a espécie feijão guandu.

Para a camada de 10-20 cm, as áreas com os tratamentos área de vegetação nativa e feijão guandu se destacaram quanto aos teores de COT. Para os teores de COP o tratamento

Tabela 1. Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), na camada de 0-10 cm, com o uso de diferentes adubos verdes em sistemas de uso do solo. Cassilândia, MS, 2017.

Tratamentos	COT	Cop (g kg^{-1})	Coam
<i>Canavalia ensiformis</i>	5,8 b	1,1 c ⁽¹⁾	4,7 b
<i>Cajanus cajan</i>	6,8 b	3,1 a	3,7 b
<i>Crotalaria juncea</i>	6,5 b	1,0 c	5,5 b
Pousio	6,8 b	2,3 b	4,5 b
Vegetação nativa	8,7 a	1,4 c	7,4 a
Teste F	3,01*	18,5**	4,2*
Média	6,9	1,8	5,2
CV (%) ⁽²⁾	18,1	12,0	24,2

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$). ⁽¹⁾ Dados transformados em \sqrt{x} , mas com médias originais apresentadas na tabela. Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ⁽²⁾ Coeficiente de variação.

Tabela 2. Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), na camada de 10-20 cm, com o uso de diferentes adubos verdes em sistemas de uso do solo. Cassilândia, MS, 2017.

Tratamentos	COT	Cop (g kg^{-1})	Coam
<i>Canavalia ensiformis</i>	5,1 b	1,0 c	4,2 b
<i>Cajanus cajan</i>	7,4 a	3,3 a	4,1 b
<i>Crotalaria juncea</i>	6,0 b	1,6 c	4,4 b
Pousio	6,1 b	2,5 b	3,7 b
Vegetação nativa	7,8 a	1,0 c	6,8 a
Teste F	6,7**	13,4**	8,1**
Média	6,5	1,9	4,6
CV (%) ⁽²⁾	13,1	29,4	19,1

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ⁽¹⁾ Coeficiente de variação.

Tabela 3. Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), na camada de 20-30 cm, com o uso de diferentes adubos verdes em sistemas de uso do solo. Cassilândia, MS, 2017.

Tratamentos	COT	Cop (g kg^{-1})	Coam
<i>Canavalia ensiformis</i>	4,8 b	1,4 b	3,4 b
<i>Cajanus cajan</i>	5,3 b	0,3 c	4,9 a
<i>Crotalaria juncea</i>	5,1 b	0,9 c	4,1 a
Pousio	5,2 b	2,1 a	3,1 b
Vegetação nativa	6,1 a	1,3 b	4,9 a
Teste F	8,5**	7,5**	9,0**
Média	5,3	1,2	4,1
CV (%) ⁽²⁾	6,7	38,5	13,9

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ⁽¹⁾ Coeficiente de variação.

feijão guandu apresentou também maior teor. Quanto ao teor de COam a área de vegetação nativa se destacou em relação aos demais tratamentos (Tabela 2).

Na camada de 20-30 cm a área de vegetação nativa apresentou os maiores teores de COT. Quanto aos teores de COP os tratamentos feijão guandu e crotalaria apresentaram os menores teores, se destacando pelo maior teor a área de pousio. As áreas cobertas com feijão de porco e as áreas de pousio apresentaram os menores teores de COam para essa profundidade (Tabela 3).

De acordo com Lima et al. (2016), os teores de COP são fortemente influenciados pela incorporação dos resíduos das plantas de cobertura, e isso pode ser justificado pelo fato de esta fração associada a areia ser mais facilmente mineralizada, o que torna os solos arenosos mais sensíveis às mudanças ocorridas em função do manejo adotado (Freixo et al., 2002). Tal característica pode ser considerada positiva, devido a esta fração apresentar uma ciclagem mais rápida, apontando mais rapidamente as mudanças ocorridas na matéria orgânica do solo em função do ambiente. Lima et al. (2016) também verificaram que os teores de COT são influenciados pela estabilização do COam no solo, o que pode ser notado nos presentes resultados, onde os teores de COT e COam apresentam, em geral, uma mesma tendência entre os tratamentos. Os autores também afirmaram que, a manutenção dos teores de COam está relacionada com a velocidade de degradação da planta de cobertura.

Em trabalho realizado por Dortzbach et al. (2015), os autores observaram que os teores de COT para as áreas de mata se mostraram sempre superiores em relação à área de pastagem nas camadas de 0-100 cm, e o mesmo ocorreu para o estoque de COT em áreas com uso contínuo de florestas, as quais apresentaram estoques superiores em relação a pastagem. Verificaram também, maiores concentrações de armazenamento de COT até mesmo em áreas que não eram formadas por mata anteriormente. No presente trabalho, na área de mata nativa, resultados superiores também foram observados quanto aos teores e estoques de COT nas camadas avaliadas.

No presente trabalho os maiores teores de COT foram observados na área de vegetação nativa do Cerrado. Para Santos et al. (2001), a utilização de leguminosas e gramíneas na recuperação de áreas degradadas resultou em incremento nos teores de COT no solo, diferindo da testemunha desnuda. Os resultados observados neste trabalho podem ser explicados pelo grau de decomposição dos adubos quando coletado o solo e período de tempo em que tal prática foi adotada no sistema; pela taxa de decomposição, condições edafoclimáticas e composição química do material vegetal; fatores que influenciam na liberação de nutrientes para o solo (Silva et al., 2009). Ainda assim, os resultados obtidos podem ser considerados positivos, pois em um curto período de tempo foi possível notar alterações no solo sob influência dos adubos verdes, o que nos faz considerar que após um período maior de implantação desse tipo de manejo no solo os resultados poderão ser ainda mais satisfatórios.

Nas Tabelas 4, 5 e 6 estão apresentados os valores médios dos estoques de COT, COP e COam nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. A área de vegetação nativa apresentou os

Tabela 4. Valores médios dos estoques de carbono orgânico total (E.COT), estoques de carbono orgânico particulado (E.Cop) e estoques de carbono orgânico associado aos minerais (E.COam), na camada de 0-10 cm, com o uso de diferentes adubos verdes em sistemas de uso do solo. Cassilândia, MS, 2017.

Tratamentos	E.COT	E.Cop	E.Coam
	(Mg kg ⁻¹)		
<i>Canavalia ensiformis</i>	7,9 b	1,4 c ⁽¹⁾	6,5 b
<i>Cajanus cajan</i>	9,8 b	4,4 a	5,3 b
<i>Crotalaria juncea</i>	8,9 b	1,4 c	7,5 b
Pousio	9,2 b	3,1 b	6,1 b
Vegetação nativa	12,3 a	1,9 c	10,3 a
Teste F	3,5*	19,5**	5,0*
Média	9,6	2,5	7,2
CV (%) ⁽²⁾	18,1	11,9	24,3

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$). ⁽¹⁾ Dados transformados em \sqrt{x} , mas com médias originais apresentadas na tabela. Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ⁽²⁾ Coeficiente de variação.

Tabela 5. Valores médios dos estoques de carbono orgânico total (E.COT), estoques de carbono orgânico particulado (E.Cop) e estoques de carbono orgânico associado aos minerais (E.COam), na camada de 10-20 cm, com o uso de diferentes adubos verdes em sistemas de uso do solo. Cassilândia, MS, 2017.

Tratamentos	E.COT	E.Cop	E.Coam
	(Mg kg ⁻¹)		
<i>Canavalia ensiformis</i>	7,4 b	1,4 b	6,0 b
<i>Cajanus cajan</i>	10,7 a	2,3 b	6,3 b
<i>Crotalaria juncea</i>	8,7 b	3,8 a	5,6 b
Pousio	9,4 b	4,8 a	5,9 b
Vegetação nativa	11,1 a	1,4 b	9,6 a
Teste F	5,9**	14,2**	6,6**
Média	9,5	2,8	6,7
CV (%) ⁽²⁾	13,1	29,0	19,4

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ⁽¹⁾ Coeficiente de variação.

Tabela 6. Valores médios dos estoques de carbono orgânico total (E.COT), estoques de carbono orgânico particulado (E.Cop) e estoques de carbono orgânico associado aos minerais (E.COam), na camada de 20-30 cm, com o uso de diferentes adubos verdes em sistemas de uso do solo. Cassilândia, MS, 2017.

Tratamentos	E.COT	E.Cop	E.Coam
	(Mg kg ⁻¹)		
<i>Canavalia ensiformis</i>	7,3	2,1 b	5,1 b
<i>Cajanus cajan</i>	8,0	0,5 c	7,5 a
<i>Crotalaria juncea</i>	8,0	1,5 c	6,5 a
Pousio	8,1	3,2 a	4,8 b
Vegetação nativa	7,5	1,6 c	6,0 b
Teste F	2,1 ^{ns}	8,2**	6,5**
Média	7,8	1,8	6,0
CV (%) ⁽²⁾	6,6	39,1	14,3

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$); ^{ns} não significativo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ⁽¹⁾ Coeficiente de variação.

maiores estoques de COT e CO_{am} na profundidade de 0-10 cm. O maior estoque de CO_p foi encontrado no tratamento com feijão guandu (Tabela 4).

Na profundidade de 10-20 cm os menores estoques de COT foram observados nas áreas dos tratamentos feijão de porco, crotalária e pousio, enquanto estoques médios superiores foram observados nas áreas de vegetação nativa e do tratamento feijão guandu. Os tratamentos crotalária e pousio apresentaram os maiores estoques de CO_p. O maior estoque de CO_{am} foi apresentado pela área de vegetação nativa (Tabela 5).

Para os estoques de COT na profundidade de 20-30 cm, não foram observadas diferenças significativas. Os menores estoques de CO_p foram observados nos tratamentos feijão guandu, crotalária e vegetação nativa, se destacando a área de pousio, a qual apresentou maior estoque de CO_p. Os maiores estoques de CO_{am} foram apresentados pelos tratamentos feijão guandu e crotalária (Tabela 6).

Áreas de pousio quando estabelecidas por longos períodos levam à constituição de uma vegetação no local, a qual, de acordo com o período, pode auxiliar no aumento da fauna da área, em uma maior retenção de água pelas raízes ali presentes, além de atuar na transferência de nutrientes e no sequestro de carbono no solo (Wadt et al., 2003). Sendo assim, tais características podem justificar o destaque da área de pousio na camada mais profunda, a qual era predominada anteriormente por diversas plantas invasoras.

A influência das frações de CO_p e CO_{am} no sequestro de carbono no solo se encontra no equilíbrio entre essas frações, o qual é primordial para que haja o sequestro de carbono em solos tropicais (Conceição et al., 2013). Há diversas alternativas que promovem o aumento da matéria orgânica no solo, dentre elas, alguns tratamentos utilizados no presente trabalho, como a utilização de plantas de cobertura, do pousio e também da rotação de culturas (Costa et al., 2013).

Ao rotacionar culturas de interesse econômico, como a soja e o arroz, com o pousio, Freixo et al. (2002) observaram que essa prática possibilitou um aumento na disponibilidade de matéria orgânica no solo, pois foram nessas áreas rotacionadas com o pousio que foram encontrados os maiores teores de carbono na fração leve livre. Tal característica pode ser observada nos presentes resultados onde as médias de CO_p nas áreas de pousio se destacaram nas camadas de 10-30 cm.

Campos et al. (2016) afirmaram que o estoque de carbono é afetado significativamente pelo sistema de uso e manejo do solo, onde a área de mata nativa apresentou menores estoques de carbono orgânico total, principalmente quando comparada a área de pastagem, a qual apresenta relação positiva entre seu manejo e a otimização dos estoques de carbono no local. Diferentemente do que foi relatado pelos autores, no presente trabalho os estoques de COT na vegetação nativa se mostraram superiores aos estoques dos demais tratamentos nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm,

fato justificado pelo pouco tempo de implantação do sistema de uso do solo.

Bernini et al. (2009) afirmaram que, apesar do sistema mata nativa apresentar menor concentração de COT, este possui maior estabilidade quando comparado a um sistema que foi implantado após a retirada da vegetação nativa.

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios do índice de manejo de carbono (IMC) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm notam-se os maiores valores de IMC para as áreas cobertas pelo adubo feijão guandu. Já na profundidade de 20-30 cm, os menores valores de IMC foram encontrados com o uso das espécies feijão guandu, crotalária e área de vegetação nativa, com destaque para a área de pousio e feijão de porco.

Segundo Conceição et al. (2014), o IMC é um forma eficiente de se constatar a qualidade do solo sob o sistema de manejo, além de ser impulsionado pelo sistema de plantio direto. Quando os valores de IMC se apresentam inferiores a 100 significa que o sistema de manejo está sendo negativo para o solo (Blair et al., 1995). De acordo com a Tabela 7 observa-se que o tratamento com o adubo verde feijão de porco apresentou valores abaixo de 100 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, já na profundidade de 20-30 cm nota-se um valor de IMC superior a 100, o que se mostrou, neste último caso, como aspecto positivo da influência da planta de cobertura sobre o solo. Com exceção do adubo feijão de porco, na profundidade de 10-20 cm, todos os adubos apresentaram níveis de IMC iguais ou superiores a 100, assim como a área de pousio, possivelmente em função dos bons estoques de CO_p observados nesta área, em função das presença de plantas espontâneas.

Diekow et al. (2005) avaliando diferentes coberturas vegetais em um Argissolo no Sul do Brasil, verificaram que a sucessão de milho e feijão guandu apresentou IMC 272% maior do que o solo descoberto, o que também pode ser observado nos resultados encontrados neste trabalho, onde o uso de feijão guandu proporcionou valores de IMC cerca de 75% maior do que na área de pousio nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

Tabela 7. Valores médios do índice de manejo de carbono nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, com o uso de diferentes adubos verdes em sistemas de uso do solo. Cassilândia, MS, 2017.

Tratamentos	IMC		
	0-10 cm ⁽¹⁾	10-20 cm ⁽¹⁾	20-30 cm
<i>Canavalia ensiformis</i>	77,3 c	70,2 e	219,3 a
<i>Cajanus cajan</i>	370,1 a	548,9 a	28,5 b
<i>Crotalaria juncea</i>	73,9 c	197,8 c	98,8 b
Pousio	211,0 b	316,5 b	221,0 a
Vegetação nativa	100,0 c	100,0 d	100,0 b
Teste F	21,2**	50,1**	11,3**
Média	166,5	246,7	133,5
CV (%) ⁽²⁾	6,3	4,6	37,5

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$). ⁽¹⁾ Dados transformados em log x, mas com médias originais apresentadas na tabela. Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ⁽²⁾ Coeficiente de variação.

Conclusões

Os maiores valores de IMC foram encontrados nas camadas superficiais e intermediárias nas áreas cobertas com o adubo verde feijão guandu.

O adubo verde feijão guandu apresentou maior destaque para incrementos nos teores de carbono no solo em um curto espaço de tempo, apresentando maiores valores de C_{Op} nas camadas de 0-10 (221%) e 10-20cm (330%), quando comparado com a vegetação nativa, e valores de COT e CO_{am} semelhantes aos encontrados nesta área referência, nas camadas 10-20 e 20-30 cm, respectivamente.

Literatura Citada

- Assis, C.P. de; Jucksch, I.; Mendonça, E. de S.; Neves, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.10, p.1541-1550, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001000012>.
- Bernini, T.A.; Loss, A.; Pereira, M.G.; Coutinho, F.S.; Zatorre, N.P.; Wadt, P.G.S. Frações granulométricas e oxidáveis da matéria orgânica do solo em sucessão floresta-pastagem no Acre. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.4, n.2, p.4334-4338, 2009. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/657774/1/22790.pdf>. 15 Nov. 2017.
- 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, n.7, p.1459-1460, 1995. <https://doi.org/10.1071/AR9951459>.
- 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.2, p.777-783, 1992. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>.
- Campos, M.C.C.; Soares, M.D.R.; Nascimento, M.F.; Silva, D.M.P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. *Revista Ambiente e Água*, v.11, n.2, p.339-349, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1819>.
- Chieza, E.D.; Guerra, J.G.M.; Araújo, E.S.; Espíndola, J.A.; Fernandes, R.C. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. *Revista Ceres*, v.64, n.2, p.189-196, 2017. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764020012>.
- Conceição, P.C.; Bayer, C.; Dieckow, J.; Santos, D.C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo do carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. *Ciência Rural*, v.44, n.5, p.794-800, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000004>.
- Conceição, P.C.; Dieckow, J.; Bayer, C. Combined role of no tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. *Soil and Tillage Research*, v.129, p.40-47, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.01.006>.
- Costa, E.M.; Silva, H.F.; Ribeiro, P.R.A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. *Enciclopedia Biosfera*, v.9, n.17, p.1842, 2013. <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/materia%20organica.pdf>. 01 Jul. 2018.
- Dieckow, J.; Mielniczuk, J.; Knicker, H.; Bayer, C.; Dick, D.P.; Kögel-Knabner, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. *Plant and Soil*, v.268, n.1, p.319-328, 2005. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0330-4>.
- Dortzbach, D.; Pereira, M.G.; Blainski, E.; González, A.P. Estoque de C e abundância natural de ¹³C em razão da conversão de áreas de floresta e pastagem em bioma mata Atlântica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.1, p.1643-1660, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140531>.
- Espíndola, J.A.A.; Guerra, J.G.M.; De-Polli, H.; Almeida, D.L.; Abboud, A.C.S. Adubação verde com leguminosas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005. 49p. (Coleção Saber). <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11957/2/00076310.pdf>. 22 Jun. 2017.
- Ferreira, L.E.; Souza, E.P.; Chaves, A.F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. *Revista Verde*, v.7, n.1, p.33-38, 2012. <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/681/1274>. 15 Nov. 2017.
- Freixo, A.A.; Machado, P.L.O.A.; Guimarães, C.M.; Silva, C.A.; Fadigas, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.2, p.25-434, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200016>.
- Köppen, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- Lima, C.E.P.; Fontenelle, M.R.; Madeira, N.R.; Silva, J.; Guedes, I.M.R.; Silva, L.R. B.; Soares, D.C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, n.4, p.378-387, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000400011>.
- Loss, A.; Coutinho, F.S.; Pereira, M.G.; Silva, R.A.C.; Torres, J.L.R.; Ravelli Neto, A. Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro. *Ciência Rural*, v.43, n.3, p.426-432, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000300008>.
- Machado, P.L.O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, v.28, n.2, p.329-334, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000200026>.
- Marchini, D.C.; Ling, T.C.; Alves, M.C.; Crestana, S.; Souto Filho, S.N.; Arruda, O.G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.6, p.574-580, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p574-580>.
- Moreira, J.A.A.; Oliveira, I.P.; Guimarães, C.M.; Stone, F. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico sob pastagens recuperada e degradada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.35, n.3, p.155-161, 2005. <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/2217/2173>. 15 Nov. 2017.

- Rosa, R.; Sano, E.E.; Rosendo, J.S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. *Sociedade e Natureza*, v.26, n.2, p.333-351, 2014. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140210>.
- Rossi, C.Q.; Pereira, M.G.; Giácomo, S.G.; Betta, M.; Polidoro, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.1, p.38-46, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100005>.
- Santos, A. C.; Silva, I. F.; Lima, J. R. S.; Andrade, A. P.; Cavalcante, V. R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n. 4, p.1063-1071, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000400028>.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumbrreras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Cunha, T.J.F.; Oliveira, J.B. (Eds.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- Silva, E. de B.; Tanure, L.P.P.; Santos, S.R.; Resende Júnior, P.S. de. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-manso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.4, p.392-397, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000400009>.
- Silva, F. de A.S.; Azevedo, C.A.V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>.
- Wadt, P.G.S.; Pereira, J.E.S.; Gonçalves, R.C.; Souza, C.B.C.; Alves, L.S. *Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas*. Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. 32p. (Embrapa Acre. Documento, 90). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/498802/1/doc90.pdf>. 19 Jun. 2018.
- Yeomans, J.C.; Bremner, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.