



ADRIANO VENICIÚS SANTANA GUALBERTO

**QUALIDADE QUÍMICA E BIOLÓGICA DO SOLO EM SISTEMAS DE
PLANTIO DIRETO, PASTAGEM E EUCALÍPTO NO CERRADO**

**TERESINA-PI
2018**

ADRIANO VENICIÚS SANTANA GUALBERTO

**QUALIDADE QUÍMICA E BIOLÓGICA DO SOLO EM SISTEMAS DE
PLANTIO DIRETO, PASTAGEM E EUCALÍPTO NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura Tropical, para a obtenção do Título de Mestre.

Orientador

Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite

Coorientador

Dr. Henrique Antunes de Souza

TERESINA-PI
2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

G899q Gualberto, Adriano Veniciús Santana

Qualidade química e biológica do solo em sistemas de plantio direto, pastagem e eucalipto no Cerrado / Adriano Veniciús Santana Gualberto – 2018.

86 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, 2018.

Orientação: Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite

1. Qualidade do solo 2. Fauna epígea 3. Carbono orgânico I. Título

CDD 631.4

Adriano Veniciús Santana Gualberto

**QUALIDADE QUÍMICA E BIOLÓGICA DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO
DIRETO, PASTAGEM E EUCALIPTO NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 03 de agosto de 2018.

Comissão Julgadora:



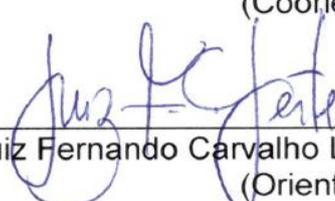
Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – CCA/UFPI



Dr. Edvaldo Sagrilo – Embrapa Meio-Norte



Dr. Henrique Antunes de Souza – Embrapa Meio-Norte
(Coorientador)



Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite – Embrapa Meio-Norte
(Orientador)

TERESINA-PI

2018

À minha mãe, Maria do Socorro, Pai Francisco
das Chagas, irmãos Josildário
Santana e Amanda Silva, filha
Ághata Santana, bem como primos
e sobrinhos, por me incentivarem
a lutar pelos meus objetivos.

Com todo amor,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e por ter me proporcionado saúde e força para encarar esta jornada;

À Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura Tropical, pela oportunidade de realização do curso;

À Universidade Estadual do Piauí pelo apoio na concessão de afastamento para realização do estudo;

À CAPES (Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior), pela concessão de bolsa de estudo;

À EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), pela logística e estrutura laboratorial;

À rede de fomento ILPF (EMBRAPA), pelo apoio financeiro para a realização do trabalho;

Ao Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite, pela orientação, paciência e apoio durante todo o curso;

Ao Dr. Henrique Antunes de Souza, pela orientação, paciência, apoio e acima de tudo pela amizade construída durante todo o curso;

À Prof^a Dr^a Rita de Cássia, pela orientação e apoio no decorrer da pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo conhecimento transmitido em especial ao professor Luís Alfredo;

Aos colegas João Rodrigues, Djalma Júnior, Renato Falconeres e Lucélia pelos momentos compartilhados de troca de experiências, de descontração e companheirismo;

Aos Técnicos do Laboratório de solo e água da Embrapa Meio-Norte José Moreira e José Afonso, pela orientação, ensinamentos e amizade disponibilizada na condução das análises laboratoriais;

Ao analista da Embrapa Meio-Norte (Agrônomo), Marcos Teixeira, pelo apoio técnico dado sempre que necessário;

Aos colegas do Laboratório de Entomologia da UFPI, pela ajuda na identificação dos organismos edáficos;

Aos meus primos Fábio André, Lailson, Fabiana, Aurélio, Liana e Mônica, pela amizade e apoio nos momentos difíceis.

As minhas tias Dr^a. Edmilsa Santana, Maria do Amparo Santana, Eliane Santana e Gorete Santana, que me acolheram como mães quando mais precisei e sempre me incentivaram a seguir;

À minha família pelo carinho, apoio e pela assistência no que podiam;

A todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

ASSIM MESMO

Muitas vezes as pessoas são egocêntricas,
ilógicas e insensatas
Perdoe-as assim mesmo.

Se você é gentil, as pessoas podem acusá-lo
de egoísta, interesseiro
Seja gentil, assim mesmo.

Se você é um vencedor, terá alguns falsos
amigos e alguns inimigos verdadeiros
Vença assim mesmo.

Se você é honesto e franco, as pessoas
podem enganá-lo
Seja honesto assim mesmo.

O que você levou anos para construir,
alguém pode destruir de uma hora para
outra
Construa assim mesmo.

Se você tem Paz e é Feliz, as pessoas
podem sentir inveja
Seja Feliz assim mesmo.

Dê ao mundo o melhor de você, mas isso
pode nunca ser o bastante
Dê o melhor de você assim
mesmo. Veja que, no final das contas, é
entre você e DEUS, Nunca foi entre você e
as outras pessoas.

Madre Teresa de Calcutá,

versão da obra original de

Dr. Kent M. Keith.

RESUMO

O uso do solo, com o passar do tempo, pode propiciar variações nas suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Objetivou-se com esse trabalho, avaliar a dinâmica da matéria orgânica e os indicadores biológicos de qualidade do solo, sob diferentes sistemas de manejos no cerrado piauiense. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Nova Zelândia localizada no município de Uruçuí, PI. Foram estudados cinco sistemas de manejo do solo: Pastagem (PAS); Sistema Plantio Direto de soja sob palhada de milho (SPD 1); Sistema Plantio Direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); Eucalipto (EUC), além de uma área nativa de Cerrado como referência (MN). As camadas estudadas foram de 0-0,1 e 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,5 m para a análise dos teores e estoques de carbono orgânico total (COT), das substâncias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos e huminas) e dos complexos particulados e orgânico-minerais da matéria orgânica do solo e de 0-0,1 m para os atributos biológicos, como biomassa microbiana (C-BMS e N-BMS), respiração basal (RBS), coeficientes microbiano e metabólico ($q\text{CO}_2$, q_{mic}) e fauna epígea do solo. Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando significativos submetidos ao teste de Tukey. A PAS e o EUC favoreceram o aumento no C-BMS e q_{mic} , bem como a redução nos valores de $q\text{CO}_2$ em relação ao SPD 1 e MN. A MN (18,2 Mg ha⁻¹) e o EUC (16,8 Mg ha⁻¹) foram os sistemas que armazenaram mais carbono em superfície (0-0,1 m), respectivamente. Os diferentes sistemas de usos do solo tiveram impacto considerável nos estoques de C do solo, bem como nas frações químicas e físicas do COT. No entanto, a PAS e o EUC avaliados tiveram a capacidade de restaurar os níveis originais do COT, e aumentar o C lábil (ácido fúlvico e matéria orgânica particulada) e frações recalcitrantes (ácido húmico e complexos orgânico-minerais) do COT. O SPD 2 apresentou maior abundância de indivíduos (91,37 ind. arm. dia⁻¹) entre os sistemas avaliados e riqueza total (13) de espécie em relação ao SPD 1 e EUC. Entre os sistemas de uso da terra avaliados, pastagem e o eucalipto provaram serem as estratégias de gestão de uso do solo mais adequadas para promoverem a restauração do COT. Entretanto, os sistemas sem revolvimento do solo como o plantio direto e com maior incremento de resíduos vegetais como a pastagem proporcionam um maior índice de manejo de carbono (IMC) em superfície nas condições avaliadas.

Palavras-chave: Qualidade do solo, fauna epígea, carbono orgânico.

ABSTRACT

The use of the soil, over time, can provide variations on its chemical, physical and biological properties. The objective of this work was to evaluate the dynamics of organic matter and biological indicators of soil quality under different management systems in the Piauí cerrado. The work was developed at Nova Zelândia farm located in the municipality of Uruçuí, PI. Five soil management systems were studied: Grassland (PAS); No tillage System of soybeans under corn straw (SPD 1); No tillage system of maize under pasture of mombaça grass (SPD 2); Eucalyptus (EUC) and a Cerrado native area as reference (MN). The studied layers were of 0-0,1 and 0,1-0,2, 0,2-0,3 and 0,3-0,5 m for the analysis of the contents and stocks of total organic carbon (TOC), of humic substances (humic, fulvic and humic acids) and particulate and organic-mineral complexes of organic matter in the soil, and at 0-0.1 m for biological attributes, such as microbial biomass (C-BMS and N-BMS), basal respiration (RBS), microbial and metabolic coefficients (qCO_2 , $qmic$) and soil epigeic fauna. The data were submitted to analysis of variance, and when significant submitted to the Tukey test. PAS and EUC favored increase in C-BMS and $qmic$, as well as reduction in qCO_2 values in relation to SPD 1 and MN. MN (18.2 Mg ha^{-1}) and EUC (16.8 Mg ha^{-1}) were the systems that stored more carbon at the soil surface (0-0.1 m), respectively. The different soil use systems had a considerable impact on soil C stocks, as well as the chemical and physical fractions of TOC. However, the PAS and EUC had the ability to restore the original TOC levels, and increase the labile C (fulvic acid and particulate organic matter) and recalcitrant fractions (humic acid and organic-mineral complexes) of the TOC. SPD 2 had the greatest abundance of individuals ($91.37 \text{ days arm}^{-1}$) among the evaluated systems and total species richness (13) in relation to SPD 1 and EUC. Land use, pasture and eucalyptus systems have proven to be the most appropriate soil management strategies to promote COT restoration. However, systems without soil tillage and with greater input of plant residues such as pasture provide a higher rate of surface carbon management (BMI) in the evaluated conditions

Keywords: Soil quality, epigeal fauna, organic carbon.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

- Figura 1 -** Precipitação e temperatura mensais correspondente ao ano de 2017, Fazenda Nova Zelândia, Uruçuí, PI. 32
- Figura 2 -** Sistemas de manejo do solo em um Latossolo Amarelo em Uruçuí, PI. 34
- Figura 3 -** Distribuição dos mini-perfis para coleta de amostra em campo. 37
- Figura 4 -** Teores de carbono nas frações Ácido fúlvico 0-0,1 (A), 0,1-0,2 (B), 0,2-0,3 (C) e 0,3-0,5 (D); ácido húmico 0-0,1 (E), 0,1-0,2 (F), 0,2-0,3 (G) e 0,3-0,5 (H) e humina 0-0,1 (I), 0,1-0,2 (J), 0,2-0,3 (L) e 0,3-0,5 (M) em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense. 48
- Figura 5 -** Estoque de Carbono nas camadas 0-0,1 (A), 0,1-0,2 (B), 0,2-0,3 (C) e 0,3-0,5 m (D) em diferentes sistemas de manejo do Cerrado piauiense. 50
- Figura 6 -** Estoques de Carbono Orgânico Total (ECOT)(A), Estoques da Fração Ácido Fúlvico (EFAF) (B), Estoques da Fração Ácido Húmico (EFAH) (C), Estoques da Fração Humina (EFHUM) (D), Estoques de carbono orgânico particulado (ECOP) (E) e Estoques de carbono orgânico mineralizável (ECOM) (F) na camada de 0-0,5 m em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense. 52

Capítulo II

- Figura 1 -** Precipitação e temperatura mensais correspondente ao ano de 2017, Fazenda Nova Zelândia, Uruçuí, PI. 67
- Figura 2 -** Sistemas de manejo do solo em um Latossolo Amarelo em Uruçuí, PI. 69
- Figura 3 -** Distribuição da frequência (%) dos táxons de invertebrados do solo na área de (A) PAS, (B) SPD 1, (C) SPD 2, (D) EUC e (E) MN em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense. 75
- Figura 4 -** Análise de componentes principais (ACP) entre diferentes sistemas de manejo e os principais grupos taxonômicos da fauna edáfica no Cerrado. 78

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1 -	Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.	17
-------------------	--	----

Capítulo I

Tabela 1 -	Precipitação e temperaturas mensais correspondentes aos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2016, Fazenda Nova Zelândia, Uruçuí, PI.	33
Tabela 2 -	Caracterização química nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,5 m de um Latossolo Amarelo, submetido a diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.	33
Tabela 3 -	Histórico dos sistemas de manejo avaliados.	34
Tabela 4 -	Carbono da biomassa microbiana (C-BMS), nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qmic$) em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.	42
Tabela 5 -	Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico mineralizável (COM), índice de estabilidade do carbono (IEC), labilidade do carbono (LC), índice de labilidade do carbono (ILC) e índice de manejo do carbono (IMC) em sistemas de manejo do Cerrado piauiense.	44

Capítulo II

Tabela 1 -	Precipitação e temperaturas mensais correspondentes aos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2016, Fazenda Nova Zelândia, Uruçuí, PI.	67
Tabela 2 -	Caracterização química nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,5 m de um Latossolo Amarelo, submetido a diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.	68
Tabela 3 -	Histórico dos sistemas de manejo avaliados.	70
Tabela 4 -	Número de indivíduos, riqueza total, riqueza média, índice de diversidade de Shannon e índice de equitabilidade de Pielou em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.	73
Tabela 5 -	Distribuição relativa (%) da fauna epígea em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.	77

SUMÁRIO

RESUMO	VIII
ABSTRACT.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XI
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. Uso e manejo do solo do Cerrado.....	15
2.2. Qualidade do solo	16
2.3. Influência de diferentes sistemas de manejo no Cerrado	18
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO I.....	27
CHAPTER I.....	28
1. INTRODUÇÃO	29
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3-RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.1. Atributos biológicos	42
3.2- Teores de Carbono Orgânico Total e seus compartimentos	44
3.3- Estoques de Carbono	50
4. CONCLUSÕES.....	54
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
CAPÍTULO II.....	63
CHAPTER II.....	64
1. INTRODUÇÃO	65
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	67
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4. CONCLUSÕES	81
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1. INTRODUÇÃO GERAL

O uso intensivo de solos para a produção agropecuária na região de Cerrado, aliado ao manejo inadequado do solo, tem causado a sua degradação com consequente diminuição da produtividade das culturas. Assim, a utilização de sistemas com bases conservacionistas (plantio direto e sistemas integrados) é essencial para o uso sustentável (PUERTA *et al.* 2018). Neste contexto, o sistema plantio direto minimiza as perdas de matéria orgânica do solo (MOS) e é uma estratégia promissora para manter e aumentar os estoques de C e N em áreas agrícolas (BOMMARCO *et al.*, 2013; GOVERS *et al.*, 2017).

O uso disseminado do plantio direto no Brasil é caracterizado pela semeadura nos resíduos das culturas do cultivo anterior, sem qualquer preparação do solo. A biomassa morta formada por resíduos da colheita acumulados em superfície do solo pode ajudar a reduzir erosão e flutuações de temperatura e umidade, e a exposição das culturas à seca e aumentar os teores de matéria orgânica do solo (MOS) (LEITE *et al.* 2010). A MOS influencia positivamente as características físicas, químicas e biológicas do solo melhorando a estabilidade de agregados, a infiltração de água e fertilidade, a estrutura, além da disponibilidade de nutrientes minerais para as plantas (NICOLODI E GIANELLO, 2015).

Os indicadores microbiológicos estão diretamente interligados com a MOS e são importantes para dimensionar a qualidade do solo e avaliar perturbações no ecossistema (PONTES *et al.*, 2017). Entre os indicadores microbiológicos do solo, a biomassa microbiana representa a fração lábil da MOS, de natureza dinâmica e facilmente alterada por fatores bióticos e abióticos (PEIXOTO; SILVA; KRUGER, 2016). Em razão disso, apesar de representar pequena parte do C orgânico do solo, a biomassa microbiana tem sido considerada indicador mais sensível de mudanças nos teores de MOS do que o teor de C orgânico do solo (PEIXOTO; SILVA; KRUGER, 2016). A BMS é tanto uma fonte quanto um depósito de nutrientes, participa das principais transformações biogeoquímicas de C, N, P e S, e contribui para a estrutura e estabilização da MOS do solo (LEITE, *et al.*, 2010).

A utilização de sistemas de cultivo conservacionista pode proporcionar também aumento no número de organismos da fauna edáfica por disponibilizar um habitat ótimo (GAO *et al.*, 2017). A fauna edáfica desempenha importantes funções no solo, como a fragmentação de resíduos orgânicos, aeração, ciclagem de

nutrientes, mobilização de nutrientes e controle da cadeia trófica, sendo tais funções vitais para o desenvolvimento vegetal e para contribuição de um ecossistema equilibrado (INNANGI *et al.*, 2018). A fauna edáfica é um dos bioindicadores da qualidade do solo e do ambiente facilmente alterada por mudanças que ocorrem em áreas nativas e agrícolas, seja de forma natural (secas, entre outros) ou antrópico (manejo inadequado), sendo indicada para avaliação de mudanças nos sistemas (MARTINS *et al.*, 2017).

O entendimento da dinâmica da MOS, com seus compartimentos, fisicamente ou quimicamente quantificados e suas correlações com os atributos microbiológicos e a fauna invertebrada podem servir como indicadores de mudanças ambientais que levem à manutenção, aumento ou perda, resultando na melhor compreensão da interação entre usos/coberturas e solos nos ecossistemas do Bioma Cerrado. Há alguns estudos que determinam em áreas tropicais, os efeitos dos sistemas de manejo calcados na diversificação de culturas (POEPLAU E DON, 2015), fertilização orgânica ou mineral (HAN *et al.*, 2016), restituição de resíduos ao solo (TURMEL *et al.*, 2015), ou redução de revolvimento (POWLSON *et al.*, 2016), sobre os estoques de carbono e atributos biológicos do solo, embora a maior parte concentrados, no caso do Brasil, na região Centro-sul com poucos trabalhos nas regiões norte e nordeste (LEITE, *et al.* 2010; LEITE, *et al.* 2013; CARDOZO JUNIOR, *et al.*, 2016; ARAÚJO, *et al.*, 2017). Nesse sentido, objetivou-se com esse trabalho, avaliar a dinâmica da matéria orgânica e os indicadores biológicos de qualidade do solo, sob diferentes sistemas de manejos no Cerrado piauiense.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uso e manejo do solo do Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma em área do país, ocupando 23% do território nacional (dois milhões de km²), estando localizado basicamente no planalto central e em parte da região norte e nordeste do Brasil, sendo considerado um complexo vegetacional de grande heterogeneidade fitofisionômica. Este bioma é apontado como grande detentor de diversidade biológica, sendo a formação savânica com maior diversidade vegetal do mundo, especialmente quando se consideram as espécies lenhosas (MEDEIROS; WALTER, 2012).

O Cerrado se destaca pelo seu potencial produtivo, abrangendo grande parte do agronegócio brasileiro e compreendendo a fronteira agrícola conhecida como MATOPIBA. A expressão resulta de um acrônimo criado com as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. A região geoeconômica do MATOPIBA possui área territorial de 73 milhões de hectares, com o Cerrado representando 91% dessa área (67 milhões de hectares) (MIRANDA; CARVALHO, 2015). A expansão intensificada e a produção de grãos no Cerrado do Piauí cresceram muito nas últimas décadas. Ocupa cerca de 11% (8,2 Mha) do território estadual (EMBRAPA, 2014) e representa uma porcentagem considerável dos Grãos brasileiros (2% - arroz, milho e soja), fibras (1% - algodão) e produção pecuária (1% - bovinos de corte) (IBGE, 2018).

O uso intensivo dessas áreas e o manejo inadequado do solo, com o passar do tempo, tem conduzido ao aumento na sua heterogeneidade química, física e biológica, quando comparado ao solo de áreas de mata nativa, sendo atribuídas essas variações aos processos de desmatamento, preparo do solo, plantio convencional e aplicação de fertilizantes (ARAÚJO *et al.*, 2010; HUNKE *et al.*, 2015). Assim, a adoção de práticas de manejo sustentáveis, principalmente do solo e da água, é essencial à manutenção da qualidade do ambiente e da vida na terra (FU *et al.*, 2015).

Diante disso, a sustentabilidade de diferentes agroecossistemas vem sendo estudada e/ou monitorada utilizando-se comparações por meio de atributos físicos, químicos e biológicos do solo com uma condição de equilíbrio, como é o caso da vegetação nativa com o objetivo de evidenciar degradações e reduzir tais impactos a

essas áreas (LOURENTE *et al.*, 2011). O aumento das áreas degradadas tornou-se uma questão de interesse global, por interferir diretamente na mudança do clima, na camada de ozônio e no declínio da biodiversidade (DORAN; SARRANTONIO; LIEBIG, 1996; STAVI; LAL, 2015; LORI *et al.*, 2017).

2.2. Qualidade do solo

A qualidade do solo é fator limitante no aumento da produtividade, tendo como conceito a capacidade de o solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens (DORAN, 1997). A conscientização de que o solo é um recurso fundamental para o funcionamento dos ecossistemas e a constatação de que os processos de degradação têm afetado uma porção considerável dos solos atualmente em uso estimulou o interesse pelo conhecimento da qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental (STAVI; LAL, 2015; BARBIER; HOCHARD, 2016). A redução da degradação e a restauração de terras atualmente degradadas são ações urgentemente necessárias para manter a função e a produtividade do ecossistema, mitigar a mudança climática, preservar a biodiversidade e garantir a produção de alimentos e o fornecimento de recursos (KEESSTRA *et al.* 2016).

A determinação de indicadores globais apropriados de qualidade do solo ajudarão os países a medir o progresso que estão superando para alcançar os objetivos e entender em que áreas priorizar e alocar recursos (COWIE *et al.*, 2018). Assim, a seleção adequada de indicadores de solo, a implementação efetiva de metodologias adequadas de monitoramento serão decisivos para alcançar termos de qualidade baseados em recursos do solo (TÓTH *et al.*, 2018). Os indicadores de qualidade podem ser divididos em três grandes grupos: 1) Efêmeros: alterações que ocorrem em curto espaço de tempo ou aqueles que são modificados pelas práticas de cultivo (disponibilidade nutricional, umidade do solo, densidade, pH, etc.); 2) Permanentes: alterações intrínsecas do solo (profundidade, textura, mineralogia, etc.); 3) Intermediários: são alterações que demonstram a real capacidade de um solo em desempenhar suas funções e podem inferir sobre a sustentabilidade de um

sistema (biomassa microbiana, respiração, carbono orgânico total, etc.) (TÓTH *et al.*, 2018).

A qualidade do solo é frequentemente associada a atributos específicos do solo (ou seja, pH, estabilidade estrutural do solo, teor de matéria orgânica e oferta de nutrientes), é um conceito funcional complexo e não pode ser medido diretamente no campo ou laboratório, mas pode ser indiretamente inferido por indicadores de solo (CHERUBIN *et al.*, 2016). Os indicadores de solo são propriedades mensuráveis e descrevem processos que apresentam maior sensibilidade às mudanças nas funções do solo e seus serviços ecossistêmicos, podendo ser classificados como físicos, químicos e biológicos (Tabela 1) (MEMOLI *et al.*, 2018).

Tabela 1. Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

Indicadores	Relação com a qualidade do solo
Matéria orgânica do solo (MOS)	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo.
Físicos	
Estrutura do solo	Retenção e transporte de água e nutrientes
Infiltração e densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo
Capacidade de retenção de Umidade	Armazenamento e disponibilidade de água
Químicos	
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes
Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana
Conteúdo de N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas
Biológicos	
Biomassa microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes
Mineralização de nutrientes (N, P e S)	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes
Respiração do solo	Atividade microbiana
Atividade Enzimática do solo	Atividade microbiana e catalítica no solo

(Adaptado de DORAN; PARKIN, 1994).

A matéria orgânica do solo (MOS) possui potencial para ser utilizada como atributo chave da QS (MIELNICZUK, 1999; DLAMINI *et al.*, 2016), pois além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando na infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão (DLAMINI *et al.*, 2016). A MOS também atua sobre outros atributos como ciclagem de nutrientes, complexação de elementos

tóxicos e estruturação do solo. Solos tropicais, intensamente intemperizados, possuem como uma das suas principais características químicas a baixa CTC. Nesses solos, o teor de MOS tem importância preponderante na CTC efetiva (PAUL, 2016). Portanto, a dinâmica da MOS tem importância chave no entendimento das alterações provocadas pelo manejo que se aplica ao solo sobre a QS e na sustentabilidade produtiva e econômica de um sistema de exploração agrícola.

Definidos os indicadores, pode-se avaliar o atual estado de qualidade do solo medindo e comparando estes atributos com os valores encontrados no solo sob estado natural ou com valores considerados ideais (PANICO *et al.*, 2018). Nesse contexto, a manutenção da qualidade do solo, ou mesmo a sua melhoria é fundamental para a sustentabilidade, visando à produção agrícola e à conservação ambiental.

2.3. Influência de diferentes sistemas de manejo no Cerrado

A mudança da vegetação natural para sistema de exploração agropecuária provoca alterações nas propriedades do solo (KUMAR *et al.*, 2017). Buscando minimizar as alterações provocadas pelos diversos sistemas de manejo e proporcionar o aumento na produção de forma sustentável, surgem os diversos modelos de integração entre os sistemas agropecuários. A adoção de sistemas que proporcionem a redução na degradação do solo e a manutenção ou incremento das qualidades químicas, físicas e biológicas do solo e permitem a conservação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, pode ser considerada importante solução tecnológica para uma produção sustentável (WITTWER *et al.*, 2017).

O plantio direto e integração entre sistemas de plantio vêm sendo alternativa na minimização dos impactos provocados pelo uso inadequado do solo, pois mantém resíduos culturais na superfície do solo, constituindo-se de importante técnica para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva do solo sob cultivo em regiões de clima tropical e subtropical. Além de reduzir a erosão do solo, a conversão do manejo intensivo do solo para PD também pode melhorar a saúde do solo e proporcionar benefícios ambientais e econômicos adicionais (KASSAM *et al.*, 2015; WITTWER *et al.*, 2017). A saúde do solo é definida como “a capacidade contínua do solo de funcionar como um ecossistema vivo vital que sustenta plantas,

animais e seres humanos” (Natural Resources Conservation Services: Soil Health, 2012). Quando administrada com outras práticas de conservação, como a diversificação do sistema de cultivo, o PD pode aumentar o conteúdo de MOS, a biomassa microbiana e a atividade de enzimas (SHARMA *et al.*, 2013; KINOSHITA *et al.*, 2017).

Os sistemas integrados (SI) merecem ser destacados neste contexto como uma estratégia muito promissora. São conceituados pelo cultivo combinado de culturas, pecuária e/ou silvicultura nas mesmas áreas. Eles podem ser capazes de aumentar a fertilidade e o conteúdo de matéria orgânica no solo. Isso favorece a produção de biomassa e permite maiores taxas de lotação em pastagens (BUNGENSTAB, 2012; CARVALHO *et al.*, 2014). Esse aumento na produtividade total do sistema representa uma vantagem direta para os agricultores, proporcionando maior retorno econômico e conservação do solo a longo prazo (GIL *et al.*, 2015). Na verdade, tanto os agricultores individuais como a sociedade podem se beneficiar dos SI, uma vez que a manutenção da fertilidade do solo é crítica para a conservação dos recursos naturais e prestação de serviços ambientais (LEMAIRE *et al.*, 2014; SALTON *et al.*, 2014).

Os sistemas integrados podem incluir culturas anuais e/ou perenes, diferentes espécies de árvores e vários arranjos espaciais. Densidades de plantio, operações de campo e a frequência de rotação entre culturas e gramíneas também variam. A literatura baseada em ensaios de campo afirma que esses sistemas podem contribuir para o aumento dos estoques de carbono os solos (CERRI *et al.*, 2010; CARVALHO *et al.*, 2014; PIVA *et al.*, 2014), quando comparado com os conhecidos “sistemas agroflorestais”. No entanto, geralmente envolve intensas operações de campo e menor diversidade de espécies. Nesse sentido, os SI são relativamente semelhantes aos sistemas agrícolas convencionais em termos de baixa intensidade de trabalho e altos níveis de produção, o que os torna uma alternativa realista em áreas onde a agricultura comercial de larga escala já está instalada.

O manejo do solo deve tender a uma agricultura sustentável para garantir ou melhorar o rendimento das culturas e qualidade do solo, limitando as emissões de gases de efeito estufa (LAL, 2000; IPCC, 2013). Sistemas perenes, como pastagens, ou alternância de pastagens e terras cultiváveis têm sido indicados como mais eficientes do que sistemas permanentes de colheita em termos de sequestro de C orgânico e aumento da biodiversidade e disponibilidade de nutrientes do

agroecosistema (GELFAND *et al.*, 2013; LEMAIRE *et al.*, 2015; PARRAS-ALCÁNTARA *et al.*, 2015; RUMPEL *et al.*, 2015).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, F. S. ; LEITE, L. F. C. ; SOUZA, Z. M. ; TORRES, J. L. R. ; COSTA, A. S. H. B. ; FERREIRA, A. H. C. Fertility and total organic carbon in oxisol under different management systems in savannah of Piauí, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 20, p. 165-172, 2017.
- ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M. D.; SOUSA, A. C. M. D. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 717-723, 2010.
- BARBIER, E. B.; HOCHARD, J. P. Does land degradation increase poverty in developing countries? **PloS ONE**. v. 11(5), e0152973. 2016.
- BOMMARCO, R.; KLEIJN, D.; POTTS, S. G. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. **Trend ecology evolution**, 28, 230–238. 2013.
- BUNGENSTAB, D. J. (Ed.), **Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta – A Produção Sustentável**. second ed. EMBRAPA, Brasília, 2012.
- CARDOZO JUNIOR, F.; CARNEIRO, R. V.; LEITE, L. F. C.; ARAUJO, A. S. F. Soil carbon pools in different pasture systems. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 14, p. e11SC01, 2016.
- CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; FRAZAO, L. A.; CERRI, E. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gases emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture Ecosystems Environment**. v. 183, n.1, p.167–175, 2014.
- CERRI, C.C., BERNOUX, M., MAIA, S.M.F., CERRI, C.E.P., COSTA JR., C., FEIGL, B. J., FRAZÃO, L.A., MELLO, F.F.C., GALDOS, M.V., MOREIRA, C.S., CARVALHO, J.L.N. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, V. 67, n.1, p. 102–116, 2010.
- CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; CERRI, C. E. P.; FRANCO, A. L. C.; TORMENA, C. A.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. **Plos One**, v. 11 (3), e0150860, 2016.
- COWIE, A. L.; ORR, B. J.; SANCHEZ, V. M. C.; CHASEK, P.; CROSSMAN, N. D.; ERLEWEIN, A. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. **Environmental Science & Policy**. v.79, p. 25-35. 2018.
- DLAMINI, P., CHIVENGE, P., CHAPLOT, V. Overgrazing decreases soil organic carbon stocks the most under dry climates and low soil pH: A meta-analysis shows.

Agriculture, Ecosystems & Environment. v.221, p. 258–269. 2016.

DORAN, J. W. **Soil quality and sustainability**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set**. In J.W. DORAN AND A.J. JONES, eds. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1996.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, v. 56, p. 2-54, 1996.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2014. Publicações, MATOPIBA.in.:<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/991059/matopiba-caracterizacao-das-areas-com-grande-producao-de-culturas-anuais>N (Acesso em Jan, 2017).

FU, B.; ZHANG, L.; XU, Z.; ZHAO, Y.; WEI, Y.; SKINNER, D. Ecosystemservices in changing land use. **Journal of Soils Sediments**, v.15, p. 833–843, 2015.

GAO, L.; BECKER, E.; LIANG, G.; HOUSSOU, A.A.; WU, H.; WU, X.; CAI, D.; DEGRÉ, A. Effect of different tillage systems on aggregate structure and inner distribution of organic carbon. **Geoderma**, v. 288, p. 97–104, 2017.

GELFAND, I., SAHAJPAL, R., ZHANG, X., IZAURRALDE, R.C., GROSS, K.L., ROBERTSON, G.P. Sustainable bioenergy production from marginal lands in the US Midwest. **Nature**, v. 493, p. 514–517, 2013.

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. adoption and development of integrated crop-livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environmet** (Print), v. 199, p. 394-406, 2015.

GOVERS, G.; MERCKX, R.; VAN WESEMAEL, B.; VAN OOST, K. Soil conservation in the 21st century: why we need smart agricultural intensification. **Soil**, v.3, p.45–59. 2017.

HAN, P.; ZHANG, W.; WANG, G.; SUN, W.; HUANG, Y. Changes in soil organic carbon in croplands subjected to fertilizer management: a global meta-analysis. v. 6, 27199, 2016.

HUNKE, P.; ROLLER, R.; ZEILHOFER, P.; SCHRÖDER, B.; MUELLER, E. N. Soil changes under different land-uses in the Cerrado of Mato Grosso. **Brazil Geoderma Regional**. v. 4, p. 31–43, 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Piauí – Cidades.

in: <https://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=22&search=piauiN> (Acess em Jan, 2018).

IPCC. Climate change: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R.; KIENZLE, J. Overview of the worldwide spread of conservation agriculture. **Field Actions Science Reports [Online]**, v. 8, 2015.

KESSTRA, S. D.; QUINTON, J. N.; VAN DER PUTTEN, W. H.; BARDGETT, R. D.; FRESCO, L. O. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. **Soil**, v. 2, p. 111-128, 2016.

KINOSHITA, R.; SCHINDELBECK, R. R.; VAN ES, R. M. Quantitative soil profile-scale assessment of the sustainability of long-term maize residue and tillage management. **Soil Tillage Resech**. v.174, p. 34–44, 2017.

KUMAR, A.; DORODNIKOV, M.; SPLETTSTÖBER, T.; KUZYAKOV, Y.; PAUSCH, J. Effects of maize roots on aggregate stability and enzyme activities in soil. **Geoderma**, v. 306, p. 50–57, 2017.

LAL, R. **Soil conservation and restoration to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect**. In: Rubio, J.L., Asins, S., Andreu, V., de Paz, J.M., Gimeno, E. (Eds.), Key Notes, 3rd International Congress European Society for Soil Conservation: Man and Soil at the Third Millennium, p. 5–20, 2000.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; HOLANDA NETO, M. R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1257–1263, 2013.

LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; GALVÃO, S. R. S.; LEMOS, J. O.; SILVA, E. F. L. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 258–265, 2010.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P.C.; DEDIEU, D.F. Integrated crop– livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environmet**. v. 190, p. 4–8, 2014.

- LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; FRANZLUEBBERS, A.; CHABBI, A. Grassland–cropping rotations: an avenue for agricultural diversification to reconcile high production with environmental quality. **Environmental Management**, v. 56, p. 1065–1077, 2015.
- LORI, M., SYMNACZIK, S., MÄDER, P., DE DEYN, G., GATTINGER, A. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity-A meta-analysis and meta-regression. **Plos One**, v. 12, e0180442. 2017.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.
- MARTINS, L. F.; PEREIRA, J. M.; TONELLI, M. BARETTA, D. Composição da macrofauna do solo sob diferentes usos da terra (cana-de-açúcar, eucalipto e mata nativa) em Jacutinga (MG). **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, n. 1, p.11-22, 2017.
- MEDEIROS, M. B.; WALTER, B. M. T. Composição e estrutura de comunidades arbóreas de cerrado stricto sensu no norte do Tocantins e sul do Maranhão. **Revista Árvore**, v.36, n.4, p. 673-683, 2012.
- MEMOLI, V.; EYMAR, E.; GARCIA-DELGADO, C.; ESPOSITO, F.; SANTORUFO, L.; MARCO, A.; BARILE, R.; MAISTO, G. Total and fraction content of elements in volcanic soil: natural or anthropogenic derivation. **Science of the Total Environment**, v. 625, p. 16–26, 2018.
- MIELNICZUK, J. **Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecosistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, p.1-8, 1999.
- MIRANDA, E. E.; CARVALHO, C. A. **Na agricultura, a preservação dos Cerrados**. EMBRAPA. Nota técnica, 4p. 2015.
- Natural Resources Conservation Services: Soil Health, 2012. <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>. Acesso em: maio, 2018.
- NICOLODI, M., GIANELLO, C. Understanding soil as an open system and fertility as an emergent property of the soil system, **Sustainable Agriculture Research**, v. 4, p. 94, 2015.
- PANICO, S. C.; MEMOLI, V.; ESPOSITO, F.; MAISTO, G.; MARCO, A. Plant cover and management practices as drivers of soil quality. **Applied Soil Ecology**, 2018.
- PARRAS-ALCÁNTARA, L.; DÍAZ-JAIMES, L.; LOZANO-GARCÍA, B. Management effects on soil organic carbon stock in Mediterranean open rangelands-treeless

- grasslands. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 1, p. 22–34. 2015.
- PAUL, E. A. The nature and dynamics of soil organic matter: plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 98, p. 109–126. 2016.
- PIVA, J.T., DIECKOW, J., BAYER, C., ZANATTA, J.A., DE MORAES, A., TOMAZI, M., PAULETTI, V., BARTH, G., DE PICCOLO, M.C. Soil gaseous N₂O and CH₄ emissions and carbon pool due to integrated crop-livestock in a subtropical ferralsol. **Agriculture Ecosystems Environment**. v. 190, p.87–93, 2014.
- POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops –A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 200, p. 33–41, 2015.
- POWLSON, D. S.; STIRLING, C. M.; THIERFELDER, C.; WHITE, R. P.; JAT, M. L. Does conservation agriculture deliver climate change mitigation through soil carbon sequestration in tropical agro-ecosystems? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, .v. 220, p. 164–174, 2016.
- PUERTA, V. L.; PEREIRA, E. I. P.; WITWER, R.; HEIJDEN, M. V. D.; SIX, J. Improvement of soil structure through organic crop management, conservation tillage and grass-clover ley. **Soil & Tillage Research**, v. 180, p. 1–9, 2018.
- RUMPEL, C., BAUMANN, K., REMUSAT, L., DIGNAC, M.F., BARRÉ, P., DELDICQUE, D., GLASSER, G. LIEBERWIRTH, I., CHABBI, A. Nanoscale evidence of contrasted processes for root-derived organic matter stabilization by mineral interactions depending on soil depth. **Soil Biology Biochemistry**, v.85, p.82–88, 2015.
- SALTON, J.C., MERCANTE, F.M., TOMAZI, M., ZANATTA, J.A., CONCENÇO, G., SILVA, W.M., RETORE, M. Integrated crop–livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. **Agriculture Ecosystems Environment**. V.190, p. 70–79, 2014.
- SHARMA, P.; SINGH, G.; SINGH, R. P. Conservation tillage and optimal water supply enhances microbial enzyme (glucosidase, urease and phosphatase) activities in fields under wheat cultivation during various nitrogen management practices. v.59, p.911–928. 2013.
- STAVI, I.; LAL, R. Achieving zero net land degradation: challenges and opportunities. **Journal Arid Environment**, v.112, p. 44-51. 2015.
- TÓTH, G.; HERMANN, T.; SILVA, M. R.; MONTANARELLA, L. Monitoring soil for

sustainable development and land degradation neutrality. **Environmental Monit Assess**, v.190, p. 57, 2018.

TURMEL, M. S.; SPERATTI, A.; BAUDRON, F.; VERHULST, N.; GOVAERTS, B. Crop residue management and soil health: a systems analysis. **Agricultural Systems**, v. 134, p. 6–16, 2015.

WITTEWER, R.A.; DORN, B.; JOSSI, W.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific Reports**, v. 7, 41911. 2017.

CAPÍTULO I

ESTOQUE DE CARBONO E INDICADORES BIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, PASTAGEM E EUCALIPTO NO CERRADO

RESUMO - A conversão de florestas tropicais para a agricultura pode influenciar o armazenamento e a dinâmica do C no solo. Objetivou-se com esse trabalho, avaliar a dinâmica da matéria orgânica e os indicadores biológicos de qualidade do solo, sob diferentes sistemas de manejos no cerrado piauiense. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Nova Zelândia localizada no município de Uruçuí, PI. Foram estudados cinco sistemas de manejo do solo: Pastagem (PAS); Sistema Plantio Direto de soja sob palhada de milho (SPD 1); Sistema Plantio Direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); Eucalipto (EUC), além de uma área nativa de Cerrado como referência (MN). As camadas estudadas foram de 0-0,1 e 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,5 m para a análise dos teores e estoques totais de carbono (COT) e dos compartimentos químicos (substâncias húmicas) e físicos (complexos particulados e orgânico-minerais) da matéria orgânica do solo e de 0-0,1 m para atributos biológicos como biomassa microbiana (C-BMS e N-BMS), respiração basal (RBS) e os coeficientes microbiano e metabólico ($q\text{CO}_2$, q_{mic}). Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando significativos, submetidos ao teste de Tukey. A PAS e o EUC favoreceram o aumento no C-BMS e q_{mic} , bem como, a redução nos valores de $q\text{CO}_2$, em relação ao SPD 1 e MN. A MN ($18,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e o eucalipto ($16,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) foram os sistemas que armazenaram mais carbono em superfície (0-0,1 m), respectivamente. Os diferentes sistemas de usos tiveram impacto nos estoques de C do solo, bem como nas frações químicas e físicas do COT. No entanto, a PAS e o EUC avaliados tiveram a capacidade de restaurar os níveis originais do MOS, e aumentar o C lábil (ácido fúlvico e matéria orgânica particulada) e frações recalcitrantes (ácido húmico e complexos orgânico-minerais) de MOS. Entre os sistemas de uso da terra, pasto e o eucalipto provaram serem as estratégias de gestão de uso do solo mais adequadas para promoverem a restauração dos indicadores de qualidade do solo. Os sistemas que possuem menor revolvimento da terra como o plantio direto (SPD 1 e SPD 2) e o pasto proporcionam um maior índice de manejo de carbono (IMC) em superfície (0-0,1 m) nas condições avaliadas.

Palavras-chaves: Sistemas Integrados, qualidade do solo, matéria orgânica.

CHAPTER I

CARBON STOCK AND BIOLOGICAL INDICATORS OF SOIL UNDER NO TILLAGE SYSTEM, PASTURE AND EUCALYPTUS IN THE CERRADO

ABSTRACT – The conversion of tropical forests to agriculture can influence the storage and dynamics of soil C. The objective of this work was to evaluate the dynamics of organic matter and biological indicators of soil quality under different management systems in the Piauí cerrado. The work was developed at Nova Zelândia farm, located in the municipality of Uruçuí, PI. Five soil management systems were studied: Grassland (PAS); No tillage System of soybeans under corn straw (SPD 1); No tillage system of maize under pasture of mombaça grass (SPD 2); Eucalyptus (EUC) and a Cerrado native area as reference (MN). The studied layers were 0-0,1 and 0,1-0,2, 0,2-0,3 and 0,3-0,5 m for the analysis of total carbon content and stocks (TOC) and (C-BMS and N-BMS), basal respiration (RBS) and organic matter (organic and mineral complexes) of soil organic matter and 0-0,1 m for biological attributes such as microbial biomass and the microbial and metabolic coefficients ($q\text{CO}_2$, q_{mic}). Data were submitted to analysis of variance, and when significant, submitted to the Tukey test. SBP and EUC favored increases in C-BMS and q_{mic} , as well as reduction in $q\text{CO}_2$ values compared to SPD 1 and MN. MN ($18,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) and Eucalyptus ($16,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) were the systems that stored more carbon at the soil surface (0-0,1 m, respectively). The different systems of land use had a considerable impact on soil C stocks, as well as the chemical and physical fractions of the MOS. However, PAS and EUC had the ability to restore original MOS levels, and to increase labile C (fulvic acid and particulate organic matter) and recalcitrant fractions (humic acid and organic-mineral complexes) of MOS. Among land use systems, pasture and eucalyptus proved to be the most appropriate soil-use management strategies to promote the restoration of soil quality indicators. Systems that have the smallest tillage of the land such as no-tillage (SPD 1e SPD 2) and pasture provide a higher surface Carbon Management Index (CMI) (0-0,1 m) under the conditions evaluated.

Key-words: Integrated systems, soil quality, organic matter.

1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo, caracterizado pelo uso excessivo de máquinas, adubação mineral e aplicação de defensivos agrícolas de forma desordenada tem provocado grandes alterações nas características naturais do solo. Os efeitos destas alterações são percebidos por meio de mudanças que ocorrem nas características físicas, químicas e biológicas do solo, o que resulta na diminuição dos estoques e fluxos de nutrientes, comprometendo a sua capacidade produtiva (MARTÍNEZ *et al.*, 2016; KUMAR *et al.*, 2017; ALHAMEID *et al.*, 2017). Com o objetivo de reduzir as alterações causadas pelo manejo inadequado dos solos agrícolas, a utilização de tecnologias que possuem como premissa a manutenção da qualidade do solo e do ambiente e a sustentabilidade dos sistemas produtivos tem ganhado importância (ALMEIDA *et al.*, 2008; KEESSTRA *et al.*, 2016; PANETTIERI *et al.*, 2017).

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos principais atributos para qualificar um sistema de produção sustentável, pois desempenha papel fundamental para os agroecossistemas, possibilitando o incremento dos estoques de carbono melhorando concomitantemente a estrutura do solo, fertilidade e rendimento de culturas (MANGRICH *et al.*, 2015). O aporte de matéria orgânica ocorre principalmente pela inserção ou manutenção da serrapilheira proveniente de culturas anteriores e/ou a incorporação desta (PANETTIERI *et al.*, 2017). No entanto, os mecanismos subjacentes à incorporação de C orgânico de resíduos de plantas no solo permanecem largamente desconhecidos, uma vez que são amplamente variáveis, dependendo das características edafoclimáticas e uso do solo (FRANZLUEBBERS, 2004; PANETTIERI *et al.*, 2015).

A conversão de florestas tropicais para a agricultura pode influenciar o armazenamento de C, a dinâmica da MOS e os atributos microbiológicos do solo (SANT-ANNA *et al.*, 2017). A redução no armazenamento de C no solo pode ser fator limitante na produção agrícola, tendo em vista que a MOS controla as propriedades chave do solo, em particular, aquelas associadas à disponibilidade de nutrientes como um todo, à capacidade de retenção hídrica, e à fertilidade que a torna importante, além de seu papel no ciclo global de C (CORBEELS *et al.*, 2016; COSER *et al.*, 2018; SALTON *et al.*, 2014; ZOTARELLI *et al.*, 2012).

Sistemas de produção que proporcionam o aumento nos teores de MOS são considerados sustentáveis, uma vez que a MOS está relacionada às condições

ambientais e de qualidade do solo (CARDINAEL *et al.*, 2017). No Brasil, a abordagem de conservação para a agricultura é mais bem representada pelo sistema de plantio direto que é considerado um sistema com capacidade para melhorar a sustentabilidade de desenvolvimento agrícola (TELLES, *et al.* 2018). A biomassa vegetal morta em cobertura propiciada pelo plantio direto pode aumentar o conteúdo de MOS, a biomassa microbiana e a atividade de enzimas (SHARMA *et al.*, 2013; KINOSHITA *et al.*, 2017). Blanco-Canqui; Ruis (2018), concluíram que o plantio direto aumenta o armazenamento de carbono e que a concentração de C orgânico melhorou a estabilidade do agregado úmido e a capacidade de água disponível. Cook *et al.* (2016) avaliando os efeitos da plantação de eucalipto no carbono do solo após 20 anos e três rotações, verificou que a produção de eucalipto de rotação curta diminuiu ligeiramente os estoques de carbono do solo.

A MOS é um atributo fundamental para qualidade do solo e desempenha um papel importante na melhoria da produtividade agrícola (SMITH *et al.*, 2013). No entanto, para perceber os efeitos de manejo do solo sobre a matéria orgânica acumulada, faz-se necessário avaliar os seus compartimentos, mediante fracionamento químico e principalmente físico, uma vez que o carbono orgânico total (COT) é menos sensível às práticas de manejo. Os compartimentos da MOS que podem ser avaliados são as frações húmicas (humina, ácidos fúlvicos e húmicos), frações granulométricas (C orgânico particulado e C associado aos minerais), e as frações oxidáveis do C orgânico do solo (FONTANA *et al.* 2017). A fim de avaliar com precisão o comportamento da MOS é necessário determinar os indicadores biológicos como por exemplo, a biomassa microbiana, a qual é fundamental para regular o fluxo de energia e a ciclagem de nutrientes, apesar de compreender uma pequena proporção (1%-3%) da carbono orgânico total do solo (MOS) (JIANG *et al.*, 2013). A MOS, é portanto, essencial para a sustentabilidade a longo prazo e gestão de nutrientes do ecossistema agrícola (GALVEZ *et al.*, 2012). A quantificação tão precisa de atividade biológica é necessária para entender melhor o processamento e a estabilização do MOS (BACH; HOFMOCKEL, 2014).

Desta forma, o acréscimo ou declínio de C nas frações da MOS pode fornecer informações sobre os possíveis impactos ocasionados pelos sistemas agrícolas sob os distintos manejos do solo (SILVA *et al.* 2011; FONTANA *et al.* 2017). Diante do exposto, objetivou-se com esse trabalho, avaliar a dinâmica da matéria orgânica e os indicadores biológicos de qualidade do solo, sob diferentes sistemas de manejos no

Cerrado piauiense.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Nova Zelândia localizada no município de Uruçuí - PI, (07°33'08" S e 44°36'45" O), a 378 metros acima do nível do mar. O clima segundo Köppen e Geiger é Aw, a temperatura média é de 27,2 °C e a pluviosidade média anual de 817,8 mm correspondente ao ano de 2017 (INMET, 2018) (Figura 1).

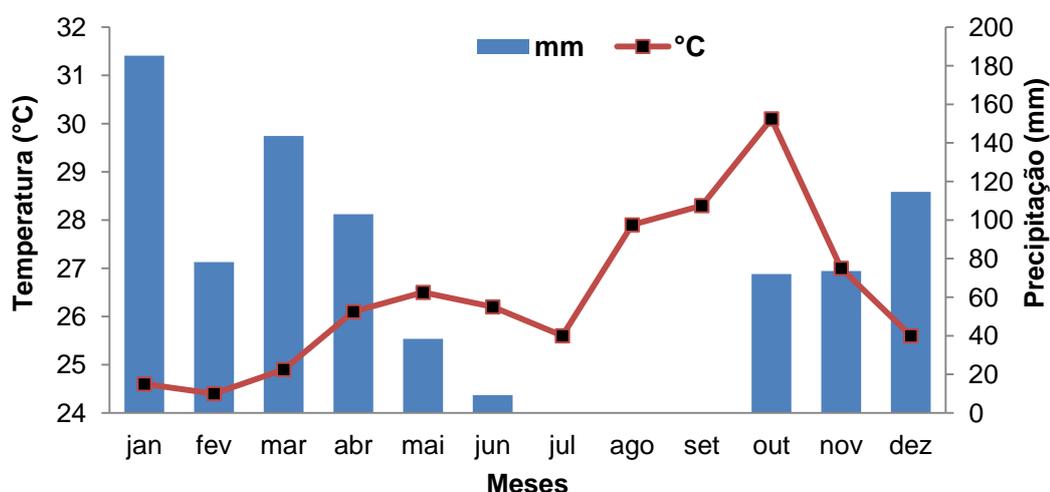


Figura 1- Precipitação e temperaturas médias mensais correspondentes ao ano de 2017, Uruçuí, PI (INMET, 2018).

Os dados de precipitação e temperatura dos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2017 coletados na fazenda Nova Zelândia estão na Tabela 1. Considerou-se como ano agrícola o período compreendido entre outubro a julho do ano seguinte, consistindo na efetivação de todas as práticas de manejo da cultura nesse período. A precipitação determinada foi mensurada por meio de pluviômetros do tipo cunha com área de 15 cm² e volume de 130 mm dispostos em todos os talhões que compreendem a extensão da propriedade. Foram verificados diariamente, com anotação dos volumes de água acumulados. A temperatura dos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2017 foram obtidas por meio da estação meteorológica automática do INMET instalada no município de Uruçuí, PI.

Tabela 1. Precipitação e temperaturas mensais correspondentes aos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2016, Fazenda Nova Zelândia, Uruçuí, PI.

Ano agrícola	Meses	Precipitação	Temperatura ³	
2015/2016	Outubro	26,2	31,0	
	Novembro	36,2	29,5	
	Dezembro*	3,0	29,4	
	Janeiro	550,1	26,5	
	Fevereiro	20,8	27,7	
	Março	183,8	28,2	
	Abril ¹	32,9	28,3	
	Maió ²	0,0	28,3	
	Junho	0,0	27,3	
	Julho	0,0	27,2	
	Total	853,08	Média	28,3
2016/2017	Outubro	58,6	29,9	
	Novembro	95,8	29,3	
	Dezembro*	115,4	27,7	
	Janeiro	175,6	27,6	
	Fevereiro	101,8	26,0	
	Março	148,7	26,0	
	Abril** ¹	74,2	26,8	
	Maió ²	38,4	27,3	
	Junho	15,9	26,9	
	Julho	0,0	26,2	
	Total	839,53	Média	27,4

*Plantio de culturas; ** Coleta de solo; Colheita: ¹ soja e ²milho. ³ Fonte: INMET, (2018).

O solo é classificado como Latossolo Amarelo (ARAÚJO *et al.*, 2010) e a caracterização química das áreas selecionadas para execução deste trabalho está na Tabela 2. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (DONAGEMMA, *et al.* 2011), em que amostras indeformadas de solo com volume conhecido (97,5893 cm³) foram colocadas em estufa a 105°C até atingir massa constante. As análises granulométricas foram realizadas pelo método da dispersão total segundo Donagemma *et al.* (2011) (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,5 m de um Latossolo Amarelo, submetido a diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.

Sistemas	pH em CaCl ₂	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Areia	Silte	Argila	Ds
0 – 0,1 m											
PAS	5,0	37,8	121,2	5,08	0,8	0,04	5,1	775	37	188	1,53
SPD 1	4,8	27,7	82,1	3,81	0,5	0,07	4,9	594	270	136	1,53
SPD 2	5,0	38,8	78,2	3,33	0,7	0,06	3,3	687	184	129	1,45
EUC	4,7	58,2	50,8	2,79	0,9	0,11	5,2	518	326	156	1,31
MN	3,8	2,5	35,2	0,65	0,3	1,30	8,3	639	218	143	1,21
0,1 – 0,2 m											
PAS	4,6	18,8	39,1	3,24	0,6	0,17	4,0	661	187	152	1,55
SPD 1	4,7	5,5	66,5	1,89	0,4	0,10	5,0	609	258	133	1,50
SPD 2	4,7	8,7	54,7	2,19	0,4	0,06	2,4	712	176	112	1,55
EUC	4,4	10,3	39,1	2,14	0,9	0,40	5,9	606	208	185	1,45

MN	4,0	1,8	27,4	0,06	0,1	0,70	5,9	688	183	129	1,36
0,2 – 0,3 m											
PAS	4,2	2,5	23,5	0,59	0,3	0,54	3,5	624	201	175	1,59
SPD 1	4,3	2,0	43,0	1,45	0,2	0,54	3,8	551	293	156	1,49
SPD 2	4,4	2,8	58,7	0,73	0,3	0,40	2,6	662	194	143	1,52
EUC	4,2	2,6	39,1	0,27	0,2	0,61	4,4	635	166	199	1,46
MN	4,0	1,5	7,8	0,04	0,1	0,61	3,2	600	254	146	1,39
0,3 – 0,5 m											
PAS	4,0	1,6	19,6	0,51	0,2	0,59	2,5	543	276	181	1,56
SPD 1	4,1	1,6	23,5	0,60	0,2	0,46	4,0	629	172	199	1,45
SPD 2	4,2	1,8	23,5	0,27	0,2	0,33	1,5	528	321	150	1,50
EUC	4,1	2,0	11,7	0,86	0,1	0,52	3,7	613	252	135	1,38
MN	4,0	1,3	3,9	0,02	0,1	0,47	3,6	613	216	171	1,41

PAS: Pastagem com capim mombaça para fenação; SPD 1: sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho; SPD 2 : sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado.

Para a realização do estudo foram utilizados quatro sistemas de manejo: pastagem (PAS), sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho (SPD 1), sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2), eucalipto (EUC), além de uma área de mata nativa de Cerrado (MN) como referência (Figura 2).



PAS



SPD 1



SPD 2



EUC



MN

Figura 2- Sistemas de manejo do solo em um Latossolo Amarelo em Uruçuí, PI.

PAS: Pastagem com capim mombaça para fenação; SPD 1: sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho; SPD 2: sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado.

O histórico de uso do solo nos diferentes sistemas de manejo é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Histórico dos sistemas de manejo avaliados.

Ano Agrícola	Sistemas de manejo
--------------	--------------------

	PAS	SPD 1	SPD 2	EUC	MN
03/04	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado
04/05	Soja	Soja	Cerrado	Cerrado	Cerrado
05/06	Soja	Soja	Soja/Mombaça/Gado	Eucalipto/ Arroz e Feijão-caupi	Cerrado
06/07	Milho	Milho	Soja/Mombaça/Gado	Soja/ Mombaça	Cerrado
07/08	Soja	Soja	Soja/Mombaça/Gado	Gado	Cerrado
08/09**	Milheto	Milheto	Milheto/Gado	Gado	Cerrado
09/10	Milho	Milho	Soja/Milheto	Pousio*	Cerrado
10/11	Milho	Milho	Soja/Milheto	Pousio*	Cerrado
11/12	Algodão	Algodão	Algodão	Pousio*	Cerrado
12/13	Milho	Milho	Milho	Pousio*	Cerrado
13/14	Soja	Soja	Soja	Pousio*	Cerrado
14/15	Milho	Milho	Milho	Pousio*	Cerrado
15/16	Mombaça	Milho	Mombaça	Pousio*	Cerrado
16/17	Mombaça	Soja/milho	Milho	Pousio*	Cerrado
Cont. (16/17)	10 Mg ha ⁻¹	2,5 Mg ha ⁻¹	5,4 Mg ha ⁻¹	14,1 Mg ha ⁻¹	3,1 Mg ha ⁻¹

PAS: Pastagem com capim mombaça para fenação; SPD 1: sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho; SPD 2: sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado. Gado: Entrada de gado mestiço de nelore com gir sob taxa de lotação de 2,4 UA ha⁻¹. U.A: Unidade Animal com 450 kg.* Pousio de entrada de animais e de culturas agrícolas, com a presença de capim mombaça entre os renques. ** No ano agrícola de 08/09 as áreas referentes aos sistemas avaliados não foram cultivadas, recebendo apenas milheto como cultura de cobertura e no SPD 2 ocorreu à entrada de animal para pastejo. Cont.: Contribuição de resíduos da colheita e biomassa vegetal no sistema no ano agrícola 2016/2017.

O sistema de manejo com eucalipto foi instalado no ano agrícola 2005/2006, sendo realizada a calagem com 6 Mg ha⁻¹ com incorporação do calcário na área. Todas as práticas de calagem que tiveram incorporação de calcário no solo foram realizadas a uma profundidade de 0,22 m com o uso de uma grade aradora de 28". Foi plantado o *Eucalyptus urograndis* clone "h75" com 3 espaçamentos diferentes nos renques, sendo 1,5 x 1,5 m, 3 x 1,5 m e 3 x 2 m e com espaçamento de 14 m entre renques, sendo renques de 3 e 5 linhas de eucalipto. Ainda no ano agrícola 2005/2006 foi cultivado o arroz precoce cv. Aimoré com adubação de 300 kg ha⁻¹ do formulado 10-30-10, e na mesma safra foi plantado feijão-caupi cv. Nova Era e cv. Guariba. Na safra seguinte foi plantada soja cv. BRS278 e BRS279 com adubação de 350 kg de 5-20-20. Após a colheita da soja, foi cultivado capim mombaça, sendo pastejado com taxa de lotação animal 2,4 UA ha⁻¹. A adubação foi feita de forma específica, sendo 150 kg ha⁻¹ do formulado 06-21-06, contendo ainda 12% de Ca, 3% de S, 0,3% de Zn em fundação em janeiro de 2006 e 200 kg ha⁻¹ do formulado 20-01-20, em cobertura em março/2006, janeiro/2007 e janeiro/2008.

O manejo de adubação nas demais áreas estudadas foi realizado de acordo

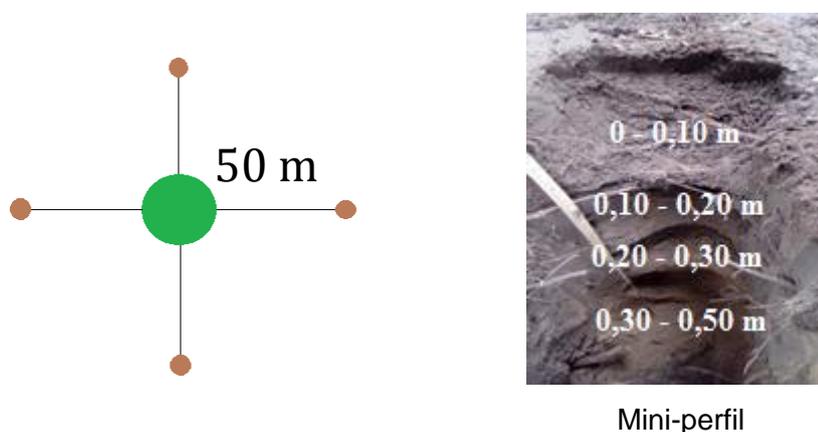
com a necessidade com base em análise de solo, onde todas as áreas no primeiro ano de cultivo receberam calagem de 6 Mg ha^{-1} e incorporado a uma profundidade de 0,22 m com o uso de uma grade aradora de 28". Aplicou-se também 1 t ha^{-1} de gesso agrícola em superfície em todas as áreas no ano agrícola de 2014/2015, sendo ainda disponibilizado 160 kg ha^{-1} de mono-amônio fosfato (MAP), 120 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl), 250 kg ha^{-1} de sulfato de amônio (S. A.) e 230 kg ha^{-1} de ureia em toda a área com exceção do sistema de eucalipto. A última calagem efetuada foi no ano agrícola de 2011/2012, sendo aplicadas $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ calcário dolomítico nas áreas de PAS, SPD 1 e SPD 2 e incorporada a uma profundidade de 0,22 m com o uso de uma grade aradora de 28". Já nos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2017 foram aplicados 170 kg ha^{-1} de Lithotamnium com exceção dos sistemas de PAS e eucalipto. O Lithotamnium é um produto derivado de algas marinhas calcárias que é facilmente confundido com calcário por possuir em sua constituição alto teores de Ca e Mg; ainda possui teores variáveis de S, Cl, Mo, Fe, P, K, B, Mn e Zn (EVANGELISTA, *et al.* 2016).

Nos anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008 na área de SPD 2, após a colheita da soja foi cultivado capim mombaça como cobertura de solo, sendo pastejado sob uma densidade animal de $2,4 \text{ U.A ha}^{-1}$. Ainda na SPD 2 nos anos agrícolas 2009/2010 e 2010/2011 foi utilizado o milho como cobertura após a colheita da soja. No sistema de PAS a retirada de capim mombaça para feno ocorreu apenas no ano agrícola 2015/2016, sendo que em 2016/2017 a área ficou em pousio com relação à entrada de animais e/ou máquinas (Tabela 2). O material genético utilizado no plantio da SPD 2 foi o milho Supremo Viptera (SX7331) e no plantio do SPD 1 foi à soja FTS Graciosa RR. A entrada anual de insumos orgânicos (resíduos da colheita e biomassa herbácea) nestes sistemas são 10 Mg ha^{-1} (BERNARDES *et al.*, 2010; Informação pessoal), $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ (OLIVEIRA, 2011), 10 Mg ha^{-1} (RAIJ *et al.* 1997) , $14,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ (GATTO *et al.* 2011) e $3,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ (LEITE *et al.* 2014) no PAS, SPD 1, SPD 2, EUC e MN, respectivamente.

A coleta do solo foi realizada no final do período chuvoso em abril de 2017, próximo à colheita da soja (Tabela 1). Em cada sistema, foram abertos cinco mini-perfis distribuídos com espaçamento de 50 m entre si, com 0,5 m de profundidade, 0,4 m de largura e 0,6 m de comprimento, cada um destes constituindo uma repetição, no qual foram retiradas amostras simples de cada parede do mini-perfil

para formar uma amostra composta em cada respectiva camada. As camadas estudadas foram de 0-0,1 e 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,5 m para a análise de carbono e de 0-1 m para análise de indicadores biológicos (Figura 3).

Figura 3- Distribuição dos mini-perfis para coleta de amostra em campo.



Após a coleta do solo, as amostras para análises de indicadores biológicos foram acondicionadas em sacos plásticos, com respirador, e transportadas em caixas de isopor com gelo para o laboratório, onde foram homogeneizadas e passadas em peneira com malha de 2 mm e acondicionadas em câmara fria até serem analisadas, não excedendo o período máximo de 30 dias.

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BMS) foram determinados pelo método da irradiação-extração, utilizando na eliminação dos microrganismos em um forno de microondas com frequência de 2.450 MHz a 900 W por 180s, que promove morte dos microrganismos e liberação de componentes celulares (MENDONÇA; MATOS, 2005). A respiração basal do solo (RBS) foi estimada pela quantidade de C-CO₂ liberado no período de sete dias (JENKINSON; POWLSON, 1976). A incubação foi feita, colocando-se 20 gramas de solo em potes que continham frascos com 10 mL de NaOH 1,0 mol L⁻¹. Os potes foram hermeticamente fechados e, após o período de incubação, procedeu-se à titulação do NaOH com HCl 0,5 mol L⁻¹, utilizando-se fenolftaleína como indicador (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005; AZAR *et al.*, 2013). A partir dos resultados do carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e de respiração basal (RB), foram calculados o quociente metabólico (qCO₂) pela razão entre a respiração basal (RB) e o C-BMS (SILVA *et al.*, 2007) e o quociente microbiano (q_{mic}), ou relação C_{mic}/COT, que foi calculado de acordo com Sparling (1992).

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram determinados por combustão 990.03 (AOAC, 2002), empregando-se auto analisador Leco CN628 (Leco Corp., St. Joseph.MI, EUA). O estoque de C foi obtido pelo método de correção de massa do solo, utilizando-se a área de Cerrado nativo como referência (ELLERT; BETTANY, 1995).

A massa equivalente dos diferentes usos da terra foi determinada pela Eq. 1:

$$(1) \text{ Msolo} = D_s \times E \times A$$

Onde:

Msolo = massa do solo por unidade de área (Mg ha^{-1});

Ds = densidade do solo na camada (Mg m^{-3});

E = espessura de solo da camada (m);

A = unidade de área, neste caso, 1 ha (10.000 m^2).

Após definida a massa do solo, considerou o Cerrado nativo como área de referência para realizar o cálculo de espessura adicional, que calcula a espessura a ser adicionada ou subtraída dos diferentes usos em relação à referência. Calculado pela Eq. 2.

$$(2) \text{ Ead/sub} = (\text{Mref.} - \text{Marea}) \times \text{fha} / \text{Dsarea.}$$

Onde:

Ead/sub = espessura de solo da camada a ser adicionada (+) ou subtraída (-) (m);

Mref. = massa equivalente de solo do tratamento referência (Mg ha^{-1});

Marea = massa equivalente de solo da área (Mg ha^{-1});

fha = fator de conversão de ha para m^2 ($0,0001 \text{ ha m}^{-2}$);

Dsarea = densidade do solo na camada da área (Mg m^{-3});

Com os valores de massa de solo e a espessura a ser adicionada ou subtraída foi calculado o estoque de C pela Eq. 3.

$$(3) \text{ Estoque} = \text{cc} \times D_s \times (E \pm \text{Ead/sub}) \times A \times \text{Fkg}$$

onde:

Estoque = massa de C por unidade de área em camada equivalente (Mg ha^{-1});

cc = concentração de C (g kg^{-1} de solo);

Ds = densidade do solo na camada (Mg m^{-3});

E = espessura de solo da camada (m);

Ead/sub = espessura de solo da camada a ser adicionada (+) ou subtraída (-) (m);

A = unidade de área, neste caso, 1 ha (10.000 m²);

Fkg = fator de conversão de kg para Mg (0,001 Mg ha⁻¹);

O fracionamento das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica de solubilidade diferencial, utilizando-se os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, desenvolvidos por Swift (1996) e adaptado por Benites *et al.* (2003).

Para a extração dos ácidos húmicos e fúlvicos foi utilizada solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ na relação solo:extrator de 1:10 p/v, utilizando-se 1,0 g de solo e um tempo de contato de 24 h.

A separação entre o extrato alcalino e o resíduo foi realizado por centrifugação a 5.000 g (FCR média) por 30 min. Foram realizadas três lavagens do resíduo com a mesma solução, adicionando-se os extratos aos anteriormente reservados. O resíduo foi recolhido e reservado para determinação de carbono na forma de humina (HUM). O extrato alcalino manteve o pH ajustado para (1,0 ± 0,1) com solução aquosa de H₂SO₄ 20% que foi decantado por 18 h. O H₂SO₄ foi utilizado em vez de HCl, a fim de evitar interferências do ânion cloreto no processo de determinação do carbono nas frações por métodos titulométricos. O precipitado, fração ácido húmico (C-FAH), foi separado da fração solúvel por centrifugação a 5.000 RPM (FCR média) por 5 min, rediluído em solução NaOH 0,1 mol L⁻¹ e seu volume aferido para 50 ml, com água destilada.

A porção solúvel no extrato acidificado, ácido fúlvico (C-FAF), teve seu volume aferido para 50 ml, utilizando-se água destilada. A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácido fúlvico e ácido húmico foram feitos utilizando alíquotas de 5 ml de extrato e 2,5 ml de dicromato de potássio e mantendo-se a relação 1:2, solução: ácido sulfúrico. As concentrações de dicromato de potássio utilizadas foram de 0,5 e 1,0 mol_c L⁻¹ para frações de ácido fúlvico e ácido húmico, respectivamente, calculadas de forma que 10 a 75% do oxidante foi consumido na reação, mantendo a titulação dentro da faixa linear de correlação com o teor de carbono.

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo foi realizado pesando-se 20 g de solo e adicionando 100 ml de solução de hidróxido de sódio (0,1 N), as amostras foram homogeneizadas por 3 horas em agitador horizontal. Após a homogeneização a suspensão obtida foi lavada em água corrente em peneira de 53

µm. O material retido na peneira consiste na COP (carbono orgânico particulado) associada à fração areia e, o que atravessou a peneira, corresponde às frações silte e argila. O material retido na peneira, após lavagem, foi seco em estufa de circulação de forçada de ar a 65 °C, por 24 horas. Posteriormente, o material foi macerado em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de C orgânico segundo Donagemma *et al.* (2011). Os teores de carbono na fração mineral (COM) foi determinado pela diferença entre o teor de carbono total (COT) do solo e o teor de carbono da fração particulada (COP).

Para a estimativa do índice de manejo de carbono (IMC) calculou-se o índice de estoque de carbono (IEC) e a labilidade do carbono (LC) que permitiu a estimativa do índice de labilidade do carbono (ILC). A partir do IEC e ILC, foi calculado o índice de manejo de carbono (IMC) de acordo com as seguintes equações (4,5 e 6):

$$(4) LC = \text{Est. COP} / \text{Est. COM}$$

Onde:

LC: Labilidade do carbono

Est. COP: Estoque do carbono orgânico particulado;

Est. COM: Estoque do carbono orgânico mineralizável.

$$(5) IEC = \text{Est. COM (1)} / \text{Est. COM (2)}$$

Onde:

IEC: Índice de estabilidade do carbono;

Est. COM (1): Estoque do carbono orgânico mineralizável do sistema avaliado;

Est. COM (2): Estoque do carbono orgânico mineralizável do sistema de referência.

$$(6) ILC = LC (1) / LC (2)$$

Onde:

ILC: Índice de labilidade do carbono;

LC (1): Labilidade do carbono do sistema avaliado;

LC (2): Labilidade do carbono do sistema de referência.

$$(7) IMC = IEC \times ILC$$

Onde:

IEC: Índice de estabilidade do carbono;

ILC: Índice de labilidade do carbono.

Os dados referentes aos indicadores biológicos, estoque de carbono, fracionamento físico e químico da matéria orgânica do solo foram submetidos à análise de variância, e quando significativo, foram submetidos ao teste de Tukey (5%) com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014). Como os sistemas estavam instalados na mesma classe de solo (teor de argila menor 35%), assumindo as condições de homogeneidade, foram atribuídas limitações de extrapolações e definições de pseudorrepetição como reportadas por Tonucci *et al.* (2011).

3-RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Atributos biológicos

A pastagem e o eucalipto apresentaram maiores teores de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) ($p < 0,01$) do que o sistema plantio direto 1 (56 e 53,3%) e MN (47,7 e 44,6%), respectivamente, o que pode estar associado ao incremento de resíduos vegetais propiciada pela pastagem (10 Mg ha^{-1}) e pelo eucalipto ($14,1 \text{ Mg ha}^{-1}$), favorecendo assim maior atividade biológica no processo de decomposição (Tabela 4). A maior atividade microbiana na pastagem em comparação ao SPD 1 pode ser devido ao solo sob pastagem não ter sofrido revolvimento, sistema radicular abundante e ativo praticamente durante todo ano com manutenção da atividade rizosférica, boa distribuição do sistema radicular até um metro de profundidade, apesar de apresentar 50% concentrada na camada superficial (BALOTA, 2017). CARVALHO *et al.*, (2010) afirmam que a zona radicular de sistemas de manejo como PAS e EUC podem influenciar no aumento de C-BMS devido à disponibilização de exsudatos, células, mucilagens entre outros compostos atrativos para a biota do solo.

Tabela 4. Carbono da biomassa microbiana (C-BMS), nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e quociente microbiano ($q\text{mic}$) em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.

Sistemas ¹	C-BMS	N-BMS	RBS	$q\text{CO}_2$	$q\text{mic}$
	----- $\mu\text{g. g}^{-1} \text{ solo}$ -----		$\mu\text{g CO}_2. \text{g}^{-1} .\text{dia}^{-1}$	$\mu\text{g C-CO}_2 / \mu\text{g C-BMS}.\text{dia}^{-1}$	%
PAS	124,8 a	0,53 c	26,7	0,22 b	1,16 a
SPD 1	54,9 c	0,67 c	27,8	0,53 a	0,41 c
SPD 2	97,8 ab	0,35 c	27,1	0,28 b	0,86 ab
EUC	117,6 a	10,73 a	27,8	0,24 b	1,09 a
MN	65,2 bc	4,48 b	31,7	0,49 a	0,48 bc
F	10,1**	150,8**	0,3 ^{ns}	10,8**	11,8**
CV (%)	23,7	24,3	13,4	28,6	27,9
DMS	41,3	1,5	7,1	0,2	0,4

** e * Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste Tukey a 1% e 5 %, respectivamente. ^{ns}: Não houve diferença significativa entre as médias. CV: coeficiente de variação. ¹Sistemas: PAS: Pastagem com capim mombaça para fenação; SPD 1: sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho; SPD 2: sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado.

O comportamento do C-BMS nos sistemas de manejo mostra que a pastagem e o eucalipto podem estimular positivamente a biomassa microbiana por proporcionarem condições ótimas ao seu desenvolvimento, gerando um habitat favorável e criando sítios de refúgio, além do fato dos resíduos vegetais provenientes da cobertura vegetal e da degradação dos sistemas radiculares servirem como fonte de energia e nutrientes para os organismos do solo potencializando diretamente a recuperação do C-BMS nos sistemas em relação ao SPD 1 (GUIMARÃES, *et al.* 2017).

O baixo valor de C-BMS associado ao SPD 1 quando comparado a PAS e ao EUC, mostra que o incremento dos restos vegetais da cultura anterior (milho), não favoreceu o fornecimento de carbono para ser incorporada na biomassa microbiana. Esse resultado pode estar associado ao baixo regime hídrico da região no ano agrícola de 2015/2016 e a má distribuição da precipitação, o que proporcionou baixa produção na cultura do milho, sendo destinada em sua totalidade a silagem.

Para o N-BMS observou-se um maior acúmulo no EUC ($p < 0,01$) em comparação aos demais sistemas avaliados, sendo atribuída à ausência de adubação nitrogenada na área, uma vez que, em áreas sob adubação nitrogenada apresentam menor número de organismos envolvidos no ciclo do N, principalmente aqueles responsáveis pelos processos de amonificação e nitrificação como confirmado por vários autores (LIU E GREAVER, 2010; GEISSELER *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2017). Além disso, como a biomassa microbiana constitui parte do N potencialmente mineralizável, a quantidade de N acumulado na biomassa microbiana da serrapilheira teria relevante contribuição no suprimento de N em plantações, uma vez que representa grande reservatório de N a ser liberado ao longo do tempo por meio da ciclagem de nutrientes (WANG, LIU E BAI, 2018).

As áreas avaliadas não apresentam diferença ($p > 0,05$) para os valores de RBS. Os resultados mostram que os menores valores de quociente metabólico (qCO_2) coincidiram com os maiores valores de C-BMS. Os sistemas de PAS, EUC e SPD 2 proporcionaram os menores valores ($p < 0,01$) de qCO_2 , sendo 56,8%, 52,9% e 45,1% inferiores ao SPD 1 e 55,1%, 51,2% e 42,8% inferiores a MN. Os maiores valores de qCO_2 associados ao SPD 1 e MN pode estar representando a mineralização de formas estáveis de C do solo (ZANG, *et al.* 2018). No entanto, os valores de qCO_2 observados são considerados baixos para áreas de Cerrado

quando comparado aos valores observados por Lourente *et al.* (2011) para o inverno (21,4 $\mu\text{g CO}_2 / \mu\text{gCmic h}^{-1}$) e verão (16,7 $\mu\text{g CO}_2 / \mu\text{gCmic h}^{-1}$) trabalhando com diferentes sistemas de manejo no Cerrado do Mato Grosso.

Os sistemas de PAS e EUC também predominaram ($p < 0,01$) para os valores de q_{mic} , sendo 64,6% e 62,4% superiores ao SPD 1, indicando menor eficiência no uso do carbono no SPD 1 e na MN. Os índices biológicos avaliados indicam a eficiência da biomassa microbiana no uso do carbono disponível para a biossíntese, sendo indicadores sensíveis para avaliar a atividade biológica e a qualidade do solo (WANG, LIU E BAI, 2018). Huggins *et al.* (2007) e Zhang *et al.* (2018), mostram que sistema de sucessão de culturas com soja tenderia a contrabalançar as influências positivas da prática de plantio direto na formação de agregados, turnover e estabilização de carbono no solo. As alterações de comportamento dos indicadores biológicos refletem diretamente na qualidade do solo, sendo fator imprescindível para explicar o comportamento do estoque de carbono nas áreas.

3.2- Teores de Carbono Orgânico Total e seus compartimentos

Os valores de carbono orgânico total (COT) independente do sistema de manejo avaliado foram menores em profundidade (Tabela 5). Esse comportamento é relatado por diversos trabalhos (FREITAS *et al.*, 2000; FREIXO *et al.*, 2002, GAZOLLA *et al.*, 2015), sendo associado à menor exposição das camadas subsuperficiais do solo (0,2 – 0,3 e 0,3 – 0,5 m) à ação de organismos decompositores da MOS e maior aporte de material orgânico em superfície.

Tabela 5. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico mineralizável (COM), índice de estabilidade do carbono (IEC), labilidade do carbono (LC), índice de labilidade do carbono (ILC) e índice de manejo do carbono (IMC) em sistemas de manejo do Cerrado piauiense.

Manejos	COT	COP	COM	IEC	LC	ILC	IMC
	----- g kg -----						
0-0,1 m							
PAS	11,1	0,26 b	10,7 b	1,02	0,03	0,69	70
SPD 1	13,5	0,25 b	13,2 a	0,99	0,04	0,91	91
SPD 2	11,6	0,26 b	10,8 b	0,97	0,03	0,68	67
EUC	14,5	0,34 b	10,4 b	1,08	0,02	0,55	59
MN	15,3	0,47 a	13,4 a	1,00	0,04	1,00	100
F	0,22 ^{ns}	13,7 ^{**}	9,8 ^{**}	-	-	-	-
CV	29,8	17,9	8,8	-	-	-	-

DMS	7,1	0,1	1,9	-	-	-	-
0,1-0,2 m							
PAS	9,7	0,16 c	8,0	1,34	0,02	0,36	49
SPD 1	8,0	0,26 b	7,7	1,07	0,04	0,75	81
SPD 2	7,7	0,10 c	7,2	1,22	0,01	0,23	28
EUC	8,4	0,28 b	6,5	1,18	0,03	0,58	69
MN	7,3	0,41 a	6,9	1,00	0,06	1,00	100
F	0,47 ^{ns}	51,2 ^{**}	1,3 ^{ns}	-	-	-	-
CV	35,6	15,1	15,6	-	-	-	-
DMS	4,8	0,06	2,1	-	-	-	-
0,2-0,3 m							
PAS	6,8 a	0,25 b	6,6 a	1,67	0,04	0,40	66
SPD 1	4,7 c	0,16 bc	4,4 b	1,16	0,05	0,53	61
SPD 2	5,3 ab	0,13 c	5,2 b	1,25	0,03	0,26	33
EUC	5,0 ab	0,23 bc	4,9 b	1,02	0,04	0,40	41
MN	5,0 ab	0,46 a	4,6 b	1,00	0,10	1,00	100
F	0,03*	22,4 ^{**}	15,0 ^{**}	-	-	-	-
CV	18,5	24,4	10,0	-	-	-	-
DMS	1,9	0,1	0,1	-	-	-	-
0,3-0,5 m							
PAS	4,2	0,21 c	3,8	1,19	0,05	0,50	60
SPD 1	4,7	0,19 c	3,7	1,06	0,08	0,74	79
SPD 2	3,8	0,17 c	3,7	1,12	0,05	0,44	49
EUC	4,0	0,29 b	3,7	1,02	0,05	0,50	50
MN	4,0	0,39 a	3,6	1,00	0,11	1,00	100
F	0,8 ^{ns}	22,7 ^{**}	0,4 ^{ns}	-	-	-	-
CV	16,4	16,7	8,8	-	-	-	-
DMS	1,2	0,07	0,62	-	-	-	-

¹Sistemas: PAS: Pastagem com capim mombaça para fenação; SPD 1: sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho; SPD 2: sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado. ** e *: Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste Tukey a 1% e a 5% de significância respectivamente. ^{ns}: não houve diferença significativa. CV: Coeficiente de Variação. DMS: Diferença mínima significativa.

Os maiores valores de COT na camada superficial do solo é associado ao incremento de resíduos e o pouco contato com o solo dos resíduos, retardando o processo de decomposição (LEITE *et al.*, 2010).

As alterações provocadas pelos sistemas de manejo e uso do solo promoveram alterações nas concentrações de COP em todas as áreas. Entretanto, os maiores valores de COP foram observados na mata nativa de cerrado (em média, 53,1%) em comparação com as áreas de cultivos em todas as camadas avaliadas. Este resultado pode estar associado tanto à ausência de práticas agrícolas, quanto à presença de várias espécies vegetais, as quais depositam material orgânico, que é convertido em carbono lábil (LEITE *et al.*, 2013). Em profundidade (0,1-0,2 e 0,3-0,5) observa-se o predomínio do COP no EUC (em média, 58,5% mais) em relação ao SPD 2 e a PAS (Tabela 5). A entrada em longo prazo de diferentes tipos de resíduos da cultura no solo e em vários estágios de decomposição aumentou o teor de C no solo, com maior labilidade. De forma geral, os sistemas de manejo avaliados proporcionaram maiores valores de COM em relação ao COP, correspondendo em

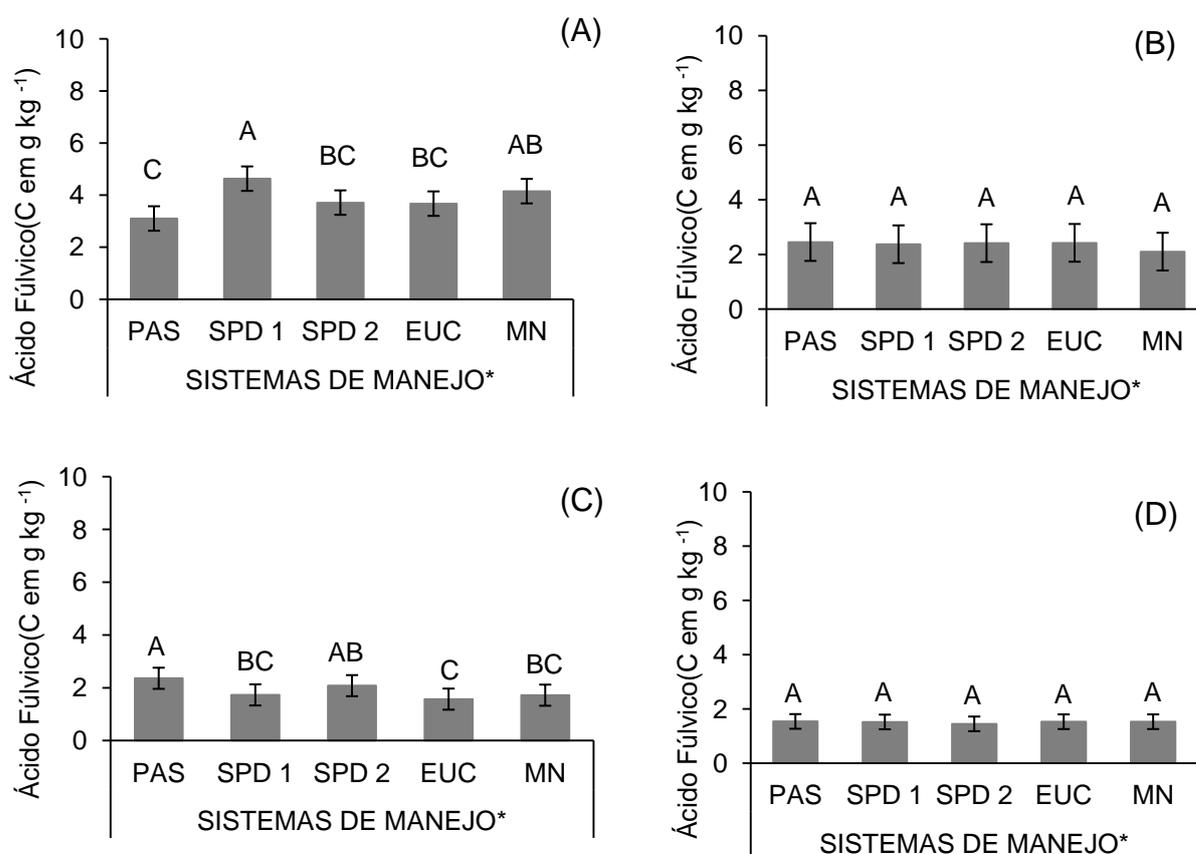
média 96% e 4% do COT avaliado, respectivamente.

Ao avaliar o COM na camada superficial (0-0,1 m), o SPD 1 e a MN apresentaram os maiores valores ($p < 0,01$) e na camada subsuperficial (0,2-0,3 m) a PAS predominou ($p < 0,01$), sendo em média 21,2% superior aos demais sistemas de manejo (Tabela 5), demonstrando que o cultivo de gramíneas aliado ao pouco revolvimento do solo proporciona incremento no teor de C mineralizado em profundidade. Esse resultado pode ser atribuído à maior quantidade de biomassa radicular (ou seja, densidade radicular) proporcionada por esse ecossistema. Esses resultados corroboram com resultados observados por Panettieri *et al.* (2017) que avaliaram o efeito da introdução de gramíneas na dinâmica do carbono do solo. A maior quantidade de COM em relação ao COP é indicativo de que a maior parte do carbono dos solos dessas áreas encontra-se associado à argila + silte, as quais são capazes, em especial as argilas, de favorecer a interação entre a fração mineral e orgânica, formando complexos estáveis, não alterados facilmente pelo manejo (SANTOS *et al.*, 2017).

Os diferentes usos do solo propiciaram valores inferiores de IMC em todas as camadas quando comparado ao observado para a área de referência. Contudo, existe uma variação de 9% a 72% em relação a MN. Os maiores valores de IMC entre os sistemas avaliados foram atribuídos ao SPD 1 (91, 81 e 79) na camada superficial e subsuperficial do solo (0-0,1, 0,1-0,2 e 0,3-0,5 m), respectivamente, em comparação com a PAS (Tabela 5). Estes dados corroboram com os resultados observados por Gazolla *et al.*, (2015) avaliando as frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária em áreas de cerrado. Esses resultados devem-se a rotação de culturas e aos resíduos vegetais depositados no solo nestes sistemas, mostrando que esses dois fatores estão contribuindo para o aumento da quantidade e qualidade da MOS (GAZOLLA *et al.*, 2015). Sistemas de manejo ou uso do solo que apresentem IMC superior ou igual ao da vegetação nativa (100), evidenciam as capacidades dos sistemas de melhorar a qualidade do solo e promover a sustentabilidade do agroecossistema. Por sua vez, valores de IMC inferiores a 100 são indicativos de impacto negativo das práticas de manejo sobre os teores da MOS (BLAIR *et al.*, 1995).

Os maiores valores da fração ácido fúlvico (F-AF) foram verificados no SPD 1 e MN ($p < 0,01$), sendo em média 25,3% superior ao valor apresentado pela PAS na camada superficial (0-0,1 m) (Figura 4). Rosa *et al.* (2017) afirmam que o uso de

leguminosas herbáceas (soja) em sistemas agrícolas permite o aporte de quantidades expressivas de fitomassa, possibilitando alterações no teor e na qualidade da matéria orgânica do solo. Canellas e Façanha (2004) encontraram menores relações AH/AF em solo cultivado com leguminosas, o que permite ressaltar um caráter mais fúlvico das substâncias húmicas quando essas plantas são cultivadas. Entretanto, na camada de 0,2- 0,3 m a PAS teve maior valor da F-AF (2,36 de C em Mg ha⁻¹) com adição de 26,7% em relação ao SPD 1(1,73 de C em Mg ha⁻¹) (p<0,01), podendo ser associado ao denso sistema radicular das gramíneas, que em contato com as partículas minerais contribuem com a estabilização da MOS (ROSSI *et al.*, 2011). Segundo esses autores, o C derivado de raízes tem um tempo médio de residência 2,4 vezes maior que o C derivado da parte aérea, e a contribuição das raízes para a MOS é cerca de 30% maior que a da parte aérea (GAZOLLA *et al.*, 2015).



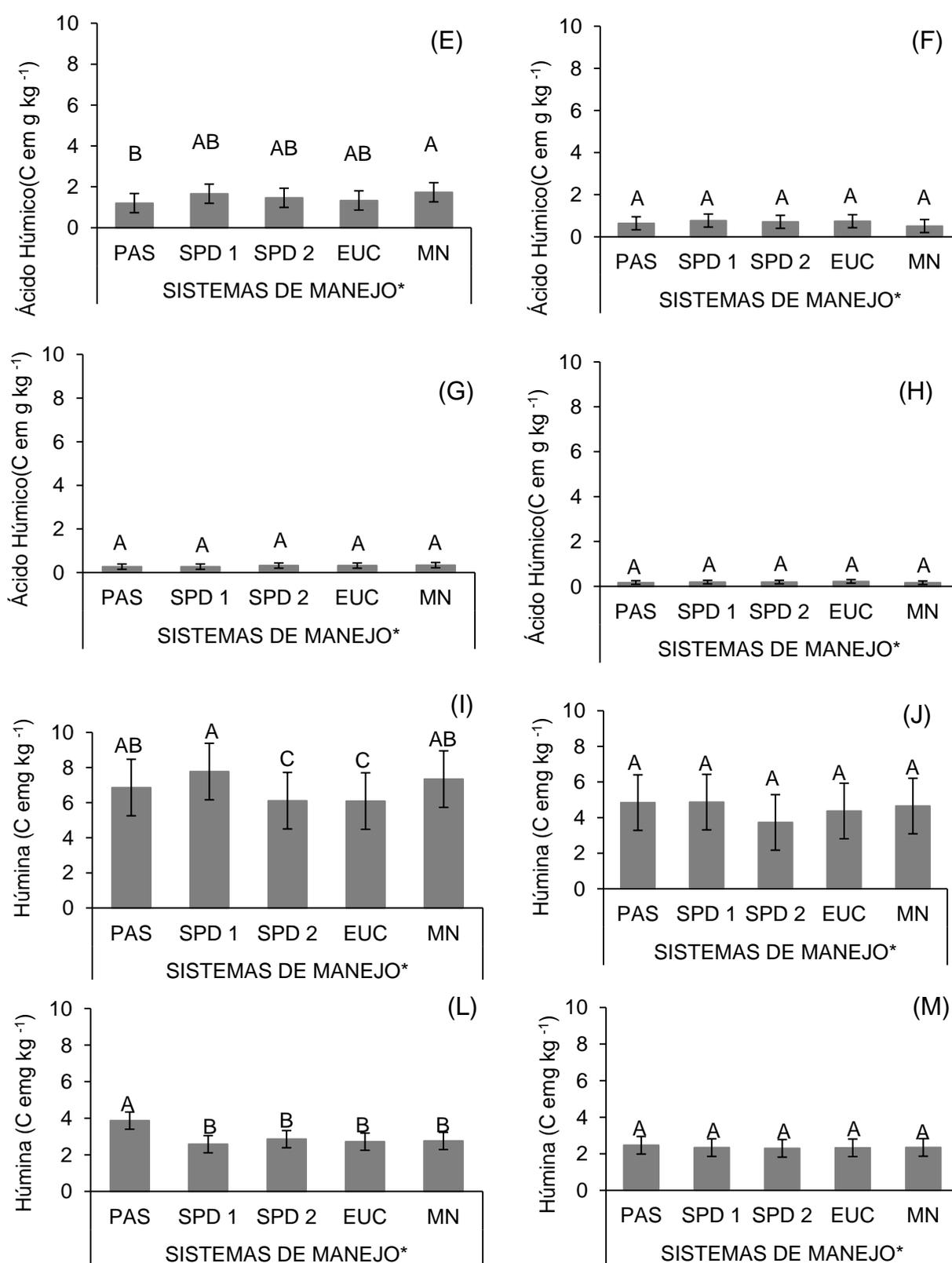


Figura 4. Teores de carbono nas frações Ácido fúlvico 0-0,1 (A), 0,1-0,2 (B), 0,2-0,3 (C) e 0,3-0,5 (D); ácido húmico 0-0,1 (E), 0,1-0,2 (F), 0,2-0,3 (G) e 0,3-0,5 (H) e húmina 0-0,1 (I), 0,1-0,2 (J), 0,2-0,3 (L) e 0,3-0,5 (M) em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piavaense.

Ao avaliar a F-AH constatou-se um valor 30,1% maior na área de referência (MN), em relação à PAS ($p < 0,05$) na camada superficial (0-0,1 m) (Figura 4). Os valores da F-AH foram 72,5% menor que os valores da F-AF, redução que se justifica pela característica de áreas de Latossolos, onde geralmente, há diminuição no conteúdo de ácidos húmicos e predomínio de ácidos fúlvicos (ROSA *et al.* 2017) (Figura 4). A diminuição da relação AH/AF está relacionada à adição recente de material vegetal, que aumenta inicialmente, o conteúdo de ácidos fúlvicos (ROSA *et al.*, 2017). Porém, em longo prazo, a maior prevalência dos ácidos fúlvicos em relação aos ácidos húmicos pode resultar em perdas de MO por meio da água percolada. Isso acontece porque o AF é um grupo de menor peso molecular e maior densidade de grupamentos carboxílicos, revelando maior solubilidade e polaridade que os AH e, conseqüentemente, maior mobilidade no solo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

A F-HUM apresentou maiores teores de C quando comparado as demais frações da MOS, corroborando com resultados observados em diversos estudos em solos tropicais, nos quais se observou o predomínio do carbono da fração húmina em relação às outras frações (ROSSI *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2011; ROSSI *et al.*, 2012; GAZOLLA *et al.*, 2015). O comportamento da F-HUM foi semelhante ao observado nas demais frações da MOS, onde os maiores teores se concentraram na SPD 1 ($p < 0,05$), sendo 21,7% e 21,4% superior as áreas de EUC e SPD 2 na camada superficial (0-0,1 m) e subsuperficial (0,2-0,3 m), respectivamente (Figura 4). Os elevados valores da F-HUM podem estar relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade desta fração (FONTANA *et al.*, 2006). Segundo Fontana *et al.* (2006), as FAF e FAH, por apresentarem menor estabilidade, podem ser translocadas para camadas mais profundas e serem polimerizadas ou mineralizadas, e diminuir assim, o seu teor residual no solo. Diante dos resultados observados percebe-se que o plantio direto, rotação de culturas, manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo e a qualidade desses resíduos, pode proporcionar decomposição lenta do material vegetal depositado, o que pode com o passar do tempo, encaminhar este sistema de manejo à estabilização da MOS e conseqüentemente, a melhorias dos atributos químicos e físicos do solo (GAZOLLA *et al.*, 2015).

3.3- Estoques de Carbono

Os valores de estoques de C no solo foram maiores ($p < 0,05$) na MN (18,2 Mg ha⁻¹) e no EUC (16,8 Mg ha⁻¹), proporcionando aumento de 28,6%, 27,5% e 26,9% para a MN e 22,6%, 21,4% e 20,8% para o EUC, quando comparado com PAS, SPD 1 e SPD 2 na camada superficial (0-0,1 m), respectivamente (Figura 5). O incremento de C nessas áreas está diretamente ligado à entrada contínua de resíduos vegetais ao longo do tempo e ao não revolvimento (GMACH *et al.* 2018).

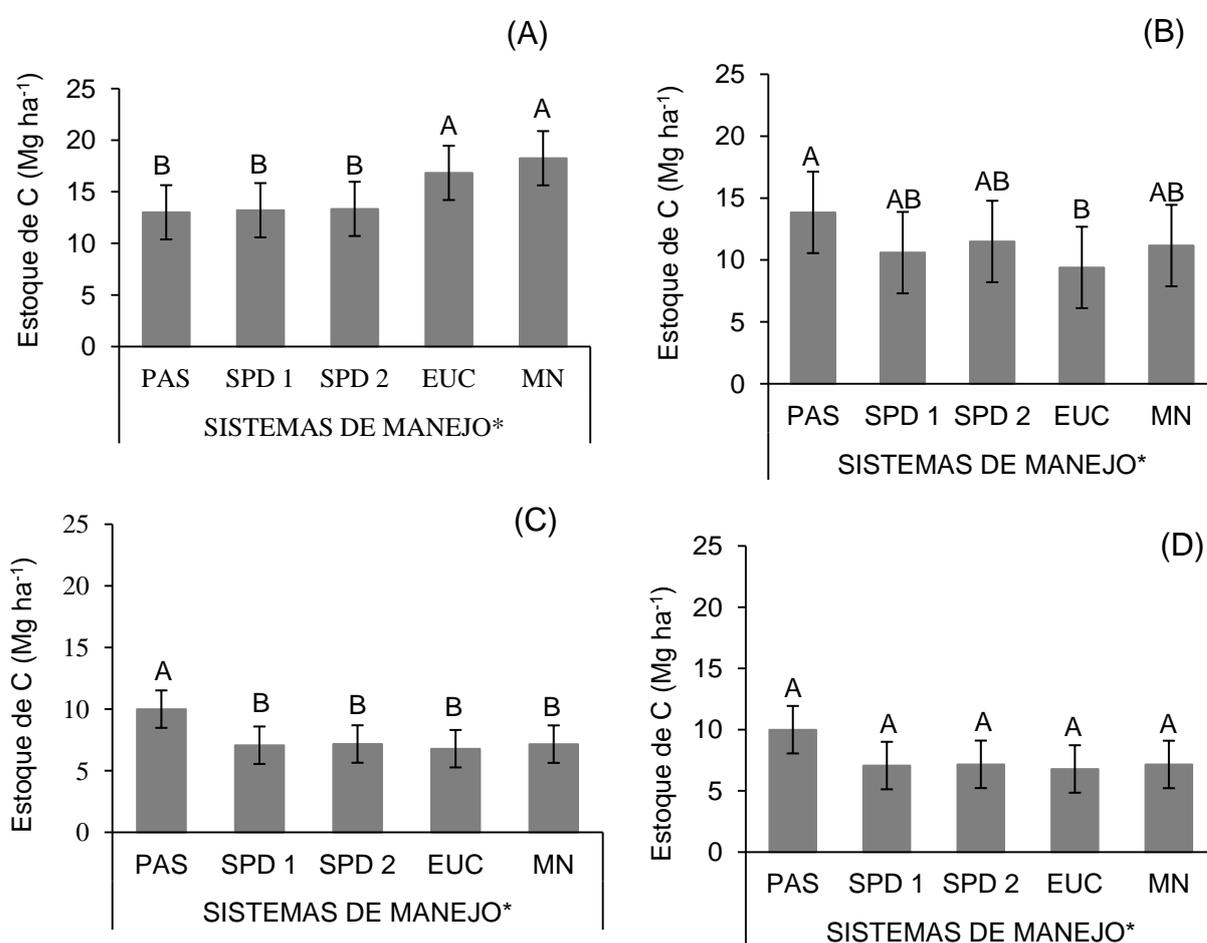
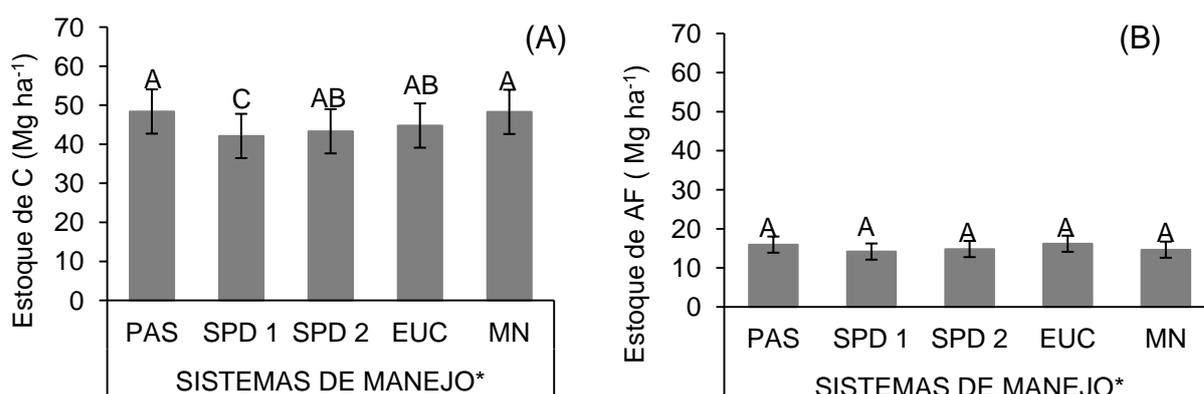


Figura 5. Estoque de Carbono nas camadas 0-0,1 (A), 0,1-0,2 (B), 0,2-0,3 (C) e 0,3-0,5 m (D) em diferentes sistemas de manejo do Cerrado piauiense.

Em subsuperfície na camada de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, o sistema com pastagem acumulou maior quantidade de C no solo (13,8 e 10 Mg ha⁻¹) ($p < 0,05$) quando comparado ao EUC. Esse comportamento pode ser atribuído ao sistema radicular das gramíneas, que possibilita um incremento no teor de carbono ao longo do perfil

do solo devido ao desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente uma maior proteção física do C por meio dos agregados do solo (PANNETIERI *et al.* 2017). Segundo Franzluebbbers; Stuedemann (2008), as pastagens possibilitam incremento nos teores de carbono em função do grande volume no desenvolvimento vegetal, tanto na parte aérea como nas raízes. Fujisaki *et al.* (2015), preconiza que a conversão de florestas tropicais em pastagens proporciona um aumento no estoque de C no solo, enquanto a conversão para cultivo intensivo de grãos leva a perda de C no sistema.

Ao avaliar o estoque de C na camada de 0-0,5 m, a PAS apresentou valor de (48,4 Mg ha⁻¹), superior ao SPD 1 (42,1 Mg ha⁻¹) ($p < 0,01$), mostrando que a contribuição dos resíduos vegetais (9,1 Mg ha⁻¹) disponibilizados pelo capim mombaça bem manejado, potencializou o estoque de carbono no sistema (Figura 6). Mello *et al.* (2014), preconizam que pastagens bem manejadas, podem armazenar maiores quantidades de C do que em áreas de cultivo, devido a uma melhor agregação e entradas de maiores quantidades de resíduos orgânicos (acima e abaixo do solo) no solo. Os estoques de substâncias húmicas na camada de 0-0,5 m como estoques das frações de ácidos fúlvicos (EFAF) e húmicos não diferiram ($p > 0,05$), entretanto é observado um aumento ($p < 0,05$) de 51,4 % nos valores de estoque da fração húmina (EFHUM) na PAS quando comparado aos demais sistemas de manejo (Figura 6). O aumento do EFHUM na PAS pode ser explicado pela inserção do resíduo vegetal em grande quantidade (10 Mg ha⁻¹), o que fornece o material orgânico utilizado, preferencialmente, pelos micro-organismos sintetizadores das frações mais estáveis da MOS (huminas) (RIBEIRO *et al.*, 2011; ROSA *et al.*, 2017).



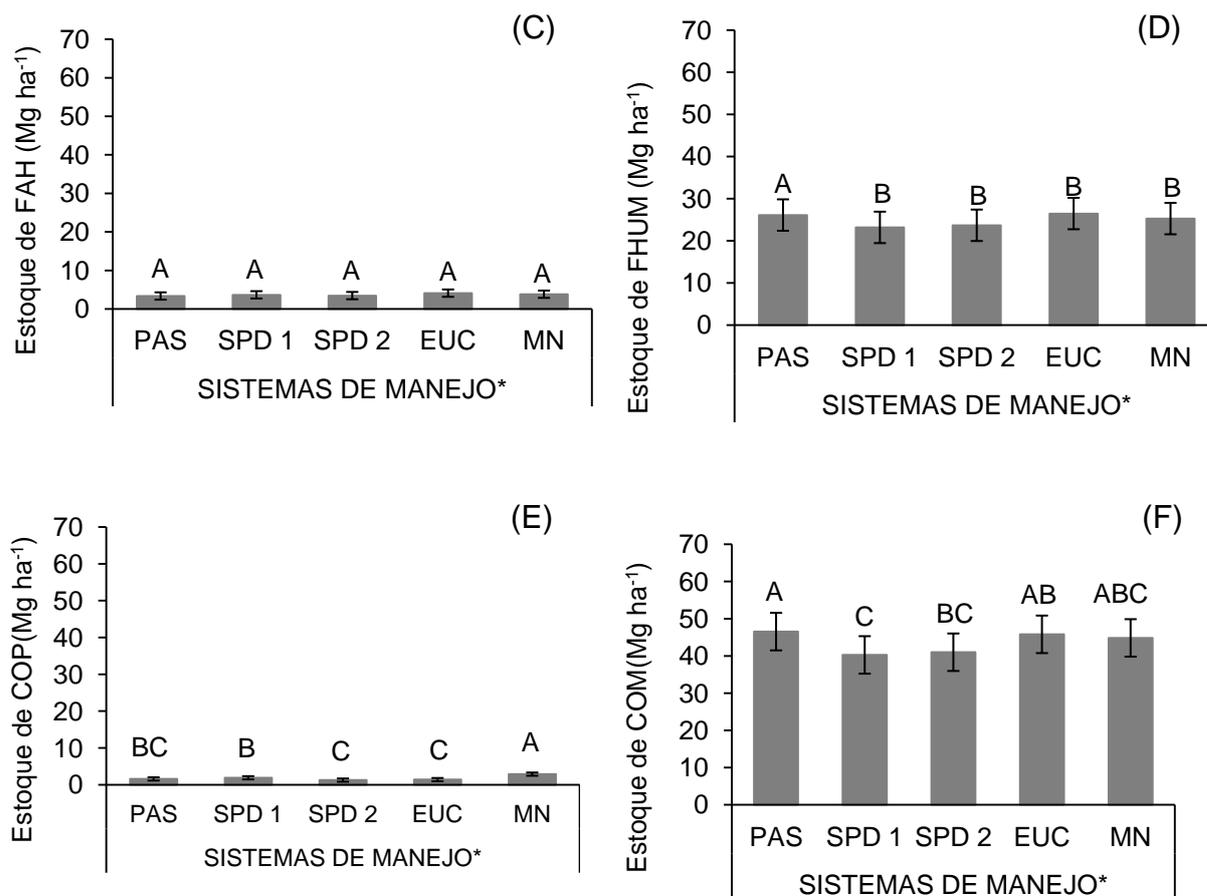


Figura 6. Estoques de Carbono Orgânico Total (ECOT)(A), Estoques da Fração Ácido Fúlvico (EFAF) (B), Estoques da Fração Ácido Húmico (EFAH) (C), Estoques da Fração Humina (EFHUM) (D), Estoques de carbono orgânico particulado (ECOP) (E) e Estoques de carbono orgânico mineralizável (ECOM) (F) na camada de 0-0,5 m em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.

Os valores de estoque de carbono particulado (ECOP) mostraram uma redução, variando de 56,2 a 34,1% em função do manejo adotado, quando comparado à área de referência (MN) (Figura 6), potencialmente associada às ações antrópicas nas áreas. O ECOP reforça o potencial da fração COP como uma boa indicadora de alteração do C em função do uso do solo, como verificada em outros estudos (FIGUEIREDO *et al.*, 2010; LEITE *et al.*, 2013). Já o estoque de carbono associado aos minerais (ECOM) mostra que a PAS predominou sobre os sistemas de SPD 1 e SPD 2 com valores 13,4 e 11,8% maiores, respectivamente, fato esse que se dá devido ao maior aporte de resíduos vegetais oriundos desse sistema (capim mombaça). As gramíneas apresentam uma maior relação C/N e lignina/N, o que acarreta numa decomposição mais lenta do resíduo, favorecendo o aumento

dos teores de C ligados à argila e silte, formando complexos organominerais (SILVA; MENDONÇA, 2007).

4. CONCLUSÕES

A pastagem e o eucalipto avaliados favoreceram o aumento no C-BMS e q_{mic} e menor q_{CO_2} , armazenaram as maiores quantidade de carbono total e COM em relação ao plantio direto sob palhada do milho (SPD 1) e demonstraram a capacidade de restaurar os níveis originais do MOS, e aumentar o C lábil (ácido fúlvico e matéria orgânica particulada) e frações recalcitrantes (ácido húmico e complexos orgânico-minerais) de MOS.

Entre os sistemas de uso da terra avaliados, pasto e o eucalipto provaram serem as estratégias de gestão de uso do solo mais adequadas para promoverem a restauração dos indicadores de qualidade do solo nas condições avaliadas. Os sistemas que possuem menor revolvimento da terra como o plantio direto (SPD 1 e SPD 2) e o pasto proporcionam um maior IMC em superfície (0-0,1 m) nas condições avaliadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHAMEID, A.; IBRAHIM, M.; KUMAR, S.; SEXTON, P.; SCHUMACHER, T. E. Soil organic carbon changes impacted by crop rotational diversity under no-till farming in South Dakota, USA, v.81, p. 868–877, 2017.
- ALMEIDA, M. D. C.; TRINDADE, A. V.; MAIA, I. C. S. E.; MARQUES, M. C. Influências dos diferentes sistemas de manejo no comportamento da microbiota do solo em áreas sob cultivo de mamão na região de Cruz das Almas, BA. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 67-75. 2008.
- AOAC **Official Method 990.03. Protein (crude) in animal feed, combustion method**. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC International, Arlington, VA, USA. p.30-31, (Chapter 4), 2002.
- ARAÚJO, F. S., SALVIANO, A. A. C., LEITE, L. F. C., SOUZA, Z. M. D.; SOUSA, A. C. M. D. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 717-723, 2010.
- AZAR, G. S.; ARAÚJO, A. S. F.; OLIVEIRA, M. E.; AZEVÊDO, D. M. M. R. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2727-2736, 2013.
- BACH, E. M.; HOFMOCKEL, K. S. Soil aggregate isolation method affects measures of intra-aggregate extracellular enzyme activity. **Soil Biology and Biochemistry**. v.69, p. 54–62. 2014.
- BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Macenas, 2017. 287 p.
- BENITES, V. M.; MADARI, B; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Comunicado Técnico16, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M.; MESQUITA, M. A. M.; AGUIAR, R. A.; MESQUITA, G. M. Decomposição da biomassa e liberação de nutrientes dos capins braquiária e mombaça, em condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 40, n. 3, p. 370-377, 2010.
- 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, Victoria**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.
- BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma** v.326, p.164-200. 2018.
- CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**. v. 39, n. 3, p. 233-240. 2004.
- CARDINAEL, R.; CHEVALLIER, T.; CAMBOU, A.; BÉRAL, C.; BARTHÈS, B. G.; DUPRAZ, C.; DURAND, C.; KOUAKOUA, E.; CHENU, C. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: a survey of six different sites in France. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.236, p. 243–255. 2017.
- CARVALHO, J. L N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 175-186. 2010.
- COOK, L. R.; BINKLEY, D.; STAPE, J. L. Eucalyptus plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil. **Forest Ecology and Management**. v.359, p.92–98, 2016.
- CORBEELS, M.; MARCHÃO, R. L.; SIQUEIRA-NETO, M.; FERREIRA, E. G.; MADARI, B. E.; SCOPEL, E.; BRITO, O. R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific Reports**, v.6, p.1–8. 2016.
- COSER, T. R.; FIGUEIREDO, C. C.; JOVANOVIĆ, B.; MOREIRA, T. N.; LEITE, G. G.; CABRAL FILHO, S. L. S.; KATO, E.; MALAQUIAS, J. V.; MARCHÃO, R. L. Short-term buildup of carbon from a lowproductivity pastureland to an agrisilviculture system in the Brazilian savannah. **Agricultural Systems**, v.1, p.1–12. 2018.
- DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.75, n.4, p.529-538, 1995.
- EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; COSTA, F. R. Desenvolvimento inicial da mamoneira, girassol e nabo forrageiro adubados com lithothamnium. **Global Science Technology**. Rio Verde, v.08, n.02, p.40 – 48. 2015.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, n. 3, p. 907-916, 2010.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.847-853. 2017.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F. & SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, p.847-853. 2006.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop-livestock production. **Soil Science Society of America Journal**. v. 72, n. 5, p. 613-625, 2008.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P. H.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000.

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 Ciências do Solo**. v. 26, n. 1, p. 425-434, 2002.

FUJISAKI, K.; PERRIN, A.-S.; DESJARDINS, T.; BERNOUX, M.; BALBINO, L. C.; BROSSARD, M.. From forest to cropland and pasture systems: a critical review of soil organic carbon stocks changes in **Amazonia**. **Global Change Biology**. v. 21, n.7, p.2773–2786. 2015

GALVEZ, A.; SINICCO, T.; CAYUELA, M. L. MINGORANCE, M. D. ; FORNASIER, F. ; MONDINI, C. Short term effects of bioenergy byproducts on soil C and N dynamics, nutrient availability and biochemical properties. **Agriculture Ecosystem Environment**, v.160, p. 3–14. 2012.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; DE BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; DE ARAÚJO SANTOS, G. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, 2005.

- GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.35, n.4, p.895-905, 2011.
- GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704. 2015.
- GEISSELER, D.; LAZICKI, P. A.; SCOW, K. M. Mineral nitrogen input decreases microbial biomass in soils under grasslands but not annual crops. **Applied Soil Ecology**, v.106, p.1–10.2016.
- GMACH, M. R.; DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; NÓBREGA, J. C. A.; LUSTOSA-FILHO, J. F.; SIQUEIRA-NETO, M. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 14, p. e00178, 2018.
- GUIMARÃES, N. F.; GALLO, A. S.; FONTANETTI, A. MENEGHIN, S. P. SOUZA, M. D. B.; MORINIGO, K. P. G.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n.1, p. 34-44. 2017.
- HUGGINS, D. R.; ALLMARAS, R. R.; CLAPP, C. E.; LAMB, J. A.; RANDALL, G. W. Corn-soybean sequence and tillage effects on soil carbon dynamics and storage. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, p.145–154. 2007.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTM0Ng>. Acesso em: jan de 2018.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: a method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209-213. 1976.
- KESSTRA, S.D., BOUMA, J., WALLINGA, J., TITTONELL, P., SMITH, P., CERDÀ, A., MONTANARELLA, L., QUINTON, J.N., PACHEPSKY, Y., VAN DER PUTTEN, W.H., BARDGETT, R.D., MOOLENAAR, S., MOL, G., JANSEN, B., FRESCO, L.O. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. **Soil**, v.2, p.111–128. 2016.
- KINOSHITA, R.; SCHINDELBECK, R. R.; VAN ES, R. M. Quantitative soil profile-scale assessment of the sustainability of long-term maize residue and tillage management. **Soil Tillage Research**, v.174, p.34–44. 2017.

- KUMAR, A.; DORODNIKOV, M.; SPLETTSTÖBER, T.; KUZYAKOV, Y.; PAUSCH, J. Effects of maize roots on aggregate stability and enzyme activities in soil. **Geoderma**, v. 306, p. 50–57. 2017.
- LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; HOLANDA NETO, M. R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1257-1263. 2013.
- LEITE, L. F. C.; IWATA, B. F.; ARAÚJO, A. S. F. Soil organic matter pools in a tropical savanna under agroforestry system in northeastern Brazil. **Revista Árvore**, v.38, n.4, p.711-723, 2014.
- LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; GALVÃO, S. R. S.; LEMOS, J. O.; SILVA, E. F. L. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 258–265. 2010.
- LIU, L.; GREAVER, T. L. A global perspective on belowground carbon dynamics under nitrogen enrichment. **Ecology Letters**, v.13, p.819–828. 2010.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28. 2011.
- MANGRICH, A. S.; CARDOSO, E. M. C.; DOUMER, M. E.; ROMÃO, L. P. C.; VIDAL, M.; RIGOL, A.; NOVOTNY, E. H. Improving the water holding capacity of soils of Northeast Brazil by biochar augmentation. **ACS Symposium Series**, v.1206, p. 339–354. 2015.
- MARTÍNEZ, I.; CHERVET, A.; WEISSKOPF, P.; STURNY, W. G.; REK, J.; KELLER, T. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: part II. Soil porosity and gas transport parameters. **Soil Tillage Reseach**, v. 163, p. 130–140, 2016.
- MELLO, F.F.C.; CERRI, C.E.P.; DAVIES, C.A.; HOLBROOK, N.M.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.V.; BERNOUX, M.; CERRI, C.C. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. **Nature Climate Change**, v.4, p. 605-609, 2014.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 107p. 2005.
- OLIVEIRA, J. A. G. **Matéria seca, teores de macronutrientes e produtividade de**

soja transgênica e não transgênica com diferentes manejos de plantas daninhas. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2011.

PANETTIERI, M., BERNIS, A.E., KNICKER, H., MURILLO, J.M., MADEJÓN, E., Evaluation of seasonal variability of soil biogeochemical properties in aggregate-size fractionated soil under different tillages. **Soil Tillage Research**, v. 51, p. 39–49, 2015.

PANETTIERI, M., RUMPEL, C., DIGNAC, M.-F., CHABBI, A., Does grassland introduction into cropping cycles affect carbon dynamics through changes of allocation of soil organic matter within aggregate fractions? **Science Total Environment**, v. 576, p. 251–263. 2017.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. R. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Instituto Agrônomo de Campinas, 2 eds. rev. Atual. 285p. 1997.

RIBEIRO, P. H.; SANTOS, J. V. V. M.; 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**, v. 6, n. 1, p. 43-50, 2011.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

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

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. 3, p. 38-46, 2012.

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

SANT-ANNA, S. A. C.; JANTÁLIA, C. P.; SÁ, J. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the

- Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, p.101–120. 2017.
- SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUSA, J. B.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. **Revista Scientia Agrária**, v. 18, n. 2, p. 43-53, 2017.
- SHARMA, P.; SINGH, G.; SINGH, R. P. Conservation tillage and optimal water supply enhances microbial enzyme (glucosidase, urease and phosphatase) activities in fields under wheat cultivation during various nitrogen management practices. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 59, p. 911–928. 2013.
- SILVA, E. E.; de AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 4p. 2007. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99).
- SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETT, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K.; TEIXEIRA, G. C. F. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1349-1356, 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, 2011.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 275- 374. 2007.
- SMITH, P.; ASHMORE, M. R.; BLACK, H. I.; BURGESS, P. J.; EVANS, C. D.; QUINE, T. A.; THOMSON, A. M.; HICKS, K.; ORR, H. G. REVIEW: the role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality. **Journal of Applied Ecology**, v.50, p. 812–829. 2013.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic as a sensitive indicator changes in matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society American, p.1011-1020. 1996.
- TELLES, T. S.; REYDON, B. P.; MAIA, A. G. Effects of no-tillage on agricultural land

values in Brazil. **Land Use Policy**, v.76, p. 124–129. 2018.

TONUCCI, R. G.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GARCIA, R.; BERNARDINO, F. S. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n. 3, p. 833-841, May/Jun. 2011.

WANG, C.; LIU, D.; BAI, E. Decreasing soil microbial diversity is associated with decreasing microbial biomass under nitrogen addition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.120, p.126–133. 2018.

ZHANG, Z.; LIANG, S.; WANG, J.; ZHANG, X.; MAHAMOOD, M.; YU, J.; ZHANG, X.; LIANG, A.; LIANG, W. Tillage and crop succession effects on soil microbial metabolic activity and carbon utilization in a clay loam soil. **European Journal of Soil Biology**, v.88, p.97–104, 2018.

ZHOU, Z.; WANG, C.; ZHENG, M.; JIANG, L.; LUO, Y. Patterns and mechanisms of responses by soil microbial communities to nitrogen addition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.115, p.433–441. 2017.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v.132, p.185–195. 2012.

CAPÍTULO II

DIVERSIDADE DA FAUNA EPÍGEA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, PASTAGEM E EUCALIPTO NO CERRADO

RESUMO- A fauna do solo é um dos bioindicadores da qualidade do solo que possui maior sensibilidade, sendo facilmente alterada por mudanças que ocorrem nos ecossistemas naturais e agrícolas, seja de forma natural (secas, entre outros), ou por ações antrópicas. O trabalho teve como objetivo avaliar a comunidade da fauna epígea em diferentes sistemas de manejo no Cerrado. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Nova Zelândia, localizada no município de Uruçuí, PI. Foram utilizados cinco sistemas de manejo do solo: Pastagem (PAS); Sistema Plantio direto sob milho (SPD 1); Sistema Plantio Direto sob capim mombaça (SPD 2); Eucalipto (EUC), além de uma área de Cerrado como referência (MN). A captura dos organismos se deu por meio da instalação de 7 (sete) armadilhas do tipo “*Pitfall*” por sistema de manejo. Foram avaliados os índices de riqueza total (S); riqueza média; os índices de Shannon e Pielou e o número de indivíduos armadilha dia⁻¹. Os dados referentes ao número de indivíduos por armadilha por dia e riqueza média foram submetidos à análise de variância, e quando significativo, foram submetidos ao teste de Friedman. Os sistemas de produção de grãos em plantio direto, pastagem ou eucalipto, alteraram a estrutura da comunidade da fauna epígea, em comparação à condição natural de Cerrado. O SPD sob capim mombaça proporcionou maior abundância e riqueza total de espécies que o eucalipto, e pode ser recomendado para minimizar o impacto da atividade agrícola sobre a biodiversidade da fauna epígea.

Palavras-chave: Sistemas integrados, qualidade do solo, invertebrados do solo.

CHAPTER II

Diversity of the epigeal fauna in no tillage sistem, pasture and eucalyptus in the cerrado

ABSTRACT- Soil fauna is one of the soil quality bioindicators that has the highest sensitivity, being easily altered by changes that occur in natural and agricultural ecosystems, either naturally (drought, among others) or by anthropic actions. The objective of this study was to evaluate the epigeal fauna community in different management systems in the Cerrado. The study was developed at Nova Zelândia farm, located in the municipality of Uruçuí, PI. Five soil management systems were used: Grassland (PAS); System no tillage under corn (SPD 1); No tillage system under mombaça grass (SPD 2); Eucalyptus (EUC), and a Cerrado area as reference (MN). The catch of the organisms was performed with the installation of 7 (seven) Pitfall traps in each management system. Total wealth indexes (S) were evaluated; average wealth; the Shannon and Pielou indices, and the number of individuals per trapp per day. Data on the number of individuals per trap per day and mean richness were submitted to analysis of variance, and when significant, they were submitted to the Friedman test. Grain production systems under no-tillage, pasture or eucalyptus, altered the structure of the epigeal fauna community, compared to the natural condition of Cerrado. The SPD under mombaça grass provides greater abundance and total species richness than eucalyptus, and can be recommended to minimize the impact of agricultural activity on the biodiversity of the epigeal fauna.

Key-words: Integrated systems, soil quality, arthropods of soil.

1. INTRODUÇÃO

As áreas de Cerrado do Piauí totalizam cerca de 11 milhões de hectares. Cerca de 5 milhões de hectares agricultáveis, estão distribuídos em 28 municípios e encontram-se em constante processo de transição de área nativa para celeiros de produção de grãos (MINGOTI *et al.*, 2014). Essa conversão tem contribuído diretamente para o aumento na produção de grãos da região denominada de MATOPIBA, referindo-se as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, considerada a última fronteira agrícola do Brasil, com um crescimento de 486.000 ha ano⁻¹ (MINGOTI *et al.*, 2014).

A mudança do ambiente natural para sistemas de cultivos pode promover alteração nos atributos químicos, físicos e biológico do solo (PUERTA *et al.* 2018). Os atributos biológicos do solo, em especial a fauna, por serem mais sensíveis às ações antrópicas, demonstram alterações com maior rapidez no ambiente e, por isso, são considerados excelentes indicadores de qualidade do solo (PEIXOTO; SILVA; KRUGER, 2016).

A fauna invertebrada do solo é um dos bioindicadores da qualidade edáfica e do ambiente, facilmente alterada por mudanças que ocorrem em áreas nativas e agrícolas, seja de forma natural (secas, entre outros) ou por meio de ações antrópicas (MARTINS *et al.*, 2017). A alta sensibilidade às alterações ao ambiente é associada à cobertura vegetal que pode influenciar diretamente no desequilíbrio de comunidades invertebradas do solo com redução de abundância e diversidade, principalmente, pela perturbação do ambiente e pelas alterações na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (BARETTA *et al.*, 2014).

A fauna invertebrada desempenha importantes funções no solo, como a fragmentação de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, aeração, mobilização de nutrientes e controle da cadeia trófica, sendo tais funções vitais para o desenvolvimento vegetal e, conseqüentemente, para um ecossistema equilibrado (INNANGI *et al.*, 2018). Santos *et al.* (2016), caracterizando a fauna em sistemas de produção em áreas de Cerrado no sudoeste do Piauí, reafirma a importância da fauna para a produtividade agrícola e conclui que o plantio direto proporciona maior abundância e riqueza de famílias que o preparo convencional do solo nas condições avaliadas. Além do manejo o clima também pode afetar a distribuição e concentração da fauna no solo como afirmado por Nunes, et al. (2018), avaliando a

fauna edáfica em áreas de conservação do bioma Cerrado.

São poucas as informações a respeito da fauna invertebrada em solos do bioma Cerrado no estado do Piauí e principalmente em sistemas conservacionistas tornando necessária a execução de pesquisas, visando contribuir para a formação de um futuro panorama estadual de resultados faunístico do solo. Diante disso, objetivou-se com presente trabalho avaliar a comunidade da fauna invertebrada do solo em diferentes sistemas de manejos em bioma de Cerrado piauiense.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Nova Zelândia localizada no município de Uruçuí - PI, (07°33'08" S e 44°36'45" O), a 378 metros acima do nível do mar. O clima segundo Köppen e Geiger é Aw, a temperatura média é de 27,2 °C e a pluviosidade média anual de 817,8 mm correspondente ao ano de 2017 (INMET, 2018) (Figura 1).

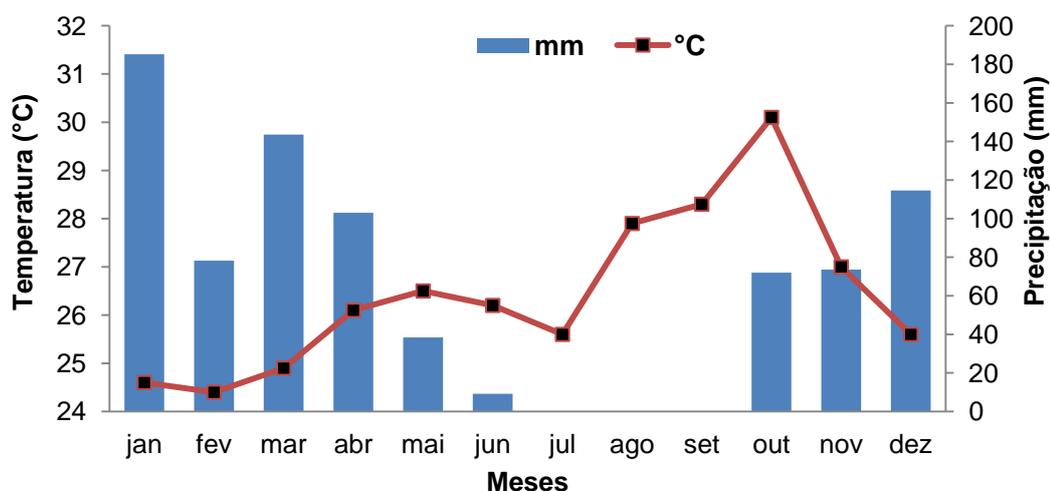


Figura 1- Precipitação e temperaturas médias mensais correspondentes ao ano de 2017, Uruçuí, PI (INMET, 2018).

Os dados de precipitação e temperatura dos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2017 coletados na fazenda Nova Zelândia estão na Tabela 1. Considerou-se como ano agrícola o período compreendido entre outubro a julho do ano seguinte, consistindo na efetivação de todas as práticas de manejo da cultura nesse período. A precipitação determinada foi mensurada por meio de pluviômetros do tipo cunha com área de 15 cm² e volume de 130 mm dispostos em todos os talhões que compreendem a extensão da propriedade. Foram verificados diariamente e anotado o resultado. A temperatura dos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2017 é obtida por meio da estação meteorológica automática do INMET instalada no município de Uruçuí, PI.

Tabela 1. Precipitação e temperaturas mensais correspondentes aos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2016, Fazenda Nova Zelândia, Uruçuí, PI.

Ano agrícola	Meses	Precipitação	Temperatura ³
2015/2016	Outubro	26,2	31,0
	Novembro	36,2	29,5
	Dezembro*	3,0	29,4
	Janeiro	550,1	26,5
	Fevereiro	20,8	27,7
	Março	183,8	28,2
	Abril ¹	32,9	28,3
	Maio ²	0,0	28,3
	Junho	0,0	27,3
	Julho	0,0	27,2
	Total	853,08	Média 28,3
2016/2017	Outubro	58,6	29,9
	Novembro	95,8	29,3
	Dezembro*	115,4	27,7
	Janeiro	175,6	27,6
	Fevereiro	101,8	26,0
	Março	148,7	26,0
	Abril** ¹	74,2	26,8
	Maio ²	38,4	27,3
	Junho	15,9	26,9
	Julho	0,0	26,2
	Total	839,53	Média 27,4

*Plantio de culturas; ** Coleta de solo; Colheita: ¹ soja e ²milho. ³ Fonte: INMET, (2018).

O solo é classificado como Latossolo Amarelo (ARAÚJO *et al.*, 2010) e a caracterização química das áreas selecionadas para execução deste trabalho está na Tabela 2. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (DONAGEMMA, *et al.* 2011), em que amostras de solo indeformadas com volume conhecido (97,5893 cm³) foram colocadas em estufa a 105°C até atingir massa constante. As análises granulométricas foram realizadas pelo método da dispersão total segundo Donagemma *et al.* (2011) (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3-0,5 m de um Latossolo Amarelo, submetido a diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.

Sistemas	pH em CaCl ₂	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Areia	Silte	Argila	Ds
		-- mg dm ⁻³ --	----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- g kg ⁻¹ -----		----- kg dm ⁻³ -----		
0 – 0,1 m											
PAS	5,0	37,8	121,2	5,08	0,8	0,04	5,1	775	37	188	1,53
SPD 1	4,8	27,7	82,1	3,81	0,5	0,07	4,9	594	270	136	1,53
SPD 2	5,0	38,8	78,2	3,33	0,7	0,06	3,3	687	184	129	1,45
EUC	4,7	58,2	50,8	2,79	0,9	0,11	5,2	518	326	156	1,31
MN	3,8	2,5	35,2	0,65	0,3	1,30	8,3	639	218	143	1,21
0,1 – 0,2 m											
PAS	4,6	18,8	39,1	3,24	0,6	0,17	4,0	661	187	152	1,55
SPD 1	4,7	5,5	66,5	1,89	0,4	0,10	5,0	609	258	133	1,50

SPD 2	4,7	8,7	54,7	2,19	0,4	0,06	2,4	712	176	112	1,55
EUC	4,4	10,3	39,1	2,14	0,9	0,40	5,9	606	208	185	1,45
MN	4,0	1,8	27,4	0,06	0,1	0,70	5,9	688	183	129	1,36
0,2 – 0,3 m											
PAS	4,2	2,5	23,5	0,59	0,3	0,54	3,5	624	201	175	1,59
SPD 1	4,3	2,0	43,0	1,45	0,2	0,54	3,8	551	293	156	1,49
SPD 2	4,4	2,8	58,7	0,73	0,3	0,40	2,6	662	194	143	1,52
EUC	4,2	2,6	39,1	0,27	0,2	0,61	4,4	635	166	199	1,46
MN	4,0	1,5	7,8	0,04	0,1	0,61	3,2	600	254	146	1,39
0,3 – 0,5 m											
PAS	4,0	1,6	19,6	0,51	0,2	0,59	2,5	543	276	181	1,56
SPD 1	4,1	1,6	23,5	0,60	0,2	0,46	4,0	629	172	199	1,45
SPD 2	4,2	1,8	23,5	0,27	0,2	0,33	1,5	528	321	150	1,50
EUC	4,1	2,0	11,7	0,86	0,1	0,52	3,7	613	252	135	1,38
MN	4,0	1,3	3,9	0,02	0,1	0,47	3,6	613	216	171	1,41

PAS: Pastagem com capim mombaça para fenação; SPD 1: sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho; SPD 2: sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado.

Para a realização do estudo foram utilizados quatro sistemas de manejo: pastagem (PAS), sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho (SPD 1), sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2), eucalipto (EUC), além de uma área de mata nativa de Cerrado (MN) como referência (Figura 2).

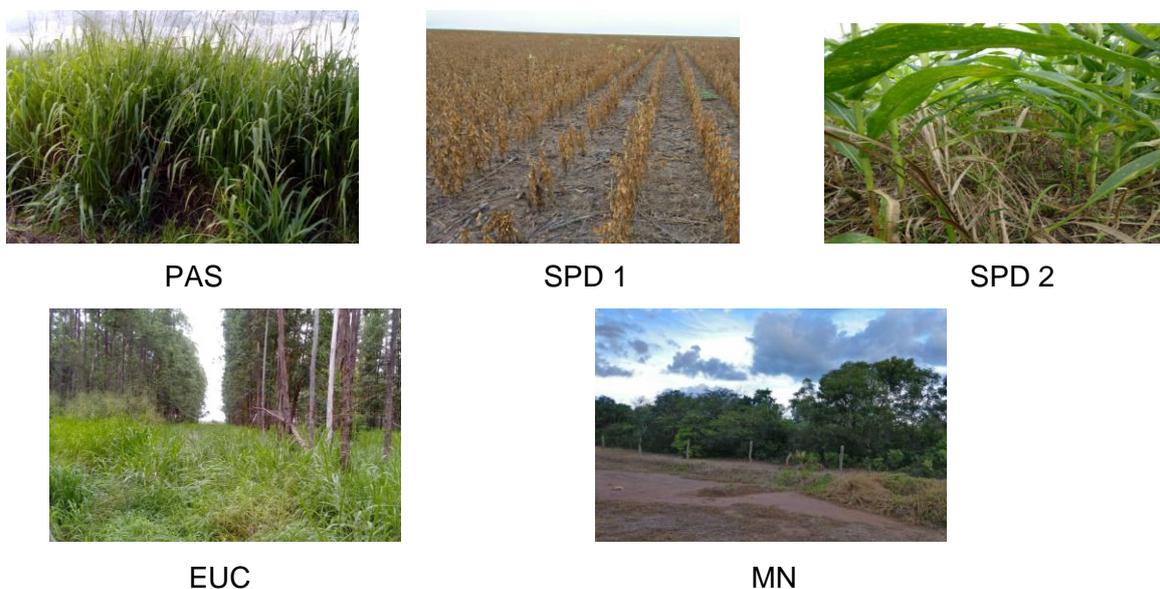


Figura 2- Sistemas de manejo do solo em um Latossolo Amarelo em Uruçuí, PI.

PAS: Pastagem com capim mombaça para fenação; SPD 1: sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho; SPD 2: sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado.

O histórico de uso do solo nos diferentes sistemas de manejo é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Histórico dos sistemas de manejo avaliados.

Ano Agrícola	Sistemas de manejo				
	PAS	SPD 1	SPD 2	EUC	MN
03/04	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado
04/05	Soja	Soja	Cerrado	Cerrado	Cerrado
05/06	Soja	Soja	Soja/Mombaça/Gado	Eucalipto/ Arroz e Feijão-caupi	Cerrado
06/07	Milho	Milho	Soja/Mombaça/Gado	Soja/ Mombaça	Cerrado
07/08	Soja	Soja	Soja/Mombaça/Gado	Gado	Cerrado
08/09**	Milheto	Milheto	Milheto/Gado	Gado	Cerrado
09/10	Milho	Milho	Soja/Milheto	Pousio*	Cerrado
10/11	Milho	Milho	Soja/Milheto	Pousio*	Cerrado
11/12	Algodão	Algodão	Algodão	Pousio*	Cerrado
12/13	Milho	Milho	Milho	Pousio*	Cerrado
13/14	Soja	Soja	Soja	Pousio*	Cerrado
14/15	Milho	Milho	Milho	Pousio*	Cerrado
15/16	Mombaça	Milho	Mombaça	Pousio*	Cerrado
16/17	Mombaça	Soja/milho	Milho	Pousio*	Cerrado
Cont. (16/17)	10 Mg ha ⁻¹	2,5 Mg ha ⁻¹	5,4 Mg ha ⁻¹	14,1 Mg ha ⁻¹	3,1 Mg ha ⁻¹

PAS: Pastagem com capim mombaça para fenação; SPD 1: sistema de plantio direto de soja sob palhada de milho; SPD 2: sistema de plantio direto de milho sob palhada de capim mombaça (SPD 2); EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado. Gado: Entrada de gado mestiço de nelore com gir sob taxa de lotação de 2,4 UA ha⁻¹. U.A: Unidade Animal com 450 kg.* Pousio de entrada de animais e de culturas agrícolas, com a presença de capim mombaça entre os renques. ** No ano agrícola de 08/09 as áreas referentes aos sistemas avaliados não foram cultivadas, recebendo apenas milho como cultura de cobertura e no SPD 2 ocorreu à entrada de animal para pastejo. Cont.: Contribuição de resíduos da colheita e biomassa vegetal no sistema no ano agrícola 2016/2017.

O sistema de manejo com eucalipto foi instalado no ano agrícola 2005/2006, sendo realizada a calagem com 6 Mg ha⁻¹ com incorporação do calcário na área. Todas as práticas de calagem que tiveram incorporação de calcário no solo foram realizadas a uma profundidade de 0,22 m com o uso de uma grade aradora de 28". Foi plantado o *Eucalyptus urograndis* clone "h75" com 3 espaçamentos diferentes nos renques, sendo 1,5 x 1,5 m, 3 x 1,5 m e 3 x 2 m e com espaçamento de 14 m entre renques, sendo renques de 3 e 5 linhas de eucalipto. Ainda no ano agrícola 2005/2006 foi cultivado o arroz precoce cv. Aimoré com adubação de 300 kg ha⁻¹ do formulado 10-30-10, e na mesma safra foi plantado feijão-caupi cv. Nova Era e cv. Guariba. Na safra seguinte foi plantada soja cv. BRS278 e BRS279 com adubação de 350 kg de 5-20-20. Após a colheita da soja, foi cultivado capim mombaça, sendo pastejado com taxa de lotação animal 2,4 UA ha⁻¹. A adubação foi feita de forma específica, sendo 150 kg ha⁻¹ do formulado 06-21-06, contendo ainda 12% de Ca, 3% de S, 0,3% de Zn em fundação em janeiro de 2006 e 200 kg ha⁻¹ do formulado 20-01-20, em cobertura em março/2006, janeiro/2007 e janeiro/2008.

O manejo de adubação nas demais áreas estudadas foi realizada de acordo com a necessidade com base em análise de solo, onde todas as áreas no primeiro ano de cultivo receberam calagem de 6 Mg ha^{-1} e incorporado a uma profundidade de 0,22 m com o uso de uma grade aradora de 28". Colocou-se também 1 t ha^{-1} de gesso agrícola em superfície em todas as áreas no ano agrícola de 2014/2015, sendo ainda disponibilizado 160 kg ha^{-1} de mono-amônio fosfato (MAP), 120 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl), 250 kg ha^{-1} de sulfato de amônio (S. A.) e 230 kg ha^{-1} de ureia em toda a área com exceção do sistema de eucalipto. A última calagem efetuada foi no ano agrícola de 2011/2012, sendo aplicadas $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ calcário dolomítico nas áreas de PAS, SPD 1 e SPD 2 e incorporada a uma profundidade de 0,22 m com o uso de uma grade aradora de 28". Já nos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2017 foram aplicados 170 kg ha^{-1} de Lithotamnium com exceção dos sistemas de PAS e eucalipto. O Lithotamnium é um produto derivado de algas marinhas calcárias que é facilmente confundido com calcário por possuir em sua constituição alto teores de Ca e Mg, ainda possui teores variáveis de S, Cl, Mo, Fe, P, K, B, Mn e Zn (EVANGELISTA, *et al.* 2016).

Nos anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008 na área de SPD 2, após a colheita da soja foi cultivado capim mombaça como cobertura de solo, sendo pastejado sob uma densidade animal de $2,4 \text{ U.A ha}^{-1}$. Ainda na SPD 2 nos anos agrícolas 2009/2010 e 2010/2011 foi utilizado o milho como cobertura após a colheita da soja. No sistema de PAS a retirada de capim mombaça para feno ocorreu apenas no ano agrícola 2015/2016, sendo que em 2016/2017 a área ficou em pousio com relação à entrada de animais e/ou máquinas (Tabela 2). O material genético utilizado no plantio da SPD 2 foi o milho Supremo Viptera (SX7331) e no plantio do SPD 1 foi à soja FTS Graciosa RR. A entrada anual de insumos orgânicos (resíduos da colheita e biomassa herbácea) nestes sistemas são 10 Mg ha^{-1} (BERNARDES *et al.*, 2010; Informação pessoal), $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ (OLIVEIRA, 2011), 10 Mg ha^{-1} (RAIJ *et al.* 1997) , $14,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ (GATTO *et al.* 2011) e $3,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ (LEITE *et al.* 2014) no PAS, SPD 1, SPD 2, EUC e MN, respectivamente.

A coleta da fauna epígea foi realizada no final do período chuvoso em abril de 2017, próximo à colheita da soja. A captura dos organismos, se deu por meio de armadilhas do tipo "Pitfall", de acordo com metodologia descrita por Moldenke (1994), adaptada por Aquino *et al.* (2006). Estas armadilhas foram constituídas com

recipientes plásticos de 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro com cobertura, os quais foram enterradas no solo, com a borda ao nível da superfície. A cobertura da armadilha foi feita com pratos plásticos com tripé de madeira com objetivo de reduzir a entrada de água proveniente da precipitação e restos vegetais da cultura. Foram instaladas 7 armadilhas por sistema de manejo em transecto respeitando a distância de 10 metros entre cada armadilha. Em cada armadilha, foram adicionados 200 mL de uma solução conservante de formol com concentração de 4%, para evitar a deterioração dos insetos. Após sete dias de instaladas no campo, as armadilhas foram retiradas do solo e os indivíduos coletados identificados e classificados segundo o nível de ordem ou classe (GALLO *et al.*, 1988; DINDAL, 1990).

A análise dos dados foi realizada a partir do cálculo do número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹. Adicionalmente, também foram calculados os índices ecológicos de riqueza média, que corresponde ao número médio de ordens ou grupos encontrados por armadilha e a riqueza total (S) que é o número de grupos encontrados por área avaliada; Shannon-Weaner: $(H) = -\sum p_i * \log p_i$ ($p_i = n_i/N$; n_i = abundância de cada grupo; N = abundância total); e equitabilidade de Pielou: $(e) = H/\log S$ (H = Índice de Shannon; S = Riqueza total) (ODUM 1988).

Os dados referentes ao número de indivíduos por armadilha por dia (ind. arm⁻¹ dia⁻¹) e riqueza média foram submetidos à análise com auxílio do programa estatístico R. Foram realizados testes de Shapiro-Wilk e Levene, para verificar a normalidade e homogeneidade das variâncias dos dados, posteriormente foram submetidos à análise não paramétrica, pelo teste de Friedman, a 5%. Realizou-se ainda a análise multivariada de componentes principais (ACP), entre os grupos taxonômicos e os sistemas de manejo, utilizando o programa R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se a presença de 22 grupos faunísticos nos diferentes sistemas de manejo (PAS, SPD 1, SPD 2, EUC e MN). O menor número de indivíduos coletado por armadilha dia⁻¹ foi registrado na Mata Nativa (MN), enquanto o sistema de plantio direto 2 (SPD 2) apresentou os maiores valores, diferindo dos demais (Tabela 4).

Tabela 4. Número de indivíduos, riqueza total, riqueza média, índice de diversidade de Shannon e índice de equitabilidade de Pielou em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.

Sistema de manejo	Ind. Arm. dia ⁻¹ ± Erro padrão	Riqueza Total	Riqueza Média	Shannon	Pielou
PAS	50,55 ± 1,9 b	18	11a	2,73	0,65
SPD 1	38,12 ± 3,9 bc	12	8 a	2,71	0,76
SPD 2	91,37 ± 13,0 a	13	8 a	2,00	0,54
EUC	42,85 ± 5,5 b	11	9 a	2,08	0,60
MN	14,49 ± 2,4 c	16	9 a	2,65	0,66

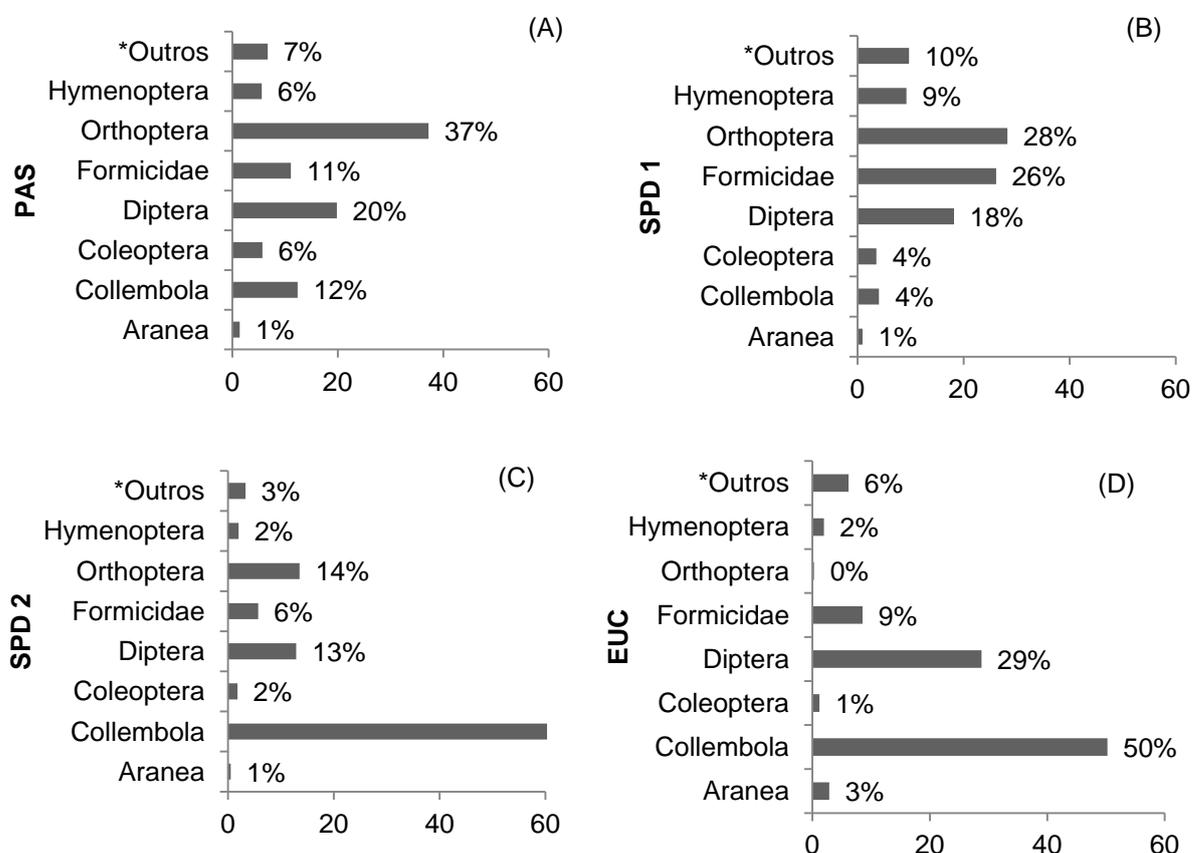
SPD 1: Sistema de Plantio Direto 1; SPD 2: Sistema de Plantio Direto 2; EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado. Médias seguidas por uma mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Friedman ($P < 0,05$). Ind. Arm. dia⁻¹: Indivíduos por armadilha por dia.

O maior número de indivíduos no SPD2 sugere que o sinergismo propiciado pelo incremento de resíduos vegetais da gramínea aliado ao revolvimento reduzido do solo promove a formação de um micro-habitat capaz de atrair mais indivíduos, funcionando como uma espécie de refúgio para a fauna do solo (DIAS *et al.*, 2007). O baixo valor de indivíduos apresentado no SPD 1 quando comparado os demais sistemas avaliados, pode ser explicado pela menor oferta e diversidade de resíduos vegetais da cultura na área amostrada no momento da coleta. A sensibilidade da fauna epígea a sistemas de uso da terra como o sistema de plantio direto foram observados por Baretta *et al.* (2014) e confirmado por Souza *et al.* (2016).

Quando se refere à riqueza total, que corresponde à quantidade de espécies presentes no sistema observou-se o maior valor na área de pastagem (PAS) (Tabela 4). Isto provavelmente está associado ao acúmulo de fitomassa em cobertura, assim como a manutenção da estrutura do solo potencializada por esse sistema, tendo em vista que esses organismos são sensíveis às mudanças na estrutura do solo (CARNEIRO *et al.*, 2009). O comportamento da mata nativa de cerrado (MN) foi superior ao SPD 1, SPD 2 e EUC quando se refere à riqueza total, podendo-se associar ao equilíbrio propiciado por uma área sem intervenção antrópica e ao aporte de uma gama diversificada de material orgânico, o que permite a colonização

por diferentes organismos (BARROS *et al.*, 2008) (Tabela 4).

A PAS, MN e SPD 1 apresentaram valores mais elevados no índice de diversidade de Shannon em relação aos demais sistemas avaliados (Tabela 4). Por outro lado, os menores valores do índice de Shannon foram observados nos sistemas SPD 2 e EUC, podendo este resultado ser atribuído ao predomínio dos grupos Collembola e Díptera, que representaram mais de 50% do total de indivíduos coletados. O índice de diversidade de Shannon possui relação direta com o número de espécies observadas e a distribuição do número de indivíduos entre as espécies, sendo que quanto maior for o índice de Shannon, menor será a variação da riqueza de espécies (NUNES *et al.*, 2018). Ao avaliar o índice de equitabilidade, verifica-se que o maior valor foi atribuído ao SPD 1, mostrando uma variação entre a distribuição de indivíduos de grupos como Orthoptera, Formicidae, Díptera, Hymenoptera e Hemíptera que tiveram maior expressão, diferentemente do que pode ser observado com o SPD 2 onde predominou apenas Collembola e Orthoptera (Tabela 4 e Figura 3C). Quanto maior o número de indivíduo de um grupo específico, maior será a chance de estar predominando, e assim, reduzindo a equitabilidade (NUNES *et al.*, 2018).



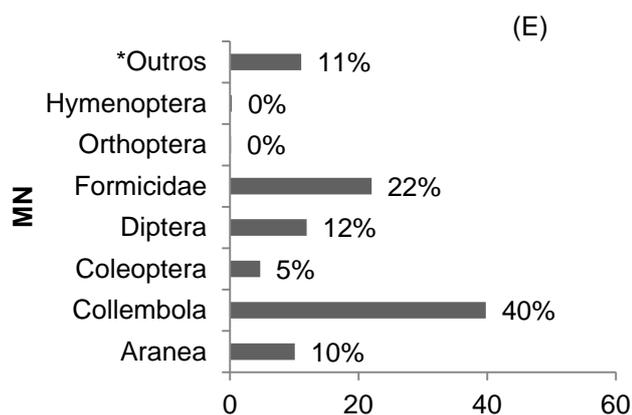


Figura 3 Distribuição da frequência (%) dos táxons de invertebrados do solo na área de (A) PAS, (B) SPD 1, (C) SPD 2, (D) EUC e (E) MN em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense. *Outros: Acari, Blattodea, Chilopoda, Dermaptera, Hemiptera, Heteroptera, Isoptera, Lepidóptera, Scorpionida, Tricoptera e Thisanura.

O grupo Collembola representou 60% dos indivíduos do SPD 2, 50% do EUC e 40% da MN (Figura 3). Contudo, a frequência do grupo Collembola é relacionada positivamente, em virtude de ser classificado como decompositor, devido à sua atuação diretamente com a ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, com o aumento de matéria orgânica no solo (NUNES *et al.*, 2018). A grande concentração de indivíduos do grupo Collembola no SPD 2 favorece a decomposição da palhada proveniente do capim mombaça influenciando positivamente na ciclagem de nutrientes no sistema (PARIZ, *et al.*, 2011).

O aumento da frequência de organismos das mais variadas espécies nos sistemas de manejo indica, provavelmente, uma distribuição aleatória na disponibilidade dos recursos utilizados pela fauna epígea, podendo associar a densidade em função de fatores abióticos favoráveis (temperatura, luminosidade e umidade), que variam de acordo com estações do ano e com diferentes tipos de habitats (lavoura e floresta). Outros estudos mostraram um padrão de aumento da fauna epígea em função do avanço sucessional ou preservação do ambiente em relação a áreas antropizadas como Tews *et al.* (2004), Moço *et al.* (2005), Gomes *et al.* (2007), Mussury *et al.* (2008) e Machado *et al.*, (2015). Esses autores concluíram que a complexidade estrutural da vegetação, em termos de diversidade, influiu em maior deposição e melhor qualidade da serapilheira, proporcionando condições mais favoráveis de recursos alimentares, abrigo e reprodução. Assim, qualquer intervenção antrópica pode potencialmente afetar a dinâmica da fauna epígea do solo e, por conseqüência, as funções ecológicas na qual ela está envolvida.

A predominância do grupo Orthoptera e Formicidae no SPD 1 pode ser

atribuída à disponibilidade de restos culturais de milho em cobertura, no qual o processo de trituração inicial é feito por tais grupos (Figura 3). Silva *et al.* (2007) observaram predominância do grupo Formicidae, em áreas de sistema plantio direto, em que este grupo representou 57,3% da densidade total. Este resultado difere do apresentado no SPD 2, onde predominou o grupo Collembola, o que pode estar associado diretamente à cobertura vegetal, tendo em vista que o capim mombaça proporciona um aporte de 10% de palhada remanescente no inverno/primavera no bioma de cerrado, como evidenciado por Garcia *et al.* (2014). A produção de cobertura vegetal do capim mombaça possibilita uma grande deposição de raiz nos mais variados estágios de decomposição, em virtude da ciclagem constante de raízes finas que ficam concentradas, em sua maioria, na camada superficial, e contribuem como alimento para a fauna epígea, favorecendo a sua multiplicação (MICKAEL *et al.*, 2015).

Os grupos que mais se destacaram no sistema de pastagem foram Orthoptera e Díptera (Figura 3A). Entretanto, o grupo Collembola predominou nos demais sistemas (SPD 2, EUC e MN), devido à disponibilidade e diversidade de material vegetal em cobertura nessas áreas e à umidade proporcionada no final do período chuvoso, oriunda de chuvas eventuais na região, favorecendo a decomposição do material vegetal e sua influência no ciclo da matéria orgânica do solo (Figuras 3C, 3D e 3E). Andrade *et al.* (2017), trabalhando com produção de palha e desempenho agrônômico de soja consorciada com espécies forrageiras em sistema plantio direto, demonstraram o efeito benéfico do capim mombaça em cobertura, evidenciando a proteção do solo e retenção de água proporcionada pela palha de forragem na superfície do solo. No entanto o SPD 1 expressou menor ocorrência do grupo Collembola, reflexo do baixo teor de cobertura vegetal no sistema, tendo em vista que a coleta foi feita no período de senescência da cultura da soja (Figura 3B). No presente estudo, o alto número de indivíduos do grupo Collembola pode ser atribuído ao fato dos sistemas de manejo avaliados possuírem uma camada vegetal em cobertura, com exceção do SPD 1, bem como, à presença de raízes em processo de decomposição e o período chuvoso no momento da coleta.

Ao analisar os grupos nos sistemas de manejo avaliados, observou-se que o número de indivíduos por sistema apresenta grande amplitude, com os grupos Scorpionida e o Tricoptera de menores expressões, presentes apenas na pastagem (PAS). Entre os grupos de maior expressão, pode-se citar o Collembola, Orthoptera

e Díptera, representando percentuais de 35,9%; 19,2% e 17,5%, respectivamente, somando um total de mais de 70% dos indivíduos encontrados nas áreas (Tabela 5).

Tabela 5. Distribuição relativa (%) da fauna epígea em diferentes sistemas de manejo no Cerrado piauiense.

Grupos	Nível Taxonômico	Sistemas de Manejo ¹					Total
		PAS	SPD 1	SPD 2	EUC	MN	
		----- % -----					
Acari		0,6	-	-	-	-	0,15
Araneae		1,4	0,5	0,9	2,9	10,1	1,73
Auchenorrhyncha	Subclasse	-	-	-	-	0,6	0,04
Blattodea	Ordem	0,1	-	-	-	2,3	0,18
Collembola	Subordem	12,4	60,3	4,1	50,2	39,8	35,90
Chilopoda	Ordem	0,9	-	3,0	1,0	-	0,92
Coleoptera	Ordem	5,7	1,8	3,5	1,2	4,7	3,13
Dermaptera	Classe	1,7	1,2	0,4	1,3	0,4	1,13
Diptera	Ordem	19,8	12,9	18,2	28,8	12,0	17,55
Formicidae	Ordem	11,1	5,7	26,1	8,5	22,0	12,26
Hemiptera	Ordem	1,9	1,1	4,5	2,8	-	2,08
Heteroptera	Família	0,2	0,4	-	-	0,3	0,24
Hymenoptera	Ordem	5,6	2,0	9,2	2,0	0,3	4,08
Isoptera	Subordem	0,6	0,3	0,3	0,3	1,0	0,40
Lepidoptera	Ordem	0,4	-	-	-	-	0,10
Orthoptera	Ordem	37,2	13,5	28,3	0,3	0,1	19,16
Plecoptera	Ordem	-	0,1	-	-	-	0,05
Pseudoscorpionida	Ordem	-	-	-	-	3,0	0,19
Protura	Ordem	-	-	-	-	1,1	0,07
Scorpionida	Ordem	0,1	-	-	-	-	0,02
Tricoptera	Ordem	0,1	-	-	-	-	0,03
Thisanura	Ordem	0,1	0,2	1,4	0,7	2,4	0,60

¹Sistemas de manejo: SPD 1: Sistema de Plantio Direto 1; SPD 2: Sistema de Plantio Direto 2; EUC: Eucalipto; MN: Mata Nativa de Cerrado.

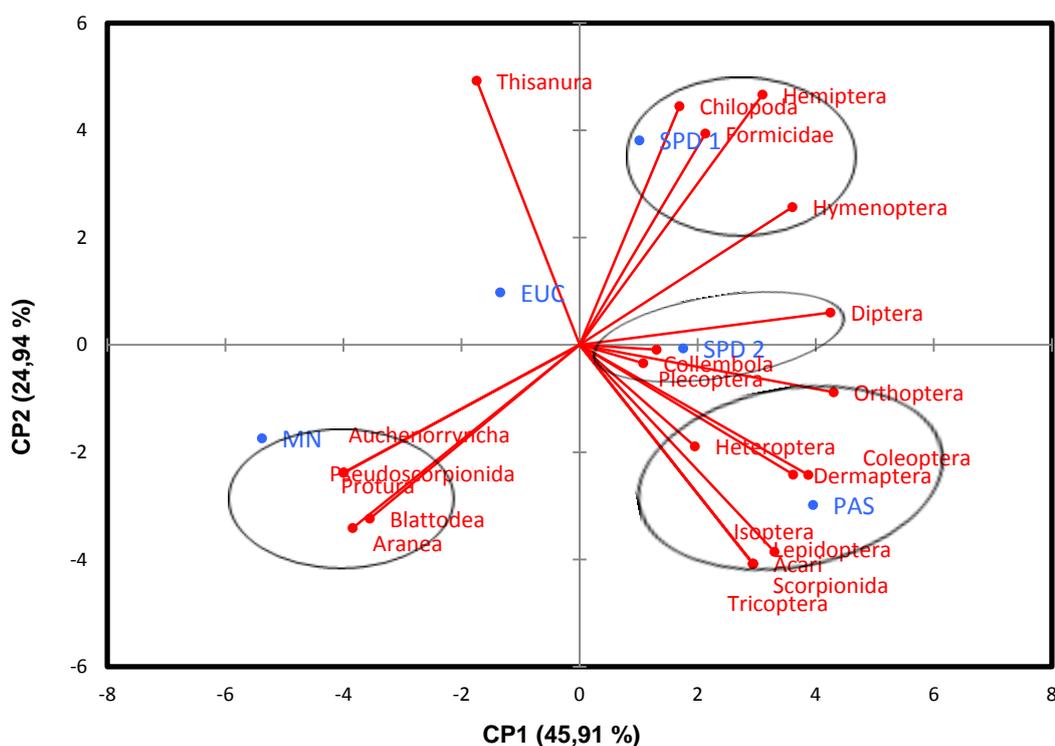
Os grupos Araneae e Pseudoscorpionida apresentaram maior ocorrência na área de cerrado nativo (Tabela 5). A diversidade de espécies observada e o ambiente em equilíbrio da área de cerrado nativo pode ter influenciado a maior concentração dos grupos de predadores Araneae e Pseudoscorpionida. Resultado semelhante sobre a densidade do grupo Araneae foi observado por Araújo *et al.* (2017), trabalhando em área de cerrado nativo preservado e não preservado.

Alguns grupos apresentaram baixa densidade, porém são importantes na manutenção do equilíbrio do solo e da cadeia alimentar como: Blattodea, Dermaptera, Hemíptera, Isoptera e Chilopoda. Os grupos Dermaptera e Hemíptera são predadoras, já o grupo Blattodea faz parte da dieta de muitos mamíferos, aves e répteis (CATANOZI, 2010). O grupo Chilopoda pode ser empregado como

identificador de qualidade do solo (CIPOLA; ZEQUI, 2010). Vivem em habitats escuros e úmidos, abrigados no meio de folhas e galerias no solo, são predadores de outros organismos (CIPOLA; ZEQUI, 2010). O grupo Isoptera atua no processo de decomposição de matéria orgânica e de acordo com Catonazi (2010), facilitam a ciclagem de nutrientes realizada por fungos e bactérias, reduzindo o tamanho das folhas secas, antecipando a disponibilidade de nutrientes no solo para uso pelas plantas. O grupo Isoptera representou apenas 0,4% dos indivíduos observados, corroborando com os resultados observados por Santos *et al.* (2008) em áreas de cerrado Goiano. Normalmente, altas densidades do grupo Isoptera (cupins) são comuns em áreas de pastagens, geralmente com baixa fertilidade química (percentagem de matéria orgânica e alta relação C/N) e ausência de adubação (SANTOS *et al.*, 2008), características que não correspondem às deste estudo.

Em relação à ordenação dos dados no biplot da análise dos componentes principais (ACP), envolvendo a comunidade da fauna epigea e os sistemas de manejo, a variabilidade retida nos componentes principais 1 e 2 explicaram 70,85% da variabilidade original, onde CP1 e CP2 retêm cada um, 45,91% e 24,94%, respectivamente, das informações originais dos dados (Figura 4).

Figura 4. Análise de componentes principais (ACP) entre diferentes sistemas de manejo e os principais grupos taxonômicos da fauna edáfica no Cerrado.



Ao avaliar os grupos que influenciaram diretamente os dois componentes principais, observa-se que os grupos Araneae, Blattodea, Pseudoscorpionida, Protura e Auchenorrhyncha, apresentaram uma maior relação com MN, corroborando com resultados encontrados por Bartz *et al.* (2014), sobre a concentração de Araneae no Cerrado (Figura 4).

A área PAS apresentou maior relação com os grupos Orthoptera, Coleoptera, Dermaptera, Isoptera, Lepdoptera, Tricoptera, Acari e Scorpionida, mostrando que sistema de manejo proporciona um maior desenvolvimento desses grupos, apresentando maior influência sobre o CP 1 (Figura 4). Os diversos grupos que predominaram na PAS podem ser classificados de acordo com o hábito alimentar, como fitófagos (Orthoptera, Coleoptera, Lepdoptera, Isoptera e Tricoptera) e predadores (Scorpionida, Dermaptera e Acari) (BROWN, *et al.* 2009).

O SPD 2 apresentou uma relação positiva com os grupos como Díptera, Plecoptera e Collembola (Figura 4). A presença do grupo Díptera mostra um incremento na qualidade do solo, tendo em vista que exercem importantes funções como decompositores, polinizadores e controladores biológicos, fato que reforça sua importância (TRIPLEHORN; JONSSON, 2011), assim como o grupo Collembola no qual participam principalmente no processo de decomposição da matéria orgânica do solo.

O SPD 1 apresentou relação direta com os grupos Hymenoptera, Hemíptera, Formicidae e Chilopoda em ordem decrescente, apresentando maior influência sobre CP 2. De modo geral, os insetos do grupo Hymenoptera são sensíveis às mudanças ecológicas, principalmente aos referentes à estrutura, à composição da vegetação e, também, aos resíduos de moléculas de inseticidas, de fungicidas e de poluentes presentes nas plantas (OLIVIER *et al.*, 2012). Essa sensibilidade tem sido utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade dos ecossistemas, em áreas de mineração, de agricultura, ou urbanas (OLIVIER *et al.*, 2012).

A área MN se apresentou de forma oposta aos demais sistemas, influenciando negativamente o CP 1 e CP 2. Este fato pode estar relacionado à concentração do grupo Araneae ter predominado na área e a existências de alguns grupos apenas nessa área como: Auchenorrhyncha, Blattodea, Pseudoscorpionida (Aracnida) e Protura, demonstrando a diversidade de espécie presente no ambiente em equilíbrio ecológico (MN). A predominância do grupo Araneae na MN pode estar associada ao acúmulo de folhas na área de referência, tendo em vista que essa maior quantidade

de folhas fornece uma heterogeneidade maior no micro habitat da serapilheira, criando ambientes termicamente mais confortáveis para as aranhas, principalmente por evitar a perda de água, haja vista que a perda de água se constitui em um dos principais problemas ecológicos dos artrópodes, sobretudo das aranhas (VARJÃO *et al.*, 2010). Ainda Varjão *et al.* (2010), afirmam que os espaços entre as folhas, o lado basal das folhas e as aberturas entre elas, criam locais de forrageio para as aranhas além de protegê-las contra a intensidade luminosa que, em geral, afeta seu comportamento forçando-as a habitar novas áreas.

4. CONCLUSÕES

1. O cultivo do solo com sistemas de produção de grãos em plantio direto, pastagem ou eucalipto, altera a estrutura da comunidade da fauna epígea, em comparação à condição natural de Cerrado.
2. O sistema de plantio direto sob capim mombaça proporciona maior abundância de espécies, e pode ser recomendado para minimizar o impacto da atividade agrícola sobre a biodiversidade da fauna epígea.
3. Os grupos Collembola, Orthoptera e Díptera são os mais abundantes nas áreas avaliadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C. A. O.; BORGHI, E.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; CAMARGO, F. P.; AVANZI, J. C.; SIMON, J.; SILVA, R. R.; FIDELIS, R. R. Straw production and agronomic performance of soybean intercropped with forage species in no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n.10, p. 861-868, 2017.
- AQUINO, A. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; QUEIROZ, J. M. de. Recomendação para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (Pitfall traps). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. (Circular técnica, 18).
- ARAÚJO, A. S. F.; MAGALHAES, L. B.; SANTOS, V. M.; NUNES, L. A. P. L.; DIAS, C. T. S. Biological properties of disturbed and undisturbed Cerrado sensu stricto from Northeast Brazil. **Brazilian Journal Biologi**, v. 77, n. 1, p. 16-21, 2017.
- ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a yellow Latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n. 3, p. 717-723, 2010.
- BARETTA, D.; BARTZ, M. L. C.; FACHINI, I.; ANSELMINI, R.; ZORTÉA, T.; BARETTA-MALUCHE, C. R. D. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 871-879, 2014.
- BARROS, E.; MAHIEU, J.; TAPIA-CORAL, S.; NASCIMENTO, A.R.L.; LAVELLE, P. **Comunidade da macrofauna do solo na Amazônia brasileira**. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras: UFLA, p.171-191. 2008.
- BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; ORSO, R.; MAFRA, A. L.; BARETTA, D. The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5 (Especial), p. 880-887, 2014.
- BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M.; MESQUITA, M. A. M.; AGUIAR, R. A.; MESQUITA, G. M. Decomposição da biomassa e liberação de nutrientes dos capins braquiária e mombaça, em condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 40, n. 3, p. 370-377, 2010.
- BROWN, G. G. Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais e Mata Atlântica em regeneração nos Municípios de Barra do Turvo, SP, e Adrianópolis, PR. Embrapa Floresta, 2009. 51 p. (Documentos / Embrapa Florestas, 184).

- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, R. W. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.33, p.147-57, 2009.
- CATANOZI, G. **Análise espacial da macrofauna edáfica sob diferentes condições ambientais dos trópicos úmidos**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências - Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 141 p. 2010.
- CIPOLA, N. G, ZEQUI, J. A. C. Composição e diversidade edáfica de Chilopoda (Arthropoda: Myriapoda) do Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil. Anais. In: XVIII Simpósio de Iniciação Científica – UniFil, 2010.
- CLIMATE-DATA, disponível em <<http://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA; M. E. F.; RODRIGUES, K.M.; FRANCO; A. A. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de cv. Marandu. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 37, p. 38-44, 2007.
- DINDAL, D. Soil biology guide. New York: John Wiley and Sons, 1990.
- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- EVANGELISTA, A. W. P.; VIEIRA, M. A.; ALVES JÚNIOR, J; BRASIL, E. P. F.; CASAROLI, D. Seedling production of *Jatropha Curcas* L. in substrates fertilized with Lithothamnium. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 132-139, 2016.
- GALLO, G., NAKANO, O., SILVEIRA NETO, S., CARVALHO, R.P.L., BATISTA, G.C., BERTI FILHO, E. PARRA, J.R.P., ZUCCHI, R. A., ALVES, S.B., VENDRAMIM, J.D. **Manual de entomologia agrícola**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1988.
- GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; LOPES, K. S. M.; BUZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 143-152, 2014.
- GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.35, n.4, p.895-905, 2011.

GOMES, A. A.; MUSSURY, R. M.; SCALON, S. P. Q.; WATTHIER, F.; CUNHA, K. A. A.; SCALON FILHO, H. Avaliação do impacto da fragmentação de florestas nativas sobre a mesofauna edáfica na região de Dourados, MS. **Ciência Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 612-618, 2007.

INNANGI, M.; MENTA, C.; PINTO, S.; DANISE, T.; D'ALESSANDRO, F.; FIORETTO. Integrating chemical, biological and soil fauna variables during beech leaf litter decay: A partial least squares approach for a comprehensive view of the decomposition process. **Applied Soil Ecology**, v. 130, p. 69-78, 2018.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTM0Ng>. Acesso em: jan de 2018.

LEITE, L. F. C.; IWATA, B. F.; ARAÚJO, A. S. F. Soil organic matter pools in a tropical savanna under agroforestry system in northeastern Brazil. **Revista Árvore**, v.38, n.4, p.711-723, 2014.

MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; DINIZ, A. R.; MENEZES, C. E. G. Fauna edáfica na dinâmica sucessional da mata atlântica em floresta estacional semidecidual na bacia do rio Paraíba do sul – RJ. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 91-106, 2015.

MARTINS, L. F.; PEREIRA, J. M.; TONELLI, M.; BARETTA, D. Composição da macrofauna do solo sob diferentes usos da terra (cana-de-açúcar, eucalipto e mata nativa) em Jacutinga (MG). **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, n. 1, p.11-22, 2017.

MICKAEL, H.; CHRISTOPHE, M.; THIBAUD, D.; JOHANNE, N.; BENJAMIN, P.; JODIE, T.; YVAN, C. Orchard management influences both functional and taxonomic ground beetle (Coleoptera, Carabidae) diversity in South-East France. **Applied Soil Ecology**, v. 88, p. 26–31. 2015.

MINGOTI, R.; BRASCO, M.A.; HOLLER, W.A.; LOVISI FILHO, E.; SPADOTTO, C.A. Matopiba: caracterização das áreas com grande produção de culturas anuais. Campinas: Embrapa Gestão Territorial, 2014. 2p. Nota técnica.

MOÇO, M. K.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA RODRIGUES, A.C.; CORREIA, M.E.F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.4, p. 555-564, 2005.

- MOLDENKE, A. R. Arthropods. In: WEAVER, R. W. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, 1994.
- MUSSURY, R. M.; SCALON, S. P. Q., GOMES, A. A., BATISTA, M. R.; SCALON FILHO, H. Flutuação populacional da mesofauna em fragmentos de mata na região de Dourados, MS. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 645-650, 2008.
- NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO, A. S. F.; PESSOA, M. M. C.; SOUSA, R. S.; SILVA, J. D. C.; MATOS-FILHO, C. H. A. Edaphic fauna in a vegetation gradient in the Sete Cidades National Park. **Brazilian Journal of Biology**. p. 1-7. 2018.
- ODUM, E. P. 1988. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Guanabara. 434p.
- OLIVEIRA, J. A. G. **Matéria seca, teores de macronutrientes e produtividade de soja transgênica e não transgênica com diferentes manejos de plantas daninhas**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2011.
- OLIVIER, L.; MÉLANIE, P.; SOPHIE, P.; CHANTAL, T.; MICHAELLE, L.; FRÉDÉRIC, D.; HERVÉ, P. Honey bees and pollen as sentinels for lead environmental contamination. **Environmental Pollution**, v. 170, p.254-259, 2012.
- PARIZ, C. M.; AZENHA, M. V.; ANDREOTTI, M.; ARAÚJO, F. C. M.; ULIAN, N. A.; BERGAMASCHINE, A. F. Produção e composição bromatológica de forrageiras em sistema de integração lavoura-pecuária em diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1392-1400, 2011.
- PEIXOTO, J.; SILVA, L. P.; KRUGER, R. H. Brazilian Cerrado soil reveals an untapped microbial potential for unpretreated polyethylene biodegradation. **Journal of Hazardous Materials (Print)**, v. 324, p. 634-644, 2016.
- PUERTA, V. L.; PEREIRA, E. I. P.; WITWER, R.; HEIJDEN, M. V. D.; SIX, J. Improvement of soil structure through organic crop management, conservation tillage and grass-clover ley. **Soil & Tillage Research**, v.180, p.1–9, 2018.
- RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. R. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas, 2 eds. rev. Atual. 285p. 1997.
- SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L.; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C. C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1466-1475, 2016.

- SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.115-122, 2008.
- SILVA, R. F.; TOMAZI, M.; PEZARICO, C. R.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.865-871, 2007.
- SOUZA, S.T.; CASSOL, P. C.; BARETTA, D.; BARTZ, M. L. C.; KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; ROSA, M. G. Abundance and Diversity of Soil Macrofauna in Native Forest, Eucalyptus Plantations, Perennial Pasture, Integrated Crop-Livestock, and No-Tillage Cropping. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.40, e0150248, 2016.
- TEWS, J.; BROSE, U.; GRIMM, U.; TIELBÖRGER, K.; WICHMANN, M.C.; SCHAWGER, M.; JELTSCH, F. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/ diversity: The importance of keystone structures. **Journal Biogeografia**, v.31, n.1, p.79-92, 2004.
- TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **Estudo dos Insetos**. 7ªed. São Paulo, Cengage Learning. 816p. 2011.
- VARJÃO, S. L. S.; BENATI, K. R.; PERES, Marcelo C Lima. Efeitos da variação temporal na estrutura da serrapilheira sobre a abundância de aranhas (Arachnida: Araneae) num fragmento de Mata Atlântica (Salvador, Bahia). **Revista Biociências**, v. 16, p. 34-42, 2010.