

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS**

**DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES
FONTES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE CAPIM MOMBAÇA (*Panicum
maximum* cv. Mombaça)**

LUISE TORRES OLIVEIRA

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
JULHO DE 2021**

**DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE CAPIM
MOMBAÇA (*Panicum maximum* cv. Mombaça)**

**Luise Torres Oliveira
Engenheira Florestal
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2018**

**Dissertação apresentada ao
Colegiado do Programa de Pós-
Graduação em Solos e Qualidade
de Ecossistemas da Universidade
Federal do Recôncavo da Bahia,
como requisito parcial para
obtenção do Título de Mestre em
Solos e Qualidade de
Ecossistemas.**

**Orientador: Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier
Coorientador: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega**

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
JULHO DE 2021**

FICHA CATALOGRÁFICA

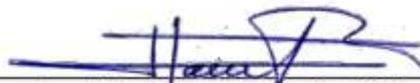
O48d	<p>Oliveira, Luise Torres.</p> <p>Dinâmica do carbono orgânico do solo em função de diferentes fontes de nitrogênio no cultivo de capim mombaça (<i>Panicum maximum</i> CV. Mombaça) / Luise Torres Oliveira. _ Cruz das Almas, Bahia, 2021. 42f.; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier.</p> <p>Coorientador: Prof. Dr. Júlio César de Azevedo Nóbrega.</p> <p>1.Solo – Adubação – Efeito do nitrogênio. 2.Solo – Plantas forrageiras – Cultivo. 3.Crotalaria – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 631.85</p>
------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.
Responsável pela Elaboração - Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).
(os dados para catalogação foram enviados pela usuária via formulário eletrônico).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSISTEMAS**

**DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE CAPIM
MOMBAÇA (*Panicum maximum* cv. Mombaça)**

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
LUISE TORRES OLIVEIRA



Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier (Orientador)
Embrapa Mandioca e Fruticultura



Prof. Dr. Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia



Dr. Fabiane Pereira Machado Dias
Serviço Nacional de Aprendizagem Rural

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas em _____, conferindo o Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas em _____.

AGRADECIMENTOS

“Porque dele, por ele, para ele são todas as coisas” Romanos 11:36.

A Deus pela sua bondade e misericórdia na minha vida, e por ter me ajudado em todos os momentos que pensei que não seria capaz.

Aos meus pais Pedro e Luiza por sempre me incentivarem a persistir e por acreditarem no meu potencial.

Aos meus avós Silvio, Kezinha e Hildete que contribuíram na minha formação e me ajudaram a chegar até aqui.

Ao meu orientador Francisco Alisson, pela paciência, dedicação e contribuição na minha formação profissional.

Ao meu coorientador Júlio Nóbrega, pela excelência nas aulas, ensinamentos transmitidos e dedicação e aos demais professores do programa de solos e qualidade de ecossistemas.

Aos técnicos, analistas e estagiários da EMBRAPA-Mandioca e Fruticultura, em especial Roque, Luciano e Alessandro que me ajudaram muito nas análises, se não fosse eles, não teria conseguido a finalização das mesmas.

Aos meus colegas do mestrado, Lay, Raissa, João, Audrey e Karol que estiveram sempre presentes me ajudando.

As minhas amigas Mirelle, Naiara, Victória, Isabele, Marlana, Badu e Jéssica, que sempre me apoiaram, me incentivaram a continuar e oraram por mim.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia que possibilitou meus estudos durante 8 anos, à EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura que possibilitou a realização das análises e a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da Bolsa.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1 Descrição geral do experimento.....	12
2.2 Amostragem do solo e análises.....	14
2.2.1 Carbono orgânico total.....	14
2.2.2 Carbono microbiano (Cmic).....	14
2.2.3 Respirimetria (CO ₂).....	15
2.2.4 Carbono orgânico particulado.....	16
2.2.5 Carbono lábil.....	16
2.3. Índice de Manejo de Carbono.....	17
2.4. Análises estatísticas.....	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
3.1 Produção de matéria seca	18
3.2. Teores totais de carbono orgânico total do solo	20
3.3. Carbono da biomassa microbiana e evolução de CO ₂	22
3.4. Carbono orgânico particulado.....	25
3.5. Carbono lábil.....	27
3.6 Índice de Manejo de Carbono.....	29
4. CONCLUSÕES.....	31
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

LISTA DE TABELAS

	pag.
Tabela 1 – Atributos químicos e físicos de um Latossolo Amarelo distrocoeso nas camadas de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m antes da instalação do experimento, Cruz das Almas-BA, 2018	13
Tabela 2 – Resumo da análise de variância em relação a produção de matéria seca do <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça em função dos diferentes tratamentos de adubação e estações do ano.....	19
Tabela 3 – Teores de carbono da biomassa microbiana (Cmic), quociente microbiano (Cmic/COT), respirometria (C-CO ₂), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO ₂) de um Latossolo Amarelo distrocoeso na camada de 0 – 20 cm sob o cultivo do <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça em função de diferentes tratamentos de adubação nitrogenada.	22
Tabela 4 – Teores de carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado a mineral (COAm) e índices em relação ao carbono orgânico total (COT) de um Latossolo Amarelo distrocoeso na camada de 0 – 20 cm, sob cultivo de <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça em função de diferentes tratamentos de adubação nitrogenada.	26
Tabela 5 – Teores de carbono lábil (CL), carbono não lábil (C-NL) e índices em relação ao carbono orgânico total (COT) de um Latossolo Amarelo distrocoeso na camada de 0 – 20 cm, sob cultivo de <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça.....	28

LISTA DE FIGURAS

	pag.
Figura 1 – Mapa de localização da área do experimento.....	12
Figura 2 – Produção de matéria seca do <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça em relação as estações do ano.....	19
Figura 3 – Teores de carbono orgânico total do solo na profundidade de 0 – 20 cm de um Latossolo Amarelo distrocoeso em relação a produção de <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça.....	20
Figura 4 – Curva de evolução de C-CO ₂ de um Latossolo Amarelo distrocoeso na camada de 0 – 20 cm, sob cultivo de <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça.	25
Figura 5 – Índice de manejo de carbono (IMC) de um Latossolo Amarelo distrocoeso em relação a produção de <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça.	30

DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE CAPIM MOMBAÇA (*Panicum maximum* cv. Mombaça)

Autor: Luise Torres Oliveira

Orientador: Francisco Alisson da Silva Xavier

Coorientador: Júlio César de Azevedo Nóbrega

RESUMO:

A recuperação de pastagens pela adubação é uma estratégia que visa a manutenção da capacidade produtiva dos sistemas pecuários e tem sido considerada uma das ações capazes de aumentar o sequestro de carbono (C) no solo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação nitrogenada sobre a produção de matéria seca e os teores de carbono (C) orgânico do solo no cultivo do capim Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça). O estudo foi desenvolvido no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, município de Cruz das Almas, Bahia. Utilizou-se o delineamento em blocos inteiramente casualizados, com três repetições, utilizando parcelas experimentais de 4 m² para avaliar os seguintes tratamentos: Capim mombaça (CM) cultivado sem adubação; CM com adição de: 1) cama de frango (CM+CF), 2) Uréia (CM+UR), 3) *Crotalaria juncea* (CM+LEG), 4) Cama de frango + Uréia (CM+CF+UR), 5) Cama de frango + *Crotalaria juncea* (CM+CF+LEG); *Crotalaria juncea* (LEG) e uma área paralela ao experimento mantida sem vegetação (LIMP). As amostras de solo foram coletadas da profundidade de 0-0,20 m para determinação das seguintes variáveis: C orgânico total (COT), C da biomassa microbiana (Cmic), respiração basal do solo (C-CO₂), C orgânico particulado (COP), C orgânico associado aos minerais (COAm). Com base na labilidade do C do solo, calculou-se o índice de manejo de C (IMC). A produção de matéria seca do capim Mombaça foi maior na estação do inverno e não foi afetada significativamente pelo manejo da adubação nitrogenada. Os tratamentos de adubação não afetaram significativamente os teores de COT do solo. O tratamento CM+CF+LEG aumentou os teores de Cmic em 50 e 83% em relação aos tratamentos CM+LEG e LEG, respectivamente. A respiração basal não diferiu entre os tratamentos avaliados, sendo que LEG apresentou maior valor de coeficiente metabólico, indicando condição de maior estresse microbiano. O COP representou em média 18% do COT do solo, sofrendo pouca influência quanto ao tipo de adubação, porém, aumentou 59% em relação ao solo sem vegetação, mostrando que a cobertura vegetal é fundamental para a manutenção do compartimento lábil do solo. O IMC foi significativamente reduzido nos tratamentos LIMP e LEG, mostrando perdas quantitativas e qualitativas do C orgânico do solo. As diferentes fontes de adubação nitrogenada no cultivo do *Panicum maximum* cv. Mombaça não foram eficientes para aumentar os teores de C orgânico no solo. Novos estudos devem ser conduzidos em médio a longo prazo visando uma avaliação mais robusta do efeito do manejo da adubação no cultivo do capim Mombaça sobre o potencial de sequestro de C no solo.

Palavras-chave: *Crotalaria juncea*; carbono orgânico particulado; carbono lábil; respiração basal.

DYNAMICS OF SOIL ORGANIC CARBON AS A FUNCTION OF DIFFERENT NITROGEN SOURCES IN MOMBAÇA GRASS CULTIVATION (*Panicum maximum* cv. Mombaça)

Author: Luise Torres Oliveira

Advisor: Francisco Alisson da Silva Xavier

Coadvisor: Júlio César de Azevedo Nóbrega

ABSTRACT: The recovering of pastures through nitrogen (N) fertilization is a suitable approach to maintain the productive capacity of livestock systems and has been considered one of the strategies to increase carbon (C) sequestration in the soil. This study aimed to evaluate the effect of N-fertilization on dry matter production and soil organic carbon (SOC) contents in the cultivation of Mombaça grass (*Panicum maximum* cv. Mombaça). The study was carried out in the experimental field of the Federal University of Recôncavo da Bahia, municipality of Cruz das Almas, Bahia. A completely randomized block design was used with three replications, using experimental plots of 4 m² to evaluate the following treatments: Mombaça grass (MG) cultivated without N-fertilization; MG with addition of: 1) poultry litter (MG+PL), 2) Urea (MG+UR), 3) *Crotalaria juncea* (MG+LEG), 4) poultry litter + Urea (MG+PL+UR), 5) poultry litter + *Crotalaria juncea* (MG+PL+LEG); *Crotalaria juncea* (LEG). Soil samples were collected from 0-0.20 m depth to determine the following variables: total soil organic C (SOC), microbial biomass C (C_{mic}), soil basal respiration (SBR), particulate organic C (POC), mineral associated organic C (mAOC). Based on the lability of soil C, the C management index (CMI) was calculated. The dry matter production of Mombaça grass was higher in the winter season and was not significantly affected by N-fertilization management. The fertilization treatments did not significantly affect the total SOC contents. The MG+PL+LEG treatment increased the C_{mic} contents by 50 and 83% compared to the MG+LEG and LEG treatments, respectively. The SBR did not differ among the evaluated treatments, and LEG soil had a higher metabolic coefficient value, suggesting a high condition of stress for soil microbial growth. The POC represented on average 18% of the SOC, and was not significantly affected by N-fertilization. Soil POC increased 59% in relation to the soil without vegetation (Bare soil), showing that vegetation cover is essential for the maintenance of the labile-C pool. CMI was significantly reduced in LEG treatment, showing quantitative and qualitative losses of SOC. On the conditions of the present study, mineral or organic sources for N-fertilization in the cultivation of *Panicum maximum* cv. Mombasa were not efficient to increase organic C contents in the soil. New studies need to be driven in the medium to long-term aiming a more robust evaluation of the potential of N-fertilization for soil C sequestration in the cultivation of the Mombaça grass.

Keywords: *Crotalaria juncea*; particulate organic carbon; labile carbon; soil basal respiration.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil existem cerca de 160 milhões de hectares utilizados como pastagens. Estima-se que cerca de 70% dessa área encontra-se em algum estado de degradação, o que contribui para uma baixa produção por área, menor produção de material vegetal da cultura e menores níveis de C orgânico total do solo, sendo assim, constitui-se como um dos principais gargalos para a sustentabilidade da atividade pecuária no país (CORDEIRO et al., 2015; RIBEIRO-JÚNIOR et al., 2017).

Grande parte desse processo de degradação em áreas de pastagens estão ligadas a falhas na correção do solo por falta de uma adubação correta, principalmente a nitrogenada, que é um dos nutrientes mais limitantes no crescimento de uma cultura, fazendo com que o solo perca sua fertilidade e reduza os níveis de C orgânico do solo, favorecendo o aumento dos gases do efeito estufa (DENARDIN et al., 2019). No entanto, quando essas áreas são bem manejadas, os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo nas pastagens podem ser até maiores que uma área de vegetação nativa (ROSA et al., 2014).

Um dos principais nutrientes para a manutenção da produtividade, e para maximizar o rendimento da matéria seca de gramíneas forrageiras é o nitrogênio (N), também tido como um componente importante de proteínas (DUPAS et al., 2016). Quando o nitrogênio é aplicado no solo e é assimilado pelas plantas, ele se associa as cadeias de carbono e promove o aumento dos constituintes celulares, aumentando o vigor do rebrote e da produção total de matéria seca das plantas, isso sob condições climáticas favoráveis. É um elemento que é exigido pelas plantas em maior quantidade, geralmente representando 20 a 40 g/kg da massa seca dos tecidos vegetais (GALINDO et al., 2017).

A utilização de plantas de cobertura, que promovam maior quantidade de matéria seca no solo, sejam gramíneas ou leguminosas, é muito eficiente para a ciclagem de nutrientes no solo e para sua manutenção, principalmente pelo potencial de adição de N e para o sequestro de C no solo (SISTI et al., 2004). Aumentar o teor de C no solo, é um importante fator, pois irá auxiliar na melhoria da estrutura física do solo pela melhor agregação, maior porosidade, melhor infiltração e armazenamento de água e nestas condições, as plantas vão ter a possibilidade de produzir raízes mais profundas, que vão lhe conferir a vantagem de buscar nutrientes e água, através das camadas mais profundas do solo (FERREIRA et al., 2019). Esse material depositado no solo por essas plantas de cobertura,

passa a fazer parte de sua matriz, constituindo a matéria orgânica do solo. A adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo representam alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de C-CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento global (AMADO et al., 2001; BAYER et al., 2006; CARNEIRO et al., 2009).

Dentre as espécies de gramíneas que vem sendo bastante utilizada como planta de cobertura é a espécie forrageira capim mombaça [*Panicum maximum* cv. Mombaça BK Simon & SWL Jacobs]. Em ambientes subtropicais e tropicais esta espécie apresenta um dos maiores potenciais de produção de matéria seca, entretanto, é exigente em nutrientes, apresentando bons rendimentos quando submetida a adubação nitrogenada bem manejada (GALINDO et al., 2017).

Dentre as espécies de leguminosas é a *Crotalaria juncea* L., que é recomendada como adubo verde, tendo crescimento inicial mais rápido e uma alta produção de material vegetal (FRANKE & MARINHO, 2020). Também utilizada como adubo verde por causa da associação com as bactérias do gênero *Rhizobium* fixadoras de N e por promoverem a melhoria de diversos atributos do solo, por meio da ciclagem de nutrientes e descompactação (TEJADA et al., 2008).

A escolha de culturas que tem uma alta produção de biomassa vegetal, garante uma cobertura no solo e essa biomassa acumulada, deixada no solo, representa uma maior quantidade de C sendo adicionada no solo a cada ano, que contribuem para maior atividade de microrganismos, estabilidade de agregados, mineralização de nutrientes, acúmulo de MOS fisicamente protegida, maior CTC e até mesmo complexação de Al⁺³ (DIECKOW et al., 2005). A cobertura vegetal no solo proporcionada pela alta produção de material vegetal é uma importante forma de manter o fornecimento constante de matéria orgânica ao solo (MOS), ou seja, maior estoque de C no solo, contribui positivamente nas características físicas, químicas e biológicas no solo (FERREIRA et al., 2019).

Entender quais fatores controlam os níveis de C do solo e sua estabilidade em resposta ao manejo de pastagens é importante, pois o armazenamento do C no solo em longo prazo se torna necessário para mitigar as mudanças climáticas e vai requerer estabilização nas formas menos suscetíveis a perdas (ADKINS et al., 2016). Segundo Ribeiro et al. (2011), o que determina seu efeito e tempo de permanência no solo é o acúmulo das diferentes frações (lábeis ou estáveis) da MOS.

Os compartimentos de C representados pela biomassa microbiana, C orgânico particulado e C lábil, são considerados as frações lábeis da MOS, mais sensíveis às variações ocorridas no C orgânico do solo pelas diferentes práticas de manejo. Já as frações C orgânico associado a minerais e C não-lábil, são consideradas as mais estáveis, refletindo os impactos do manejo a longo prazo (BARRETO et al., 2014). As frações lábeis de C, devido a sua natureza dinâmica, apresentam respostas mais rápidas as modificações nos teores de matéria orgânica, em função as práticas de manejo, como por exemplo, o manejo de adubação nitrogenada no solo, que pode ser considerada sensíveis indicadores para monitorar as mudanças nos estoques de C orgânico do solo (HAYNES, 2005).

A análise das frações do C orgânico do solo, vai permitir correções nas estratégias de uso e de manejo, pois cada fração pode representar variadas velocidades de decomposição (CHAN; BOWMAN; OATES, 2001). Quando o solo não dispõe de C prontamente biodisponível em quantidades suficientes para suprir a demanda da microbiota do solo, os processos de oxidação da MOS resultam em redução dos estoques de C, o que, por consequência, dará início aos processos de degradação do solo (CAUSARANO et al., 2008).

Segundo Rosset et al. (2016), o conhecimento das frações do C orgânico do solo vai permitir que essas características possam ser utilizadas como indicadores na dinâmica do C do solo ao longo do tempo de cultivo, que são sensíveis as práticas de manejo. Na agricultura, a matéria orgânica como indicadora da qualidade do solo está relacionada com o aporte de material vegetal adicionado, que por sua vez dependem de fatores como a relação C/N, granulometria e tipo de solo, que interferem na dinâmica do carbono orgânico do solo (MALUF et al., 2015; ROSA et al., 2017).

Nesse contexto, a hipótese investigada nesse trabalho foi de que o uso combinado das diferentes fontes de nitrogênio reflete no aumento do C orgânico do solo no cultivo do capim mombaça. Esse aumento no teor do C orgânico do solo pode ser melhor avaliado por meio do fracionamento do C orgânico do solo que respondem mais rapidamente aos efeitos da adubação.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a produção de matéria seca e o efeito da adubação nitrogenada sobre os compartimentos do C orgânico do solo no cultivo do capim Mombaça.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição geral do experimento de campo

O estudo foi desenvolvido na área experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, situada no município de Cruz das Almas-BA ($39^{\circ}05'28''$ W e $12^{\circ}41'50,44''$ S e altitude de 226 metros) (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da região é do tipo tropical quente e úmido (Am), com estações secas no verão, principalmente de setembro a fevereiro e chuvosa no inverno, com precipitação média anual de 1.224 mm distribuída entre os meses de março e agosto, e temperatura média anual de $24,5^{\circ}\text{C}$ (ALMEIDA, 1999).

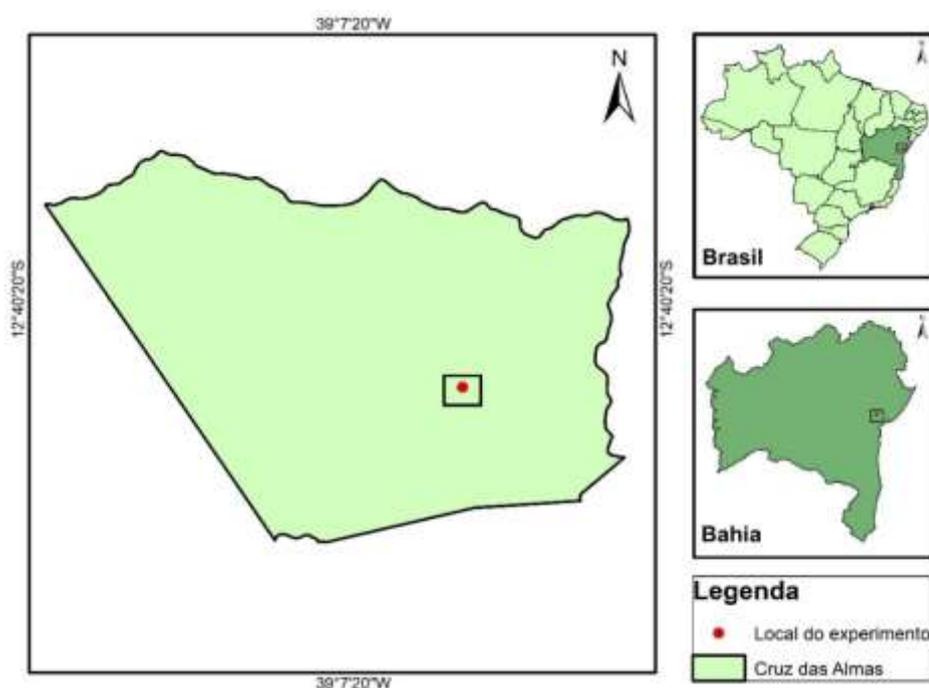


Figura 1. Localização da área do experimento.

No período de dezembro de 2018 a março de 2020 foi conduzido um experimento de campo sob um Latossolo Amarelo distrocoeso para avaliar o efeito da adubação nitrogenada sobre o crescimento do capim *Panicum maximum* cv. Mombaça. A área total do experimento foi de 170 m^2 ($10\text{ m} \times 7\text{ m}$), com parcelas de $2\text{ m} \times 2\text{ m}$. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, com três repetições. As

características físico-químicas do solo antes da implantação do experimento estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Amarelo distrocoeso nas camadas de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m antes da instalação do experimento, Cruz das Almas-BA, 2018.

Prof. m	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	V %	CO g kg ⁻¹
0,0-0,20	4,8	2,86	29	1,2	0,6	0,19	3,3	1,9	5,20	36	5,3
0,20-0,40	5,0	2,03	24	1,1	0,6	0,19	1,7	1,8	3,49	52	5,4
	Areia	Site	Argila	Classe textural							
	----- g kg ⁻¹ -----										
0,0-0,20	768	54	178	Franco arenoso							

SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; CO: carbono orgânico. P e K⁺: Solução extratora Mehlich -1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); Ca²⁺ + Mg²⁺ e Al³⁺: KCl 1 mol L⁻¹.

O preparo inicial do solo foi feito por meio de uma aração seguida de duas gradagens. Em função dos resultados da caracterização química do solo e necessidade da cultura quanto aos nutrientes disponíveis aplicou-se determinadas as doses de calcário e de adubação. A calagem foi realizada manualmente, dentro de cada parcela, pelo método a lanço, utilizando o calcário dolomítico (PRNT= 90%) visando elevar os teores de cálcio e magnésio a níveis exigidos pela cultura. Após a reação do calcário com o solo, cerca de 90 dias, foram aplicadas as doses de 70 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, em cada parcela, seguida da semeadura do *Panicum maximum* cv. Mombaça (Capim Mombaça), realizada em novembro de 2018, feita manualmente em linhas, no espaçamento de 0,2 m entre linhas. A adubação potássica foi feita com KCl na dose de 40 kg ha⁻¹, em cada parcela, em janeiro de 2019, quando cerca de 60% da área de cada parcela encontrava-se coberta com o capim.

Os tratamentos avaliados foram: Capim mombaça (CM) cultivado sem adubação nitrogenada; CM com adição de: 1) cama de frango (CM+CF), 2) Ureia (CM+UR), 3) *Crotalaria juncea* (CM+LEG), 4) Cama de frango + Ureia (CM+CF+UR), 5) Cama de frango + *Crotalaria juncea* (CM+CF+LEG); *Crotalaria juncea* (LEG) e uma área mantida sem vegetação (LIMP). Para os tratamentos que utilizaram a adubação química nitrogenada a quantidade ureia aplicada correspondeu a dose de 110 kg ha⁻¹. Os tratamentos onde houve adição de cama de frango receberam a dose correspondente a 10 t ha⁻¹ em cobertura. As doses de N foram definidas pelo nível de produtividade almejada, em torno de 15 t MS ha⁻¹ano⁻¹.

2.2 Amostragem do solo e análises

Em outubro de 2020 foi realizada a amostragem do solo na profundidade de 0,0 a 0,20 m. A amostragem foi feita no interior das parcelas com auxílio de um trado tipo holandês. Em cada parcela foram coletadas três amostras simples que foram misturadas para formar uma amostra composta representativa do respectivo tratamento. Foram coletadas ainda amostras de solo de uma área paralela a área experimental, que estava sob pousio e sem qualquer tipo de vegetação de cobertura. Esta área serviu para comparação de uma condição de solo completamente exposto e sem adição de qualquer tipo de adubação. Após a coleta, amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e imediatamente levadas para os laboratórios da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Após a coleta, parte das amostras foi congelada em câmara fria a 4°C para posteriores análises microbiológicas. Para as demais análises, o solo foi seco em temperatura ambiente para obter a terra fina seca ao ar e, em seguida, destorroado e passado em peneira de 2,00 mm de abertura de malha.

2.2.1 Carbono orgânico total (COT)

Para a quantificação dos teores de C orgânico total do solo (COT) as amostras foram inicialmente trituradas no almofariz, em seguida, foram pesadas aproximadamente 20 mg de solo em capsulas de estanho e armazenadas em um recipiente até o momento da análise. A determinação dos teores de C orgânico total do solo (COT) foi feita por combustão via seca por meio de analisador elementar (TOC Vario Cube, Alemanha).

2.2.2 Carbono microbiano (Cmic)

A determinação do C microbiano (Cmic) foi feita pelo método da irradiação-extração (FERREIRA et al., 1999), utilizando o forno micro-ondas modelo Panasonic com potência de 900 W e frequência de 2.450 MHz. Dois dias antes da realização das análises, as amostras foram retiradas da refrigeração a 4°C e deixadas em temperatura ambiente por 48 horas. Em seguida, foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm e homogeneizadas para o processamento da análise.

O processo de extração do Cmic envolveu a lise das células microbianas por meio da irradiação por forno micro-ondas. O tempo de exposição das amostras à irradiação por

micro-ondas foi calculado de acordo com o modelo do aparelho supracitado, que foi de 1,18 minutos. Para tal, foram pesadas quatro sub-amostras de 20 g de solo de cada tratamento e colocadas em erlenmeyer, sendo duas sub-amostras irradiadas e duas não-irradiadas. Logo após, todas as sub-amostras receberam 50 ml da solução extratora K_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, com o pH ajustado na faixa de 6,5 a 6,8. Em seguida, foram agitadas por 30 minutos em agitador horizontal e centrifugadas a 2500 rpm por 15 minutos. Após a extração, o sobrenadante foi filtrado com auxílio de papel de filtragem lenta e armazenado sob refrigeração até o momento da análise. Para a quantificação do C nos extratos, retirou-se uma alíquota de 5 ml com auxílio da pipeta que foi transferida para um tubo tipo falcon. Na sequência, foi adicionado 5 ml da solução de K_2MnO_4 $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ seguida da leitura em espectrofotômetro (Gênese 10S UV/VIS, Thermo Scientific®) ajustado para comprimento de onda de 495 nm. Os teores de C_{mic} (mg kg^{-1}) foram calculados utilizando a seguinte fórmula: $C_{mic} = C_i - C_{ni} / K_c$, onde C_i e C_{ni} são os teores de C obtidos nos extratos das amostras irradiadas e não-irradiadas, respectivamente; e o K_c representa o fator de conversão usado para converter o fluxo de C para C da biomassa microbiana de 0,33 (SPARLING e WEST, 1988).

2.2.3 Respirometria (C-CO₂)

A atividade microbiana foi determinada através da quantificação do C-mineralizável pelo método da respirometria, por meio do desprendimento do CO₂. A quantificação da respirometria foi realizada em amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm, armazenadas sob refrigeração constante de 4°C em câmara fria. Antes da realização da análise as amostras foram retiradas da refrigeração e deixadas por 48 horas em temperatura ambiente, em seguida foram destorroadas e passadas na peneira com malha de 4 mm e homogeneizadas. Antes do ensaio, as amostras foram incubadas a temperatura ambiente por oito dias, visando reestabelecer e equilibrar a atividade dos microrganismos. Após esse período, iniciou-se o ensaio utilizando o método IRGA (analisador de gás por infravermelho) modelo LI-8100 (LI-COR®, EUA), que monitora as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara por meio de espectroscopia de absorção óptica na região do infravermelho, esse analisador é ligado a um computador para gerar os dados em planilha eletrônica. Foram pesadas 100 g de cada amostra de solo que foram acondicionadas em frascos de vidro com volume de 500 cm³, hermeticamente fechado para captura do CO₂ liberado do solo. A curva de C-CO₂ foi obtida por meio das leituras executadas através do aparelho nos intervalos de 7, 10, 14, 17, 21, 24, 29, 33, 36, 39 dias

após a incubação. Entre os intervalos as amostras permaneceram em ambiente controlado utilizando BOD ajustada para $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Com esses dados foram calculados o fluxo de C-CO₂ do solo e o resultado foi expresso em mg C-CO₂ kg⁻¹ solo dia⁻¹.

O coeficiente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi obtido pela relação entre a taxa de respiração basal, que é a medida diária da produção de CO₂, e o C da biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1985), conforme a equação:

$$q\text{CO}_2 = \frac{C\text{-CO}_2}{C_{\text{mic}}} \times 100$$

Onde:

$q\text{CO}_2$ = Coeficiente metabólico (mg CO₂ mg⁻¹ C_{mic} dia⁻¹ x 100);

C-CO₂ = Respiração basal do solo (mg CO₂ kg⁻¹ solo dia⁻¹);

C_{mic} = Teor de C microbiano (mg kg⁻¹).

2.2.4 Carbono orgânico particulado (COP)

O C orgânico particulado (COP) foi obtido por meio do fracionamento físico feito segundo o método adaptado de Cambardella & Elliot (1992), no qual pesou-se 10 g de cada amostra de solo que foram dispersas em 30 ml de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹), que foram posteriormente agitadas por 15 horas no agitador horizontal a 155 rpm. Com o solo disperso, as amostras foram passadas na peneira de 0,053 mm com o auxílio de um jato de água. O material que ficou retido na peneira consistiu no COP associado à fração areia e o material que passou pela peneira (silte + argila) considerado como C orgânico associado aos minerais (COAm). Após a extração, estas frações foram secas em estufa a 50° C até o peso constante. Posteriormente, amostras foram quantificadas em relação à sua massa, trituradas e levadas para análise de C por oxidação via seca por meio de analisador elementar (TOC Vario Cube, Alemanha).

2.2.5 Carbono lábil (CL)

Para a determinação do C lábil (CL) foi utilizado o método de extração em permanganato de potássio, segundo o método adaptado de Weil et al. (2003). Foi pesado 2,5g de solo (TFSA) em tubos de centrífuga com capacidade de 50 ml e em seguida foi adicionado 2 ml da solução extratora KMnO₄ 0,2 M (previamente padronizado) + 20 ml

de água deionizada. Sequencialmente, os tubos foram agitados a 200 rpm por 15 min e em seguida levados a centrifugação a 3000 rpm por 5 min. Logo após, foi coletado 0,5 ml do sobrenadante que foi adicionado a 50 ml de água deionizada para diluição em tubo de ensaio e quantificados por espectrofotometria a um comprimento de onda de 550 nm.

2.3 Índice de manejo de carbono

Com base na análise das frações lábeis e não lábeis do C orgânico do solo, foi calculado o índice de manejo de carbono (IMC) de acordo com Dieckow et al. (2005). Inicialmente foi calculado o índice de estoque de carbono (IEC) (equação 1) e a labilidade do carbono (L) (equação 2), a qual permitiu a estimativa do índice de labilidade de carbono (ILC) (equação 3). A partir do IEC e ILC foi calculado o IMC expresso em porcentagem (equação 4). O tratamento CM foi considerado como área referência.

$$ICC = \frac{COT\ trat}{COT\ ref} \quad (1)$$

Onde:

ICC = Índice de compartimento de carbono;

COT trat = Teor de carbono orgânico total do tratamento ($g\ kg^{-1}$);

COT ref = Teor de carbono orgânico total da área referência ($g\ kg^{-1}$).

$$L = \frac{CL}{CNL} \quad (2)$$

Onde:

L = Labilidade do carbono;

CL = Teor de carbono orgânico particulado ($g\ kg^{-1}$);

CNL = Teor de carbono orgânico associado aos minerais ($g\ kg^{-1}$).

$$ILC = \frac{L\ trat}{L\ ref} \quad (3)$$

Onde:

ILC = Índice de labilidade do carbono;

L trat = Labilidade do carbono do tratamento;

L ref = Labilidade do carbono da área de referência.

$$\text{IMC} = \text{ICC} \times \text{ILC} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

IMC = Índice de manejo do carbono (%);

IEC = Índice de compartimento de carbono;

ILC = Índice de labilidade de carbono.

O IMC foi utilizado para avaliar o efeito do manejo sobre a recuperação dos teores de C orgânico do solo. Na área de referência o IMC foi considerado como 100, portanto, valores de IMC na área do tratamento acima ou abaixo da área de referência significam, respectivamente, ganhos ou perdas no potencial de armazenagem de carbono e na qualidade do solo (BLAIR et al., 1995; DIECKOW et al., 2005; VIEIRA et al., 2007).

2.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e quando o teste F foi significativo as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Para avaliação da dinâmica da respiração microbiana foi realizada análise de regressão. Todas as análises foram realizadas com auxílio do Programa R, utilizando os pacotes *ExpDes.pt* (FERREIRA et al., 2021) e *agricolae* (MENDIBURU, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de matéria seca

Não houve efeito significativo para a interação entre os tratamentos de adubação e as estações do ano para a produção de matéria seca do capim mombaça (Tabela 2). Houve efeito significativo entre às estações do ano e mostrou que o acúmulo médio de matéria seca foi maior no inverno quando comparado ao verão e primavera (Figura 2). Esse resultado corrobora com o de Mota et al. (2020), que encontraram maiores médias para produção de matéria seca do Capim Mombaça no período do inverno. Galindo et al. (2017), também relataram nos seus estudos valores de produção de matéria seca maiores no período chuvoso, referente a estação do inverno, que vai do mês de junho a setembro, favorecendo o crescimento da cultura. Segundo a Embrapa (2014), o Capim Mombaça apresenta de 70 a 80% da sua produção de forragem durante o período do inverno,

recomendado que tenha o seu uso concentrado neste período para permitir seu melhor aproveitamento. A produção de matéria seca na estação primavera diferenciou estatisticamente das demais estações, tendo a menor porcentagem de matéria seca e uma perda de 43,53% em relação as demais estações do ano.

Tabela 2. Resumo da análise de variância em relação a produção de matéria seca do *Panicum maximum* cv. Mombaça em função dos diferentes tratamentos de adubação e estações do ano.

Fonte de variação	GL	QM	Pr > F
<i>Coberturas (A)</i>	5	9,159	0,389
Erro (a)	10	7,851	
<i>Estações (B)</i>	3	90,784	1E-06 ***
<i>A x B</i>	15	7,360	0,246
Erro (b)	36	6,619	

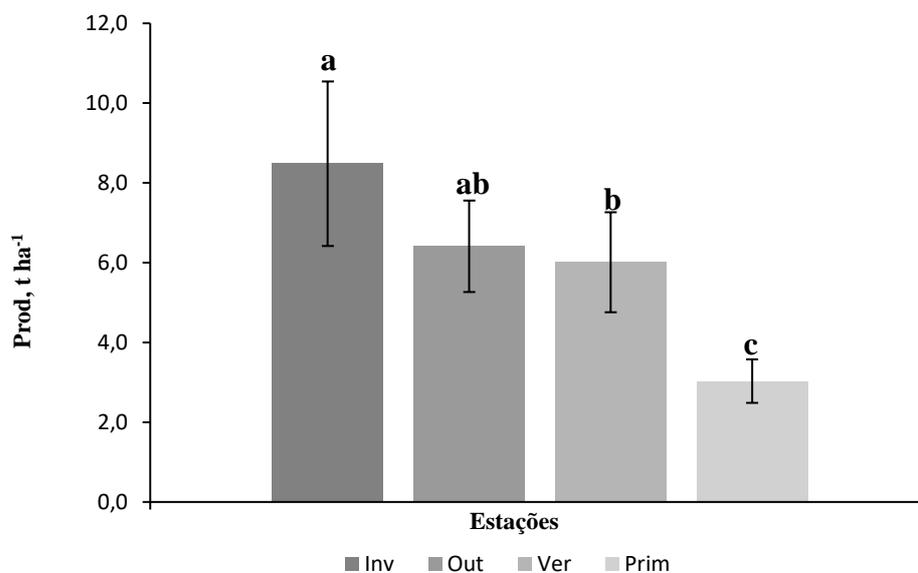


Figura 2. Produção de matéria seca do *Panicum maximum* cv. Mombaça em relação as estações do ano. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras na vertical indicam o desvio padrão da média.

3.2 Teores totais de carbono orgânico do solo

Os teores de C orgânico total (COT) do solo variaram de 6,52 a 9,17 g kg⁻¹. A área LIMP diferenciou estatisticamente das demais, exceto da área LEG (Figura 3). Não houve diferença significativa entre os tratamentos com adubação nitrogenada e a área de referência (CM) (Figura 1).

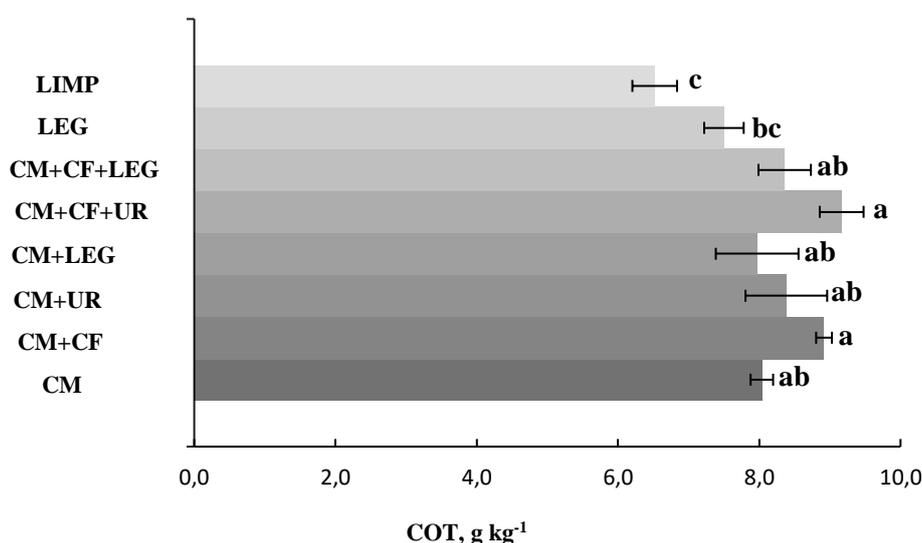


Figura 3. Teores de carbono orgânico total do solo (COT) na profundidade de 0 – 20 m de um Latossolo Amarelo distrocoeso em relação a produção de *Panicum maximum* cv. Mombaça. LIMP= solo sem cobertura vegetal; LEG= plantio de *Crotalaria juncea*; CM+CF+LEG= Capim Mombaça + Cama de frango + *Crotalaria juncea*; CM+CF+UR= Capim Mombaça + Cama de frango + ureia; CM+LEG= Capim Mombaça + *Crotalaria juncea*; CM+ UR= Capim Mombaça + ureia; CM+CF= Capim Mombaça + cama de frango; CM= Capim Mombaça. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Barras na horizontal indicam o desvio padrão da média.

O fato da não diferença estatística entre os tratamentos de adubação nitrogenada e a área de referência indica que o aporte de resíduos orgânicos proveniente do capim na superfície do solo, não contribuiu para elevar o teor de C orgânico do solo, mesmo com a adição de adubação nitrogenada. Amado et al. (2001) afirmaram que a adubação nitrogenada é um importante elemento no aumento das taxas de adição de resíduos

vegetais ao solo e conseqüentemente, acúmulo de C orgânico no solo. Leite et al. (2003), avaliando o teor de C orgânico total do solo, observaram que o sistema com adubação nitrogenada resultou em maiores valores de COT, em relação ao sistema sem adubação nitrogenada.

Porém, nesse estudo o uso das diferentes fontes de adubação nitrogenada, isoladamente ou juntas, não incrementaram maiores valores de COT em relação ao tratamento só com a presença do capim (CM), ou seja, não foram eficientes em aumentar as taxas de adição dos resíduos vegetais do capim ao solo. Esse fato pode ser explicado pela alta relação C/N, do material que é depositado no solo, proveniente do capim mombaça, o que torna a decomposição mais demorada e conseqüentemente, a disponibilização de nitrogênio ao solo mais lenta. Giongo et al. (2011) avaliando a relação C/N entre gramínea e leguminosa, viu que a relação C/N da gramínea, fica próximo 40, tendo uma decomposição mais demorada.

Segundo Rossi et al. (2012), as gramíneas tem um grande potencial de fornecer C ao solo, pois elas apresentam um sistema radicular extenso, no qual é constantemente renovado, sendo elas uma espécie com alta capacidade de acumulação de biomassa seca, o que pode se associar com o acúmulo de C orgânico no solo (BAYER & BERTOL, 1998; REGO et al., 2018).

Porém, em relação a área sem a presença de vegetação LIMP, que diferiu estatisticamente das demais, com exceção do tratamento LEG, tendo a pior média de 6,52 g kg⁻¹, o que já era esperado, já que se trata de uma área que não tem deposição de material vegetal no solo e presença de raízes. Diferentemente da área com a presença de vegetação que tem o aporte constante de biomassa depositada pelo capim na superfície do solo.

Os tratamentos que tiveram a adição da leguminosa não promoveu incremento no teor de COT no solo. Isto pode ser explicado pelo fato de que as leguminosas têm baixa relação C/N, cerca de 16 (GIONGO et al., 2011), ou seja, apresentam rápida decomposição e alta mineralização de nutrientes.

Os manejos com UR e CF tanto isolados quanto juntos, também não alteraram significativamente os teores de COT no solo. Com isso, não se pode afirmar qual tipo de adubação foi mais eficiente para aumentar os teores de COT no solo.

3.3 Carbono da biomassa microbiana e evolução de CO₂

Os teores de C da biomassa microbiana (Cmic) variaram de 52 a 314 mg kg⁻¹, representando até 3,8% do COT (Tabela 3). Avaliando os teores de Cmic foi possível notar que o tratamento CM+CF+LEG diferenciou estatisticamente do tratamento CM+LEG, proporcionando um maior valor, representando um ganho de 50% em relação ao tratamento CM+LEG e 83,43 % em relação ao menor valor (LEG).

Tabela 3. Teores de carbono da biomassa microbiana (Cmic), quociente microbiano (Cmic/COT), respirometria (C-CO₂), respiração basal (RB), coeficiente metabólico (qCO₂) de um Latossolo Amarelo distrocoeso na camada de 0 – 20 cm sob o cultivo *Panicum maximum* cv. Mombaça em função de diferentes tratamentos de adubação nitrogenada.

TRAT	Cmic (mg kg ⁻¹)	Cmic/COT (%)	C-CO ₂ (mg kg ⁻¹)	RB (mg kg ⁻¹ solo dia ⁻¹)	qCO ₂ (mg CO ₂ mg ⁻¹ Cmic dia ⁻¹) x 100
CM	210 ab	2,4 ab	485	12,4	6,8 b
CM+CF	215 ab	2,0 bc	519	13,3	6,2 b
CM+UR	245 ab	2,9 ab	348	8,9	3,6 b
CM+LEG	157 bc	2,6 ab	660	16,9	10,8 ab
CM+CF+UR	154 bc	2,0 bc	477	12,2	7,9 b
CM+CF+LEG	314 a	3,8 a	503	12,9	4,1 b
LEG	52 c	1,7 bc	341	8,7	18,6 a
LIMP	130 bc	0,7 c	251	6,4	4,9 b

LIMP= solo sem cobertura vegetal; LEG= plantio de *Crotalaria juncea*; CM+ CF+LEG= Capim Mombaça + Cama de frango + *Crotalaria juncea*; CM+CF+UR= Capim Mombaça + Cama de frango + ureia; CM+LEG= Capim Mombaça + *Crotalaria juncea*; CM+ UR= Capim Mombaça + ureia; CM+CF= Capim Mombaça + cama de frango; CM= Capim Mombaça. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A diferença entre os tratamentos CM+CF+LEG e CM+LEG, está associada ao efeito que vem do uso da adubação nitrogenada, por meio da cama de frango, mais a utilização da crotalária, que proporcionou incrementos no valor de Cmic no solo. Pois observando os valores dos tratamentos CM+UR e CM+CF+UR foi possível perceber que estes não diferiram estatisticamente, mostrando que o diferencial está na associação com a cama de frango com a crotalária. Segundo Valadão et al. (2001), a cama de frango contribui para aumentar o acúmulo de matéria orgânica do solo, influencia na retenção da umidade e principal fonte de nutrientes para os microrganismos do solo, pois contém NPK e micronutrientes, o que colabora para aumento do Cmic e, conseqüentemente, contribuiu para maior atividade microbiana.

A qualidade de material vegetal depositada no solo proveniente do capim e da crotalária, através do fornecimento de N disponibilizado pela cama de frango e a presença de raízes, aumentam a aeração, infiltração de água e agregação do solo, atuaram como fonte de alimento para os microrganismos decompositores, o que contribuiu para aumentar a atividade microbiana.

Segundo Gualberto, (2018) o aporte de material vegetal diversificado incorporado ao solo, via deposição de plantas e presença de raízes com maior exsudação de compostos orgânicos, servem como energia a biomassa microbiana do solo e fonte de C.

O menor teor de Cmic ocorreu no tratamento LEG, com 52 mg kg^{-1} (Tabela 3), que diferiu estatisticamente do tratamento CM+CF+LEG. Esse fato se relaciona com o menor aporte de biomassa vegetal e também pela rápida ciclagem da biomassa vegetal, devido a relação C/N da crotalária ser baixa, tendo uma rápida decomposição do material depositado no solo.

Os diferentes tipos de adubação no cultivo de CM não afetaram a respiração basal do solo (Tabela 3). A relação entre o Cmic e a taxa de respiração basal é denominada de quociente metabólico ($q\text{CO}_2$). Este índice representa a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana e mede o grau de eficiência microbiana na utilização do substrato orgânico (LACERDA et al., 2013). O tratamento LEG diferenciou estatisticamente dos demais, exceto do tratamento CM+LEG, apresentando um maior valor de $q\text{CO}_2$ em relação aos demais tratamentos (Tabela 3), indicando uma menor eficiência microbiana.

Tal fato pode estar relacionado com a qualidade da biomassa vegetal, que pode dificultar a decomposição pelos microrganismos, aumentando o gasto energético (Cunha et al., 2011), ou alguma condição de estresse que esses tratamentos se submeteram, por exemplo, a falta de um substrato nutricional. Observando os tratamentos com o manejo da adubação, e o tratamento sem adubação (CM), é possível notar que os valores de $q\text{CO}_2$ foram menores, ou seja, a biomassa microbiana foi mais eficiente, incorporando maior taxa de carbono.

Segundo Guimarães et al. (2017), comparando $q\text{CO}_2$ entre os manejos, obteve no seu resultado maiores valores de $q\text{CO}_2$ em tratamento com crotalária, indicando maior gasto de energia para a comunidade microbiana, devido a alguma situação de estresse causada no sistema, ou ainda pela presença de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento. Quando a biomassa microbiana se torna mais eficiente,

menos CO₂ é perdido para a atmosfera e maior taxa de carbono é incorporada à biomassa microbiana, resultando em menores valores de $q\text{CO}_2$.

Segundo Souza et al. (2016), um solo que tem um elevado quociente metabólico é caracterizado por uma baixa biomassa microbiana, que utilizam mais carbono para sua manutenção, que é o caso do tratamento LEG que tem uma menor biomassa microbiana e um elevado quociente metabólico.

A respiração microbiana (C-CO₂) não diferenciou estatisticamente entre si para os tratamentos estudados. A respiração basal (RB), que é definida como a soma de todas as funções metabólicas do solo em que o CO₂ é produzido, via degradação da matéria orgânica também não diferenciou estatisticamente entre os tratamentos estudados.

Na figura 4 está apresentada as curvas de evolução de CO₂, em função do tempo de incubação nos diferentes tratamentos, que foi linear em 39 dias de incubação, em geral, a atividade microbiana foi mais expressiva no 39º dia. É possível perceber que o tratamento LIMP obteve a menor emissão de CO₂, ou seja, uma menor atividade microbiana, em comparação aos demais tratamentos. Isto demonstra que a área sem presença de vegetação, sem aporte de resíduos vegetais diminui a atividade microbiana no solo.

Isso ocorre porque a área dos tratamentos com presença de vegetação e adubação tem uma interferência maior no solo, aporte de resíduos vegetais (matéria seca e raízes), que vão tender a um maior acúmulo de CO₂ no solo, com auxílio das raízes finas como agente agregantes (ALBRECHT; KANDJI, 2003; DAWOE et al., 2010).

O tratamento CM+LEG se destacou, comparando aos demais, tendo uma maior emissão de CO₂, ou seja, uma maior atividade de microrganismos. Esse fato pode ser explicado pelo tratamento CM+LEG ter apresentado um valor de COT elevado e pela baixa relação C/N da leguminosa, que possui mais C lábil e prontamente disponível para mineralização pela microbiota do solo (LOSS et al., 2010). E também pode estar relacionado ao seu $q\text{CO}_2$ alto, indicando um maior gasto energético pelos microrganismos, fazendo com que aumentasse a respiração microbiana.

Os tratamentos com adubação nitrogenada, tanto isolados, como combinados apresentaram uma maior liberação de CO₂ em função dos dias que foram incubados em comparação com o tratamento LIMP, porém não foram superiores ao tratamento

CM+LEG. Esse fato pode ser explicado, pelo aporte de material vegetal depositado por esses tratamentos, devido a adubação e altos índices de agregação, aumentando a estabilidade do agregado, o que acarreta maior proteção física, dificultando o acesso da atividade microbiana (LOSS et al., 2009).

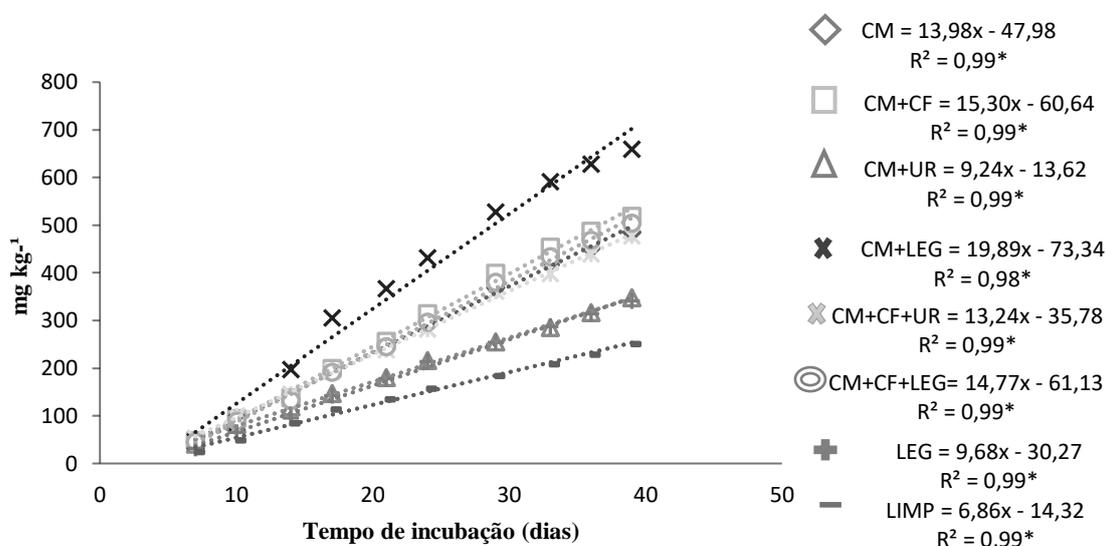


Figura 4. Curva de evolução de C-CO₂ de um Latossolo Amarelo distrocoeso na camada de 0 – 20 cm, sob cultivo de *Panicum maximum* cv. Mombaça (Capim Mombaça). LIMP= solo sem cobertura vegetal; LEG= plantio de *Crotalaria juncea*; CM+ CF+LEG= Capim Mombaça + Cama de frango + *Crotalaria juncea*; CM+CF+UR= Capim Mombaça + Cama de frango + ureia; CM+LEG= Capim Mombaça + *Crotalaria juncea*; CM+ UR= Capim Mombaça + ureia; CM+CF= Capim Mombaça + cama de frango; CM= Capim Mombaça.

3.4 Carbono orgânico particulado (COP)

Os teores de carbono orgânico particulado (COP) variaram de 0,62 a 1,91 g kg⁻¹, representando de 9 a 21% do COT do solo (Tabela 4). Os resultados mostram que essa variável não foi afetada significativamente pelo manejo da adubação. A área sem a presença de vegetação (LIMP) diferenciou estatisticamente dos demais tratamentos, com exceção do tratamento LEG, tendo o menor valor de COP, apresentando teores médios de 0,62 g kg⁻¹, demonstrando que manter o solo vegetado é fundamental para manutenção do compartimento COP. Essa diferença pode ser explicada pela falta de acúmulo de material orgânico na superfície do solo. Segundo Rossi et al. (2012), o COP é diretamente afetado por aportes recentes de resíduos vegetais.

Tabela 4. Teores de carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado a mineral (COAm) e índices em relação ao carbono orgânico total (COT) de um Latossolo Amarelo distrocoeso na camada de 0 – 20 cm, sob cultivo de *Panicum maximum* cv. Mombaça em função de diferentes tratamentos de adubação nitrogenada.

Tratamentos	COP	COAm	COP/COT	COam/COT
	----- g C kg ⁻¹ solo -----		----- % -----	
CM	1,65 a	5,78	20,53 a	72,03
CM+CF	1,72 a	6,68	19,30 ab	74,93
CM+UR	1,46 ab	6,64	17,37 ab	79,37
CM+LEG	1,52 ab	5,95	19,13 ab	74,17
CM+CF+UR	1,91 a	6,37	20,93 a	69,50
CM+CF+LEG	1,45 ab	6,03	17,37 ab	72,40
LEG	1,01 bc	5,98	13,53 bc	79,80
LIMP	0,62 c	5,57	9,47 c	85,47

LIMP= solo sem cobertura vegetal; LEG= plantio de *Crotalaria juncea*; CM+ CF+LEG= Capim Mombaça + Cama de frango + *Crotalaria juncea*; CM+CF+UR= Capim Mombaça + Cama de frango + ureia; CM+LEG= Capim Mombaça + *Crotalaria juncea*; CM+ UR= Capim Mombaça + ureia; CM+CF= Capim Mombaça + cama de frango; CM= Capim Mombaça. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A adição de UR, LEG ou CF juntos ou separados com o CM não modificou os teores de COP no solo. Era esperado ter um aumento no teor de COP por conta das raízes da crotalária, a utilização da adubação para crescimento radicular e maior produção de fitomassa. Isto pode ser explicado pelo fato de os substratos e a leguminosa utilizados apresentarem uma baixa relação C/N, o que resulta em uma rápida decomposição e rápida ciclagem do material vegetal, devido as condições tropicais, como alta temperatura e umidade e conseqüentemente, baixo aporte de material vegetal depositado, não promovendo dessa forma aumento nos teores de COP no solo.

Em comparação com o tratamento CM, o tratamento LEG diferenciou estatisticamente. O que se deve ao fato de que o tratamento CM tem um maior aporte de material vegetal depositado na superfície do solo e que sua alta relação C/N, proporciona uma menor taxa de decomposição, o que faz com que seus resíduos permaneçam por mais tempo no solo. As diferentes formas de manejo e uso da terra na camada superficial na

variação dos teores de COP, vai depender da adição da biomassa vegetal, influenciando na manutenção dos valores de COP (LOSS et al., 2009). Segundo Conte et al. (2011), mesmo a fração COP em menor quantidade, ela é muito dinâmica no solo e tem importante papel de agregação e nos ciclos biológicos no solo.

Salton et al. (2011), verificou nos seus estudos que a pastagem contribuiu no teor de COP, apresentando valor cinco vezes superior ao da lavoura. Franzluebbers & Stuedemann (2002) também nos seus estudos avaliaram a distribuição da MOS nas frações particulada e não particulada, em diferentes perfis de solo nos EUA, e encontraram valores maiores em pastagens e áreas sob pastejo comparado a lavouras em preparo conservacionista e áreas para fenação. Demonstrando assim a importância do material senescente e dos dejetos animais para o aumento dos teores de C no material particulado na pastagem, especialmente na camada superficial.

Segundo Causarano et al. (2008), para garantir o fluxo de C para o solo e a manutenção da atividade biológica, é desejável que o solo apresente quantidade adequada de COP, pois, caso o solo não disponha de aportes recentes e contínuos de matéria orgânica na quantidade suficiente para prover suas necessidades, o processo de oxidação da MOS vai resultar na redução do estoque de C, dando início ao processo de degradação do solo e perda da qualidade.

Os teores de C orgânico associado aos minerais (COAm) variaram de 5,57 a 6,68 g kg⁻¹, representando de 69 a 85% do COT do solo (Tabela 4). O compartimento COAm não foi afetado significativamente pelos tratamentos de adubação do capim mombaça. Com isso, podemos afirmar que a maior parte do COT do solo estava na forma de COAm, ou seja, a maior parte do COT estava na fração mais estável. É normalmente relatado na literatura que a fração mais estável corresponde à maior parcela do COT em solos tropicais (CUNHA et al., 2001; PASSOS, et al., 2007; LIMA et al., 2008; EBELING et al., 2011; SILVA et al., 2012; CAMPOS et al., 2013; Conceição et al., 2013), o que pode justificar as maiores proporções de COAm em relação ao COP observadas no presente estudo.

3.5 Carbono lábil (CL)

Os teores de CL variaram de 252 a 620 mg kg⁻¹ e diferiram significativamente entre os tratamentos (Tabela 5). Apenas a área mantida sem cobertura vegetal (LIMP)

apresentou maior teor de CL em relação às demais, exceto quando comparada aos tratamentos CM+CF+UR e LEG.

Tabela 5. Teores de carbono lábil (CL), carbono não lábil (C-NL) e índices em relação ao carbono orgânico total (COT) de um Latossolo Amarelo distrocoeso na camada de 0 – 20 cm, sob cultivo de *Panicum maximum* cv. Mombaça (Capim Mombaça).

TRAT	CL (mg kg ⁻¹)	C-NL (g kg ⁻¹)	CL/COT -----%-----	C-NL/COT -----
CM	256 b	7,78 ab	3,1 b	96,8 a
CM+CF	314 b	8,60 a	3,5 b	96,4 a
CM+UR	325 b	8,06 ab	3,9 b	96,1 a
CM+LEG	327 b	7,64 ab	4,1 b	95,8 a
CM+CF+UR	452 ab	8,71 a	5,0 b	95,0 a
CM+CF+LEG	252 b	8,11 ab	3,0 b	96,9 a
LEG	488 ab	7,01 bc	6,5 ab	93,4 ab
LIMP	620 a	5,90 c	9,5 a	90,4 b

LIMP= solo sem cobertura vegetal; LEG= plantio de *Crotalaria juncea*; CM+ CF+LEG= Capim Mombaça + Cama de frango + *Crotalaria juncea*; CM+CF+UR= Capim Mombaça + Cama de frango + ureia; CM+LEG= Capim Mombaça + *Crotalaria juncea*; CM+ UR= Capim Mombaça + ureia; CM+CF= Capim Mombaça + cama de frango; CM= Capim Mombaça. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O CL é o constituinte de compostos orgânicos que tem maior facilidade de os microrganismos presentes no solo mineralizarem (SILVA et al., 2011). O maior valor de CL encontrado neste estudo, referente ao tratamento LIMP, contraria com os estudos de Saldarriaga (2016), que apontam maiores valores de CL na área de vegetação nativa, devido ao maior aporte de material vegetal, falta de exploração humana, ausência de revolvimento, que contribui para manutenção do carbono lábil no sistema.

O fato dos tratamentos LIMP, LEG e CM+CF+UR terem os maiores valores de CL, pode ser explicado, pelos valores de Cmic. A baixa atividade microbiana não foi suficiente para mineralizar esse carbono disponível, resultando em valores altos de CL nos respectivos tratamentos.

Lima et al. (2015), em seus estudos ainda indicam que a perturbação antrópica e o revolvimento do solo, pode aumentar a oxidação de compostos orgânicos, que faz com

o que aja a ruptura de agregados do solo, finalizando na exposição da superfície do solo ao impacto das chuvas.

Os teores de carbono não lábil (C-NL) variaram de 5,90 a 8,71 g kg⁻¹ e não diferiram significativamente entre os tratamentos (Tabela 5). Para o C-LN, os resultados não mostraram diferença significativa entre os tratamentos estudados com presença da adubação orgânica e química, mostrando apenas que houve diferença significativa do tratamento LIMP dos demais tratamentos com adubação orgânica e química, tendo o menor valor de C-LN 5,90 g kg⁻¹. Loss et al. (2011) relataram também valores maiores de C-LN em área de pastagem e relacionaram isso, a presença do sistema radicular da gramínea, que acarreta maior teor de COT e conseqüentemente ocorre estabilização das frações mais resistentes.

Os dados mostram que os valores de CL foram menores, assim como os valores de COP quando comparados as frações não lábeis, o que já era esperado, pelo fato de ter a maior parte de COT na fração COAm (fração não lábil do carbono do solo). O CL representou de 3,0 a 9,5 % do COT, tendo a menor porcentagem estatisticamente em comparação com o C-NL, que foi de 90,4% a 96,9% do COT do solo.

3.6 Índice de Manejo de Carbono

O índice de manejo de carbono (IMC) apresentou valores entre 30 a 114 e foi significativamente afetado pelo manejo da adubação (Figura 5). O IMC informa sobre a recuperação ou perda dos níveis de C orgânico do solo em relação à uma área de referência (LEAL et al., 2016). Neste estudo tem-se como referência o tratamento CM, que representa uma condição de cultivo do capim mombaça sem adubação, que confere o valor do IMC como 100.

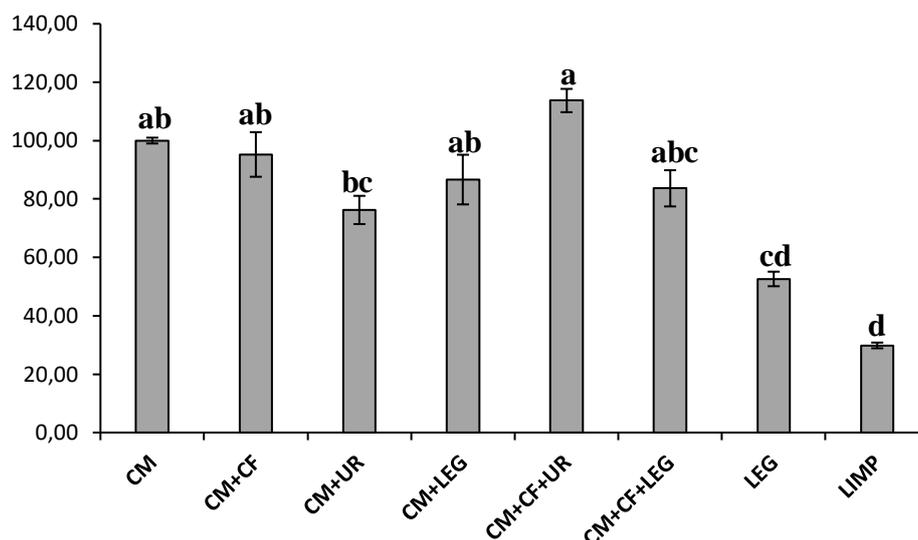


Figura 5. Índice de manejo de carbono (IMC) de um Latossolo Amarelo distrocoeso em relação a produção de *Panicum maximum* cv. Mombaça (Capim Mombaça). LIMP= solo sem cobertura vegetal; LEG= plantio de *Crotalaria juncea*; CM+ CF+LEG= Capim Mombaça + Cama de frango + *Crotalaria juncea*; CM+CF+UR= Capim Mombaça + Cama de frango + ureia; CM+LEG= Capim Mombaça + *Crotalaria juncea*; CM+ UR= Capim Mombaça + ureia; CM+CF= Capim Mombaça + cama de frango; CM= Capim Mombaça. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Barras na vertical indicam o desvio padrão da média.

Observou-se que os tratamentos com a adubação nitrogenada, foram capazes de recuperar os níveis de C orgânico do solo em relação a área de referência CM, chegando em valores próximos a 100.

A área sem vegetação (LIMP) diferenciou estatisticamente dos demais tratamentos, exceto o tratamento LEG, tendo a pior média de IMC, com uma diferença em relação a área de referência de 70,16%. Este resultado é um indicativo de que áreas sem a presença de vegetação contribuem para perda de C orgânico do solo.

Observando o tratamento CM+LEG e LEG, foi possível notar que houve diferença significativa entre esses tratamentos, tendo o tratamento CM+LEG um ganho de 39,28% em relação ao tratamento LEG, ou seja, a utilização do Capim Mombaça junto com a leguminosa, incrementou um pouco o C orgânico do solo em comparação ao tratamento só com a presença da leguminosa. Esses resultados corroboram com o de Vieira et al. (2007) que estudando IMC, observou que o sistema de leguminosa e gramínea teve maior valor de IMC nas leguminosas.

Maiores valores de IMC em áreas cultivadas com capim, se deve ao sistema radicular fasciculado e volumoso e ao aumento da atividade e a modificação da comunidade microbiana na rizosfera das gramíneas, ou seja, o que faz dessas áreas de pastagem muito eficiente no acúmulo de C orgânico no solo (LIMA, 2017). Conforme os resultados de Silva et al. (2011), observa-se que o aumento do IMC em sistema com revolvimento mínimo do solo e aporte de resíduos vegetais refletem a melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo, por meio do aumento do teor de C orgânico do solo.

Moura (2016), determinando IMC em solos sob cultivo orgânico, obteve IMC superior ao da mata nativa de referência, significando que as práticas agrícolas que são adotadas no sistema orgânico estão contribuindo para manutenção e labilidade do C e também favorecendo para contribuição da conservação do solo manejado. Moura (2016) estudando o IMC, observou que para sistemas bem manejados obtiveram valores de IMC superior a 100 em 6 anos de cultivo, comparando com a área de mata nativa.

Comparando os tratamentos entre si, foi possível notar que os tratamentos CM+CF e CM+UR e C+LEG não diferiram estatisticamente entre si, mostrando que não houve diferença entre a utilização da cama de frango, ureia e leguminosa na adubação nitrogenada, em relação ao ganho de C orgânico no solo. Entre CM+CF+UR e CM+CF+LEG também não diferiram estatisticamente entre si, apresentando que a utilização da adubação verde não mostrou ganho de C orgânico em relação a utilização da ureia em combinação com a cama de frango. Porém, notou-se que o tratamento CM+CF+UR aumentou o IMC, diferenciando estatisticamente do tratamento CM+UR, representando um ganho de 32,95% em relação ao CM+UR. Isto mostra que o uso combinado da cama de frango e da ureia foi eficaz em recuperar o nível de C orgânico no solo.

4. CONCLUSÕES

Nas condições do presente estudo, não há efeito do manejo da adubação nitrogenada na produção de matéria seca do *Panicum maximum* cv. Mombaça.

As diferentes fontes de adubação nitrogenada no cultivo do *Panicum maximum* cv. Mombaça não foram eficientes para aumentar os teores de C orgânico no solo.

A associação da cama de frango com a *Crotalaria juncea* no cultivo do *Panicum maximum* cv. Mombaça foi eficiente em aumentar o carbono associado à biomassa microbiana do solo.

O presente estudo não mostrou respostas conclusivas sobre o efeitos de fontes mineral e orgânica sobre a dinâmica do carbono orgânico do solo. Novos estudos devem ser conduzidos em médio a longo prazo visando uma avaliação mais robusta do efeito do manejo da adubação no cultivo do capim Mombaça sobre o potencial de sequestro de carbono no solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIEC. Perfil da Pecuária no Brasil. 2020. Disponível em: <SUMÁRIO-BEEF-REPORT-2020_NET-4.pdf>. Acesso em: 28/06/2021.
- ADKINS, J.; JASTROW, J. D.; MORRIS, G. P.; SIX, J.; GRAAFF, M. Effects of switchgrass cultivars and intraspecific differences in root structure on soil carbon inputs and accumulation. **Geoderma**, v. 262, p. 147-154, 2016.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 99:15–27. 2003.
- ALMEIDA, O. A. Informações meteorológicas do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical. Cruz das Almas: **Embrapa/CNPMPF**, 1999. 35 p.
- AMADO T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular C e N no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 25, n. 1, p. 189 – 197, 2001.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, v.1, n.2, p.81-89, 1985.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the**

Total Environment, v. 490, p. 397-404, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.019>

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Carbono das frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, p. 581-590, 2014.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de prepare, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 23, n. 3, p. 687 – 694, 1998.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; BERGAMASCHINE, A. F.; FABRICIO, J. A. Produtividade e composição bromatológica do capim marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v. 32, n. 5, p. 1629-1636, 2008.

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.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, 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, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 304-312, 2013.

CAUSARANO, H. J.; FRANZLUEBBERS, A. J.; SHAW, J. N.; REEVES, D. W.; RAPER, R. L.; WOOD, C. W. Soil organic carbon fractions and aggregation in the Southern Piedmont and coastal plain. **Soil Science Society of America Journal**, v.72, p.221-230, 2008.

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. DOI: 10.1016/j.still.2013.01.006.

CONTE, O.; WESP, C. L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob

pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 579-587, 2011.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUKI, J.; MARTHAJÚNIOR, G. B. Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Estratégia pra Intensificação Sustentável do Uso do Solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.32, n.1/2, p.15-53, jan/ago 2015.

COSTA, A. M.; BORGES, E. A.; SILVA, A. A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um latossolo vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras v. 33, p. 1991-1998, Ed. especial, 2009.

CUNHA, T. J. F.; MACEDO, J. R.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A. C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 1, p. 27-36, 2001.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 603-611, 2011.

CUNHA, J. F. RESENHA – ADUBAÇÃO FOSFATADA EM PASTAGEM. Encontro do Encontros da Scot Consultoria, 1., Ribeirão Preto, 2013.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v. 166, n. 2, p. 61-67, 2001.

DAWOE, E. K.; ISSAC, M. E.; QUASHIESAM, J. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. **Plant and Soil**, 330:55-64. 2010.

DENARDIN, L. G. D. O.; CARMONA, F. D. C.; VELOSO, M. G.; MARTINS, A. P.; DE FREITAS, T. F. S.; CARLOS, F. S.; MARCOLIN, E.; CAMARGO, F. A. O.; ANGHINONI, I. No-tillage increases irrigated rice yield through soil quality improvement along time. **Soil and Tillage Research**, v. 186, p. 64-69, 2019.

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, p. 319-328, 2005.

DOMINGHETTI, A. W.; GUELFY, D. R.; GUIMARÃES, R. J.; CAPUTO, A. L. C.; SPEHAR, C. R.; FRAQUIN, V. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 173– 183, abril. 2016.

DUPAS, E.; BUZETTI, S.; RABÊLO, F. H. S.; SARTE, A. L.; CHENG, N. C.; GALINDO, F. S.; DINALLI, R. P.; DE NIRO GAZOLA, R. (2016) Nitrogen recovery, use efficiency, dry matter yield, and chemical composition of palisade grass fertilized with nitrogen fertilizers in the Cerrado biome. **Australian Journal of Crop Science** 10:1330.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, v. 70, p. 157-165, 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EMBRAPA, 2014. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2118000/artigo-manejo-do-capim-mombaca-para-periodos-de-aguas-e-seca.>>. Acesso em: 19/04/2021.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n.4, p. 991-996, 1999.

FERREIRA, C. R.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Diversity of the edaphic macrofauna in areas managed under no-tillage for different periods. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 2, p. 599-610, 2019.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Português). R package version 1.2.1. 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 25/06/2021.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; FERREIRA, E. A. B.; RAMOS, M. L. G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 551-562, 2007.

FRANKE, I. L.; MARINHO, J. T. de S. Adubação verde com *Crotalaria juncea* no cultivo do milho e pastagem em sistema de Integração Lavoura Pecuária na agricultura familiar no Acre. **Cadernos de Agroecologia** –ISSN 2236-7934 -Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe -v. 15, no 2, 2020.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Particulate and non-particulate fractions of soil organic carbon under pastures in the Southern Piedmont USA. **Environmental Pollution**, v.116, p.53-62, 2002.

GALINDO, F. S.; BUZZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Application of different nitrogen doses to increase nitrogen efficiency in Mombasa guineagrass (*Panicum maximum* cv. Mombaça) at dry and rainy seasons. **Australian Journal of Crop Science**, vol. 11, n. 12, p. 1657-1664. 2017.

GALINDO, F. S.; BELONI, T.; BUZZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Technical and economic viability and nutritional quality of mombasa guinea grass silage production. **Acta Scientiarum Agronomy**, vol. 40, art. e36395. 2018.

GUALBERTO, A. V. S. Qualidade química e biológica do solo em sistemas de plantio direto, pastagem e eucalipto no cerrado. 2018. 86 f.: il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, 2018.

GUIMARÃES, N. D. F; GALLO, A. D. S; FONTANETTI, A; MENEGHIN, S. P; SOUZA, M. D; MORINIGO, K. P; SILVA, R. F. D. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, 40:34-44, 2017.

HAYNES, R. J. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. **Advances in Agronomy**, v. 85, p. 221-268, 2005.

JANKJU, M. Role of nurse shrubs in restoration of an arid rangeland: Effects of microclimate on grass establishment. **Journal of Arid Environments**, v.89, p.103- 109, fev 2013. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2012.09.008.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:821-832, 2003.

LACERDA, K.A.P.; CORDEIRO, M.A.S.; VERGINASSI, A.; SALGADO, F.H.M. PAULINO, H.B.; CARNEIRO, M.A.C. Organic carbon, biomass and microbial activity in an Oxisol under different management systems. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, vol. 56, n. 3, p. 249-254. 2013. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.036>.

LEAL, O.D.A.; CASTILHOS, R.M.V.; PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A.; LEMES, E.S.; KUNDE, R.J. Initial Recovery of Organic Matter of a Grass-Covered Constructed Soil after Coal Mining. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, n. 1, p. 1-16, 2016.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMYTH, T. J.; MOREIRA, M. S.; LEITE, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1053-1063, 2008.

LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J.; MACHADO, P. L. O. A.; URQUIAGA, F. Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. 3. Edição revisada, Brasília: **Embrapa**, 2015. 343p.

LIMA, R. N. S. Índice de manejo de carbono em solos cultivados no Agropólo Mossoró-Assu. 33 f.: il. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Curso de Agronomia, 2017.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p.1-10, 2009.

LOSS, A.; MORAES, A. G.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M.; Y ANJOS, L. H. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Com. Scientiae** 1(1):57 - 64. 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H.; Y SILVA, E. M. 2010. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia** 69(4):913 - 922.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia (arica)**, v. 29, n. 2, p. 11-19, 2011.

Megathyrus maximus in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em: <https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/megathyrus_maximus>. Acesso em 01-07-2021.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, L. O. G. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1681-1689, 2015.

MENDIBURU, F. de. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-3. (2020). Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo: **Métodos de análises**. Viçosa, Mg, 2005.

MOTA, V. J. G.; CARVALHO, A. J. de.; OLIVEIRA, F. G.; GOMES, V. M.; MONÇÃO, F. P.; MOTA FILHO, E. J. G. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.6, p.1191-1199, 2010.

MOURA, I. N. B. M. Labilidade e índice de manejo de carbono em solos sob produção orgânica no município de Governador Dix-Sept Rosado-RN. 2016. 41 f. TCC (Graduação) Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Ufersa, Mossoró, 2016.

REGO, A. A. R. M.; OLIVEIRA, P. S. R.; PIANO, J. T.; ROSSET, J. S.; EGEWART, J. F.; MATTEI, E.; SAMPAIO, M. C.; HER-SANTOS. Organic matter fractions and carbon management index in Oxisol under integrated agricultural production systems. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 237-256, 2020.

RIBEIRO-JÚNIOR, N. G.; ADRIANO, A. P. R.; SILVA, I. V. Death of pastures syndrome: tissue changes in *Urochloa hybrida* cv. Mulato II and *Urochloa brizantha* cv. Marandu. *Brazilian Journal of Biology*, v.77, n.1, p.97-107, jan/mar 2017. DOI: 10.1590/1519-6984.10715.

RIBEIRO, P. H.; SANTOS, J. V. V. M. dos; COSER, S. M.; NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, C. A. S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 43-50,2011.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, v.26, n.2, p.333-351, 2014.

ROSSI, C.Q., PEREIRA, M.G., GIÁCOMO, S.G., BETTA, M. & POLIDORO, J.C. (2012) Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, 43, 38–46.

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

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1119-1129, 2007.

SALDARRIAGA, F. V. **Estoques de carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio no solo em diferentes sistemas de uso da terra**. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SALTON, J.C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 158p. 2005. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, 2011.

SAPARLING, G.P.; WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. **Soil Biol. Biochem.**, 20:337-343, 1988.

SILVA, E. F; LOURENTE, E. P. R; MARCHETTI, M. E; MERCANTE, F. M; FERREIRA, A. K. T; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1321-1331, out. 2011.

SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2012.

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

SOUZA, G. P. D.; FIGUEIREDO, C. C. D.; SOUSA, D. M. G. D. Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1668-1676, 2016.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 6, p. 1758-1767, 2008.

VALADÃO, F. C. A. MAAS, K. D. B. WEBER, O. L. S. DIAS, D.; SILVA, T.J. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(6), 2073-2082

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.

VILELA, W. T.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURÍCIO, R. M. PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **PUBVET**, vol. 11, n. 10, p. 1036-1045. 2017.

WEIL, R. R.; ISLAM, K. R.; MELISSA A. STINE, M. A.; JOEL B. GRUVER, J. B.; SUSAN E. SAMSON-LIEBIG, S. E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 18, n. 1, p. 3– 17, 2003.