



JOÃO RODRIGUES DA CUNHA

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO EM LATOSSOLO
AMARELO SOB SISTEMAS DE MANEJO**

TERESINA-PI

2017

JOÃO RODRIGUES DA CUNHA
ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO EM LATOSSOLO
AMARELO SOB SISTEMAS DE MANEJO

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

Orientador

Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite

TERESINA-PI

2017

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

C972a Cunha, João Rodrigues da
Atributos biológicos e emissão de óxido nitroso em latossolo amarelo sob sistemas de manejo / João Rodrigues da Cunha - 2017.
96 f.: il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós- Graduação em Agronomia, Teresina, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite

1. Qualidade do solo 2 .Integração-Pecuária-Floresta 3. Organismos edáficos 4. GEE's 5. DNDC I.Titulo

CDD 631.4

JOÃO RODRIGUES DA CUNHA

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO EM
LATOSSOLO AMARELO SOB SISTEMAS DE MANEJO

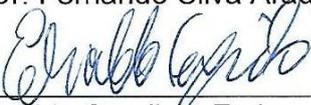
Tese apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor em Agronomia com área de concentração em Produção Vegetal.

APROVADA em 15 de setembro de 2017.

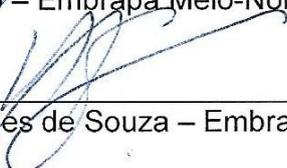
Comissão Julgadora:



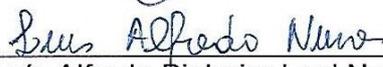
Prof. Dr. Fernando Silva Araújo – UESPI



Dr. Edvaldo Sagrilo – Embrapa Meio-Norte



Dr. Henrique Antunes de Souza – Embrapa Meio-Norte



Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – CCA/UFPI



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

TERESINA-PI

2017

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado força para seguir nesta caminhada.

Aos meus pais (Francisco das Chagas Borges da Cunha e Irene Rodrigues da Cunha) e meus irmãos, que sempre me ensinaram a viver com dignidade e com respeito às pessoas, pelos ensinamentos que muito me serviram para que chegasse a esta conquista.

À Universidade Federal do Piauí, pela minha formação e pelo acolhimento que me foi dado.

À EMBRAPA Meio-Norte, pela disponibilização de funcionários, de transportes, laboratórios e toda estrutura necessária para a realização do trabalho.

À Fazenda Chapada Grande, pela disponibilização das áreas para coleta de solo, pelo auxílio com a mão-de-obra para execução dos trabalhos de campo, por toda estrutura necessária para a realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo durante a realização do curso.

Ao meu orientador Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite pelos ensinamentos, pelas discussões e valiosa contribuição na execução deste trabalho.

À Dr^a. Rita de Cássia Alves de Freitas pelos ensinamentos, esclarecimentos, pelo auxílio nas análises estatísticas e pelas valiosas contribuições na execução do trabalho.

Ao pesquisador da Embrapa Meio-Norte Dr. Henrique Antunes, pelos esclarecimentos prestados durante o desenvolvimento deste estudo.

Ao Dr. Ademir Sergio Ferreira de Araujo e à Dr^a. Vilma Maria dos Santos pela disponibilização do LASO/UFPI e pelo auxílio na realização das análises enzimáticas.

Ao professor Paulo Ramos e a professora Sofia pelos muitos ensinamentos que passaram e, que são fontes de inspiração na minha vida.

À minha esposa Beatriz, pelo companheirismo e compreensão.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia–Agricultura Tropical, pelos esforços e perseverança na condução deste programa.

Ao Prof. Carlos Humberto e ao Prof. Dr. Ricardo Silva Sousa, pela auxílio nas análises estatísticas.

Aos colegas mestrandos e doutorandos estagiários da Embrapa Meio-Norte Adriano Santana, Djalma Junior, Renato, pela colaboração nas coletas de solos e macrofauna edáfica.

Aos técnicos do Laboratório de Análise de Solos da Embrapa Meio Norte, José Moreira e José Afonso pelo suporte nas análises microbiológicas do solo.

Aos colegas do Laboratório de Entomologia da UFPI, pela ajuda na identificação dos organismos edáficos, em especial ao colega Antonio Neto pela valiosa contribuição.

RESUMO

O cerrado brasileiro foi inserido nas últimas décadas no cenário mundial de produção de grãos, carne bovina e fibras, fato que intensificam as transformações das áreas nativas em lavouras e pastagens, provocando a degradação do solo quando manejadas inadequadamente. Este trabalho tem como objetivos avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo, sobre carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) os atributos microbiológicos (carbono da biomassa microbiana (Cmic); respiração microbiana (Rm); quociente microbiano (qMic), quociente metabólico (qCO₂) e atividade enzimática), a fauna epígea invertebrada e a emissão de óxido nitroso em um Latossolo Amarelo do cerrado piauiense. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Chapada Grande em Regeneração-PI, onde foram selecionados quatro sistemas de manejo do solo: Plantio direto (PD); Pastagem (PAS); Cultivo exclusivo de eucalipto (CEE) e Integração Pecuária-floresta (IPF), além de uma área de cerrado nativo (CN) como referência. Foram realizadas duas amostragens de solo na profundidade de 0-0,10 m, para a determinação do COT, NT, Cmic e Rm, qMic, qCO₂ e a atividade das enzimas FDA; fosfatase ácida, β-glucosidase e Urease. Para avaliação da fauna epígea realizou-se uma coleta dos organismos em fevereiro de 2017, por meio de armadilhas do tipo "Pitfall". Após a identificação dos organismos calculou-se do número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹; a riqueza total; e os índices ecológicos de Shannon-Weaner e equitabilidade de Pielou e os organismos também foram divididos em grupos funcionais. A coleta de gases foi realizada por meio de câmaras estáticas, instaladas nos sistemas de manejo cultivo exclusivo de eucalipto e integração pecuária-floresta. As amostras foram analisadas por cromatografia gasosa. Para a realização das simulações foi utilizado o modelo computacional DNDC, no qual foram estimadas as emissões de N₂O para o ano de 2016. Os teores de COT encontrados foram baixos em todos os sistemas estudados, sendo que o CEE e o IPF apresentaram os maiores valores, período seco e a PAS no período chuvoso. O Cmic e o qMic, foram maiores no CN, no período seco, e no CN e no CEE no período chuvoso. A atividade da biomassa microbiana, (Rm e qCO₂), variou em relação aos diferentes sistemas de uso da terra nos períodos seco e chuvoso. Com relação a atividade enzimática, constatou-se variações em função do uso e manejo da terra nos dois períodos avaliados. Os sistemas de manejo IPF e CEE proporciona aumento nos teores de COT e favorece a biomassa microbiana. Os sistemas de manejo do solo IPF e PAS favorecem a atividade das enzimas FDA, β-glucosidase e Urease. As emissões ocorridas no IPF foram maiores em relação aos observados no CEE, o pode ser atribuído aos efeitos da compactação do solo. Os sistemas de manejos PAS, CEE e IPF favorece a fauna epígea, promovendo aumento na riqueza de grupos e nos índices ecológicos de Shannon e Pielou. A fauna epígea é substancialmente alterada no sistema PD, com reduções drásticas na densidade e a diversidade dos organismos edáficos. O Cerrado e CEE proporcionam condições ambientais favoráveis a um maior número de grupos da fauna epígea. As emissões de N₂O nos dois sistemas avaliados estão associadas principalmente a eventos pluviométricos. O sistema IPF menos eficiente em relação ao cultivo de eucalipto na mitigação de gases do efeito estufa como N₂O.

Palavras-chaves: qualidade do solo; integração-pecuária-floresta; organismos edáficos; GEE's; DNDC

ABSTRACT

Brazilian savana has been inserted in the last decades in the scenario of world production of grains, beef and fiber, a fact that intensify the transformations of the native areas in crops and pastures, provoking the degradation of the soil when inadequately managed. The objective of this work is to evaluate the effects of different soil management systems, on total organic carbon (TOC) and total nitrogen (NT), on the microbiological attributes (microbial biomass carbon (Cmic), microbial respiration (Rm), microbial quotient q_{Mic}), metabolic quotient (q_{CO_2}) and enzymatic activity), the invertebrate edaphic macrofauna and nitrous oxide emission in a Yellow Latosol of the Piauí savana. The work was developed at the Chapada Grande Farm in Regeneração-PI, where four soil management systems were selected: No-tillage (PD); Pasture (PAS); Exclusive cultivation of eucalyptus (CEE) and Integration Livestock-forest (IPF), in addition to an area of native savana (CN) as reference. Two soil samples were taken at 0-10 cm depth for the determination of TOC, NT, Cmic and Rm, q_{Mic} , q_{CO_2} and the activity of the enzymes FDA; Acid phosphatase, β -glucosidase and Urease. For the evaluation of the edaphic macrofauna, a collection of the organisms was carried out in February 2017, by Pitfall traps. After identification of the organisms, the number of trap⁻¹day⁻¹ individuals was calculated; The ecological indexes of total wealth; Shannon-Weaner and Pielou equitability and organisms were also divided into functional groups. The collection of gases was carried out by means of static chambers, installed in the management systems CEE and IPF. The samples were analyzed by gas chromatography. For the simulations, the computational model DNDC was used, in which the N₂O emissions were estimated for the year 2016. The TOC levels found were low in all systems studied, with the CEE and IPF having the highest values, dry period and PAS in the rainy season. The Cmic and q_{Mic} were higher in the dry season, and in the CN and CEE in the rainy season. The activity of the microbial biomass, (Rm and q_{CO_2}), varied in relation to the different systems of land use in the dry and rainy periods. In relation to the enzymatic activity, variations were verified as a function of land use and management in the two evaluated periods. The IPF and CEE management systems provide an increase in TOC levels and favors microbial biomass. The IPF and PAS soil management systems favor the activity of the enzymes FDA, β -glucosidase and Urease. Emissions from the IPF were higher than those observed in the CEE, which can be attributed to the effects of soil compaction. PAS, CEE and IPF management systems favor edaphic macrofauna, promoting an increase in group richness and ecological indexes of Shannon and Pielou. The edaphic fauna is substantially altered in the PD system, with drastic reductions in density and diversity of soil organisms. The Cerrado and CEE provide favorable environmental conditions for a greater number of edaphic fauna groups. The N₂O emissions in the two systems evaluated are mainly associated with rainfall events. The IPF system less efficient in relation to eucalyptus cultivation in the mitigation of greenhouse gases like N₂O.

Key-words: soil quality; Integration-livestock-forest; Edaphic organisms; GEE's; DNDC

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

- 1.1. Caracterização química na camada de 0-10cm de um Latossolo Vermelho, submetido à diferentes sistemas de manejo no cerrado piauiense 40.
- 1.2. Carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e os indicadores microbiológicos na camada 0-0,10 m do solo sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso..... 46.
- 1.3. Atividade enzimática na camada 0-0,10 cm do solo sob diferentes sistemas de manejo do solo, nos períodos seco e chuvoso..... 52.
- 1.4. Correlação entre variáveis e componentes principais dos atributos do solo para os períodos seco e chuvoso..... 56.

CAPITULO II

- 2.1. Histórico dos diferentes usos do solo, na Fazenda Grande, Regeneração-PI.. 69.
- 2.2. Número de indivíduos por armadilha ao dia ($\text{Ind/arm}^{-1}/\text{dia}^{-1}$) e índices ecológicos da fauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de manejo do solo do Cerrado Piauiense (Regeneração- PI, 2017) 73.
- 2.3. Número médio de indivíduos da fauna invertebrada, classificados quanto à funcionalidade, em diferentes formas de uso da terra no Cerrado Piauiense (Regeneração- PI, 2017)..... 77.

CAPITULO III

- 3.1. Caracterização química na camada de 0-10cm de um Latossolo Amarelo, submetido à diferentes sistemas de manejo no cerrado piauiense..... 90.
- 3.2. Histórico dos sistemas de manejo do solo, utilizados para avaliação da emissão de N_2O na Fazenda Grande, Regeneração-PI..... 90.
- 3.3. Índices estatísticos de comparação entre emissões de $\text{N-N}_2\text{O}$ simuladas e medidas em campo nos dois sistemas de manejo avaliados para o ano de 2016..... 100.

LISTA DE FIGURAS

1. CAPITULO I

1.1. Localização geográfica do município de Regeneração-PI.....	39.
1.2. Precipitação pluviométrica e temperatura correspondente ao ano de 2016, na Fazenda Chapada Grande, Regeneração-PI.....	39.
1.3. Diferentes sistemas de manejo do solo nas épocas seca e chuvosa na Fazenda Chapada Grande, Regeneração-PI.....	41.
1.4. Sistema de integração pecuária floresta e cerrado nativo nas épocas seca e chuvosa na Fazenda Chapada Grande, Regeneração-PI.....	42.
1.5. Representação do procedimento utilizado na coleta de solo, nos diferentes sistemas de manejo do solo.....	43.
1.6. Amostragem de solo, e acondicionamento refrigerado das amostras, antes de chegar ao laboratório.....	44.
1.7. Diagrama de projeção dos vetores dos atributos microbiológicos durante os períodos seco (a) e chuvoso (c) e diagrama de ordenação dos componentes principais para os diferentes sistemas de manejo do solo, durante os períodos seco (b) e chuvoso (d).....	57.

2. CAPITULO II

2.1. Armadilhas do tipo “Pitfall” instaladas nos diferentes sistemas de manejo do solo para a coletada dos organismos edáficos, Fazenda Chapada Grande, Regeneração-PI, 2017.....	61.
2.2. Organismos da fauna edáfica após a separação e identificação do grupo taxonômico nos diferentes sistemas de manejo do solo.....	71.
2.3. Organismos da fauna edáfica após a separação e identificação do grupo taxonômico. A. Coleoptero; B. Heteroptero; C. Scorpionida; D. Collembola.....	72.
2.4. Distribuição relativa (%) das comunidades de fauna invertebrada do solo, sob diferentes formas de uso no Cerrado Piauiense (Regeneração- PI, 2017).....	76.
2.5. Representação gráfica da análise de componentes principais (ACP) entre os diferentes sistemas de manejos do solo e os principais grupos taxonômicos da fauna edáfica no Cerrado Piauiense (Renegação-PI, 2017)	79.

3. CAPITULO III

3.1. Modelo da câmara utilizada para coleta das amostras de N ₂ O. A. base metálica para encaixa da câmara; B. conjunto base/câmara no sistema de IPF; C. Coleta da	
--	--

amostra de gás no sistema IPF e D. Disposição das cinco câmaras de coleta no sistema de CEE	91.
3.2. Termômetro instalado na câmara para medição da temperatura interna da câmara (A); termômetro digital para medição da temperatura do solo (B)	92.
3.3. Umidade do solo e temperatura do solo, nos dias de coleta das amostras de gases, nos dois sistemas de manejo avaliados. A. Cultivo exclusivo de eucalipto; B. Integração pecuária-floresta	93.
3.4. Fluxo médio de N_2O durante o período de janeiro à março de 2016, em diferentes sistemas de manejo do solo em Regeneração-PI. A. Cultivo exclusivo de eucalipto; B. Integração- pecuária-floresta	97.
3.5. Emissão total de N_2O durante o período de janeiro à março de 2016, em diferentes sistemas de manejo do solo em Regeneração-PI. CEE: Cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: Integração- pecuária-floresta	98.
3.6. Emissões diárias de $N-N_2O$ simuladas no DNDC e medidas em campo durante o período de janeiro à março de 2016, em diferentes sistemas de manejo do solo em Regeneração-PI. CEE: Cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: Integração- pecuária-floresta	100.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	14.
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17.
2. 1. O bioma cerrado.....	17.
2.2. Atributos biológicos do solo.....	18.
2.3. Biomassa microbiana.....	18.
2.4. Respiração microbiana.....	19.
2.5. Quociente microbiano (q_{Mic}) e Quociente metabólico (q_{CO_2}).....	20.
2.6. Atividade enzimática.....	21.
2.7. Fauna edáfica.....	23.
2.8. Efeito de sistemas de manejo do solo sobre os atributos biológicos.....	24.
2.9. Efeito de sistemas de manejo do solo sobre a emissão de óxido nitroso.....	26.
Referências.....	30.
3. CAPITULO I.....	35.
3.1. Introdução.....	37.
3.2. Material e métodos.....	38.
3.3. Resultados e Discussão.....	45.
3.4. Conclusões.....	59.
Referências.....	60.
4. CAPITULO II.....	66.
4.1. Introdução.....	68.
4.2. Material e métodos.....	69.
4.3. Resultados e discussão.....	72.
4.4. Conclusões.....	81.
Referências.....	82.
5. CAPITULO III.....	86.
5.1. Introdução.....	88.

5.2. Material e métodos.....	89.
5.3. Resultados e discussão.....	95.
5.4. Conclusões.....	101.
Referências.....	102.
6. Considerações finais.....	105.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas o Cerrado brasileiro foi inserido no cenário mundial de produção agropecuária, o que tornou esta região a maior produtora de grãos, fibras e carne bovina do Brasil. No entanto, o uso do solo para a produção agrícola, nesta região, normalmente se dá de forma intensiva, com o revolvimento do solo e o uso contínuo de fertilizantes. Tais práticas provocam severas alterações nas propriedades do solo (BRAZ et al., 2013), o que pode comprometer a sustentabilidade deste ecossistema devido a deterioração das suas características físicas, químicas e biológicas.

Diversos estudos mostram que a conversão da vegetação nativa para áreas agrícolas causa alterações na matéria orgânica e nos atributos microbiológicos do solo (LEITE et al., 2010; LOURENTE et al., 2011; GUARESCHI et al., 2012; WANG et al., 2012; COLMAN et al., 2013; RAIESI;BEHESHTI, 2015).

Entre os atributos microbiológicos, o carbono da biomassa microbiana (Cmic) e a respiração, são frequentemente utilizados na avaliação da qualidade do solo (ARAÚJO et al., 2012; BALOTA et al., 2014). Estes atributos apresentam alta sensibilidade às mudanças no solo, de tal forma que os efeitos podem ser detectáveis mais rapidamente. Entretanto, determinações do Cmic não fornecem indicações sobre os níveis de atividade das populações microbianas, sendo importante também avaliar parâmetros que estimem esta atividade biológica (TÓTOLA;CHAER, 2002).

A respiração microbiana é a variável que quantifica o C-CO₂ que é liberado pelos microrganismos edáficos para a atmosfera e reflete a atividade biológica do solo (GAMA-RODRIGUES, 1999). A liberação de altas taxas de C-CO₂ provenientes da respiração microbiana pode indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000). Além dessas variáveis, a atividade enzimática e a fauna edáfica invertebrada, também podem ser utilizadas como parâmetros na avaliação da qualidade do solo, visto que as enzimas são indicadores microbiológicos que apresentam maior sensibilidade para detecção de alterações no solo, em função dos diferentes sistemas de manejo do solo (MATSUOKA et al., 2003; BALOTA et al., 2014).

Por sua vez, a fauna edáfica, compreende os organismos invertebrados, com diâmetro corporal acima de 2 mm, que vivem permanentemente ou que passam

algumas fases de desenvolvimento no solo ou na serapilheira (AQUINO; CORREIA, 2005), como minhocas, centopeias, cupins, formigas, aracnídeos, coleópteros, diplópodes, entre outros (LAVELLE; SPAIN, 2001). Tais organismos são essenciais para a manutenção da qualidade do solo, pois promovem a redistribuição de nutrientes e de matéria orgânica, por meio de suas atividades biodinâmicas, e participam diretamente do equilíbrio do ecossistema, ao ocupar níveis tróficos da cadeia alimentar (LAVELLE; SPAIN, 2001). A fauna edáfica também influencia ativamente os processos pedológicos, por meio das transformações estruturais e mineralógicas, com reflexo na melhoria de propriedades como agregação, aeração e drenagem do solo (SIX et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2014). Além disso, a fauna edáfica apresenta reconhecida função no armazenamento de carbono orgânico no solo e nas emissões líquidas de gases de efeito estufa (LUBBERS et al., 2013).

Entre estes gases, maior relevância deve ser dada ao óxido nitroso (N_2O), pois, apesar de ser emitido para a atmosfera em quantidades bem menores, tem maior potencial para contribuir com o efeito estufa em relação ao dióxido de carbono (CO_2), pois, apresenta um poder de aquecimento de 298 vezes maior (CERRI, 2007; TOMLINSON, et al. 2013). Além disso, sua concentração na atmosfera está em crescente ascensão, com aproximadamente 325 ppb, com aumento de 18%, em relação ao ano de 1950, com valores próximos a 275 ppb (MASTERS; ELA, 2008). Supõe-se que este aumento estivesse associado ao crescimento das diversas atividades antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis, urbanização, queimadas, desmatamento e atividades agropecuárias.

Além da importância de se avaliar os indicadores biológicos para um melhor entendimento dos efeitos de diferentes sistemas de manejo no solo, também é importante o uso de ferramentas estatísticas, que possam adicionar informações relevantes ao entendimento da variação conjunta de variáveis, e facilitar a interpretação de informações (COIMBRA, 2007; CAMPOS et al., 2010). Uma opção que pode ser utilizada é a análise multivariada de componentes principais (SILVA et al., 2010). Uma das vantagens desta técnica, é o agrupamento dos atributos físicos, químicos ou biológicos que apresentam similaridades e correlações, e separar os atributos mais dissimilares, formando diferentes grupos (SILVA et al., 2010).

No cerrado piauiense, pouco ainda se conhece sobre os efeitos dos diferentes sistemas de manejo nos atributos microbiológicos do solo, fauna edáfica e emissão de óxido nitroso, sobretudo em sistemas integrados com eucalipto. Diante

disso, as hipóteses testadas foram: a) o plantio direto proporciona aumento nos teores de carbono orgânico e biomassa microbiana em solos do cerrado piauiense; b) o sistema integrado pecuária-floresta e o monocultivo de eucalipto, promovem incrementos na biomassa microbiana e na fauna edáfica e alteram as emissões de óxido nitroso do solo no cerrado piauiense; c) a pastagem e o sistema integrado pecuária-floresta estimulam a atividade enzimática do solo.

Este trabalho tem como objetivos avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo, sobre os atributos microbiológicos (carbono da biomassa microbiana; respiração microbiana; quociente microbiano, quociente metabólico e atividade enzimática), a macrofauna edáfica invertebrada e a emissão de óxido nitroso em um Latossolo Amarelo do cerrado piauiense.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O bioma cerrado

O Cerrado, ocupando cerca 2.000.000 km², é o segundo maior bioma do Brasil, em extensão e em biodiversidade, representando cerca de 25% das terras brasileiras e concentra um terço da fauna e da flora (IBGE, 2004; SNIF, 2016). Estimativas apontam a existência de mais de 6.000 espécies de árvores e 800 espécies de aves, além de grande variedade de peixes e outras formas de vida (RESCK et al., 2010). Estende-se desde a margem da floresta amazônica às áreas periféricas dos estados de São Paulo e Paraná (RATTER et al., 1997; TEJERINA-GARRO, 2006; CASTRO, 2008). Desse total, 155 milhões de ha estão no Planalto Central e 38,8 milhões de hectares no Nordeste, dos quais a maior parte (30,3 milhões) na região Meio-Norte: sendo que 43,3% da superfície do Maranhão são compostos por cerrado e 64,7% do estado do Piauí. Existem ainda áreas de cerrado em Rondônia, Roraima, Amapá e Pará, além de São Paulo (VALENTE, 2006).

O clima predominante no Cerrado é o Tropical sazonal, de inverno seco. A temperatura média anual fica em torno de 22-23 °C, sendo que médias mensais apresentam pequena estacionalidade. A precipitação média anual varia entre 1.200 e 1.800 mm, e contrariamente à temperatura, a precipitação média apresenta uma grande estacionalidade, concentrando nos meses de outubro a março, que é a estação chuvosa.

A maioria dos solos deste bioma é altamente intemperizada com sérias limitações para as culturas em termos de fertilidade natural. Os solos são ácidos e tem baixa disponibilidade de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, molibdênio e zinco, mas possuem alta concentração de alumínio (LOPES, 1996).

Como reflexo dos incentivos e financiamentos, nos últimos 25 anos, o território do cerrado foi extensivamente utilizado para a agricultura e pecuária modernas, o que tornou esta região a maior produtora de grãos do Brasil. A produção de grãos no Cerrado cresceu 543% entre as safras 1989/1990 e 2015/2016, de 17,5 milhões de toneladas, para as atuais 112,7 milhões de toneladas. Com isso, a participação do Cerrado na produção brasileira de grãos, neste mesmo período, saltou de 30% para 56% (CONAB, 2017). A cultura da soja, uma das principais *commodities* da economia nacional, apresenta estimativas de produção

para a safra 2016/2017 de aproximadamente 105 milhões de toneladas, e para cultura do milho a previsão é de 90 milhões de toneladas na mesma safra (CONAB, 2017). É importante ressaltar que o Cerrado configura-se como principal região responsável por esta produção.

2.2. Atributos biológicos do solo

O solo é um corpo natural, dinâmico e vivo que desempenha diversas funções chave nos ecossistemas terrestres (DORAN; PARKIN, 1996) sendo, portanto, um dos componentes essenciais para a vida e a saúde da humanidade e toda vida no planeta (SILVEIRA, 2007). Isto se deve principalmente a presença da matéria orgânica, que é um componente de alta relevância para a qualidade do solo, em razão de promover melhorias tanto nas condições físicas (aeração, retenção e armazenamento de água), quanto nas propriedades químicas e físico-químicas, bem como no fornecimento de nutrientes as plantas (CUNHA et al., 2007; FIGUEIREDO, 2009). No entanto, com a retirada da vegetação nativa para implantação de lavouras e pastagens, por exemplo, são ocasionadas diversas alterações no solo, como redução da matéria orgânica, aparecimento de processo erosivos, além de drásticas mudanças nos atributos microbiológicos do solo (KASCHUK et al., 2010), comprometendo a sustentabilidade do ecossistema. Diversos indicadores são utilizados para estimar a qualidade do solo, como os atributos biológicos (DORAN; PARKIN, 1996). A avaliação dos indicadores biológicos, como biomassa microbiana, respiração microbiana e atividade enzimática, se ajustam a maioria dos critérios para seleção dos indicadores de qualidade do solo. Isto se deve principalmente a sua capacidade de responder rapidamente as mudanças derivadas de alterações no manejo e ao fato de que a atividade microbiana do solo reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e as transformações de nutrientes (KENNEDY; PAPENDICK, 1995; ALVES et al., 2011; LOURENTE et al., 2011).

2.3. Biomassa microbiana

A biomassa microbiana do solo é o principal componente da matéria orgânica e é a parte viva e mais ativa do solo, sendo um dos indicadores mais importantes das alterações da qualidade do solo (JACKSON et al., 2003; SILVA et

al., 2012). Sua avaliação é fundamental para obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo; detectar variações causadas por sistemas de cultivos ou por devastação de florestas; medir a regeneração dos solos após a remoção da camada superficial; e avaliar os efeitos de poluentes como metais pesados e pesticidas (FRIGHETTO, 2000; ARAÚJO & MELO, 2010). Este compartimento é representado por fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e representantes da microfauna como os protozoários (Moreira & Siqueira, 2006; SANTOS et al., 2008). Além disso, a biomassa microbiana representa de 2 a 5 % do carbono orgânico total do solo e de 1 a 5 % do nitrogênio total do solo, e é a principal fonte de enzimas do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

2.4. Respiração microbiana

A respiração microbiana do solo é um processo que reflete a atividade biológica do solo, sendo definida como a produção de CO_2 ou o consumo de O_2 como resultado de processos metabólicos de organismos vivos do solo. Gama-Rodrigues et al. (1999), definem este parâmetro como a variável que quantifica o C- CO_2 que é liberado pelos microrganismos edáficos para a atmosfera e reflete a atividade microbiológica do solo. A liberação de altas taxas de CO_2 provenientes da respiração microbiana pode indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000). Por isso a avaliação da respiração microbiana de forma isolada, pode limitar a análise do solo quanto à atividade microbiana; assim é fundamental avaliar conjuntamente o quociente metabólico, pois fornecem informações mais adequadas para o entendimento da atividade microbiológica do solo (ALVES et al., 2011).

Diversos fatores controlam a respiração microbiana, sendo que a umidade e a temperatura do solo são os principais influenciadores (VINCENT et al., 2006). Além desses fatores, a cobertura vegetal do solo, também pode ser um importante controlador da respiração microbiana, pois a presença ou a ausência de resíduos orgânicos pode interferir nas taxas de CO_2 liberadas pelo solo. Os sistemas de manejo onde prevalecem o revolvimento do solo, o uso de fertilizantes químicos e sem resíduos orgânicos em cobertura, podem apresentar elevadas taxas de liberação de CO_2 , via respiração microbiana. Por outro lado, sistemas com componente arbóreo e com maior biomassa na superfície do solo, tendem a diminuir

a temperatura e aumentam a umidade do solo, levando a redução da respiração do solo (MURPHY et al., 2008).

Existem basicamente dois métodos propostos para quantificar o conteúdo de CO₂ produzido: o primeiro é baseado na determinação do fluxo de CO₂ usando câmaras que são colocadas sobre o solo; o segundo é usado para avaliar a atividade microbiana, sendo baseado na produção de CO₂ a partir de uma amostra de solo em laboratório (PARKIN et al., 1996). Nas condições de laboratório, a respiração tem sido usado em estudos sob influência de diversos atributos físicos do solo, como densidade, umidade, temperatura e aeração sobre a mineralização da matéria orgânica do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

2.5. Quociente microbiano ($qMIC$) e Quociente metabólico (qCO_2)

O quociente microbiano ($qMIC$), que corresponde à relação entre o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e o carbono orgânico total (COT), reflete processos relacionados às adições e transformações da matéria orgânica, assim como a eficiência de conversão de C desta em C microbiano (SPARLING, 1992). Em circunstâncias de desequilíbrio ambiental ou em situação em que a biomassa experimenta algum fator de estresse (deficiência de nutrientes, acidez, déficit hídrico, etc.), a capacidade de utilização de C é diminuída e, neste caso, o $qMIC$ tende a diminuir (WARDLE, 1992). Por outro lado, em ecossistemas estáveis, onde predominam condições favoráveis, há uma tendência de aumento da atividade microbiana e, em consequência, o $qMIC$ tende a crescer até atingir um equilíbrio (POWLSON et al., 1987). Desse modo em ambientes preservados, em estado de equilíbrio, o valor desta relação pode ser usado como padrão para avaliar quanto um solo se encontra degradado.

O quociente metabólico (qCO_2), representa a quantidade de CO₂ liberado por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo. A obtenção deste índice é obtida pela divisão da respiração microbiana pelo carbono microbiano (R_m/C_{mic}), sendo usado para estimar a eficiência do uso do substrato pelos microrganismos do solo (ANDERSON; DEMORCH, 1993; ALVES et al., 2011; DADALTO et al., 2015). O qCO_2 é utilizado como indicador muito sensível de estresse quando a biomassa microbiana é afetada, melhorando o entendimento das transformações e das perdas nos compartimentos da matéria orgânica do solo

(SILVA et al., 2010). Quando a biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos CO₂ é perdido para a atmosfera e maior taxa de carbono é incorporada à biomassa microbiana, resultando em menores valores de qCO₂ (CUNHA et al., 2011). A remoção da vegetação nativa acelera a decomposição dos resíduos vegetais e, assim, o valor do quociente metabólico aumenta (SILVA et al., 2007). Em estudo desenvolvido por Dadalto et al. (2015), avaliando os indicadores microbiológicos em diferentes sistemas de preparo e uso do solo, foi observado maiores valores de qCO₂, no preparo convencional, indicando que neste sistema a biomassa microbiana está submetida algum distúrbio ambiental, elevando o nível de estresse da biota do solo.

2.6. Atividade enzimática

Além da biomassa microbiana, a atividade enzimática do solo, também pode ser utilizada como parâmetro na avaliação da qualidade do solo, pois as enzimas são indicadores microbiológicos muito sensíveis na identificação alterações no solo, em função dos diferentes sistemas de uso da terra (MATSUOKA et al., 2003; BALOTA et al., 2014). As enzimas tem participação essencial nos processos relacionados à qualidade dos solos, pois é, por meio destas, que os microrganismos do solo degradam compostos orgânicos complexos em compostos mais simples que podem ser assimiladas. Além disso, as enzimas tornam disponíveis aos microrganismos, energia e nutrientes que estão em substratos complexos. As enzimas também são responsáveis pela decomposição e mineralização de nutrientes do solo, disponibilizando-o para as plantas, promovendo desta forma a ciclagem de nutrientes no solo (SILVEIRA, 2007; BURNS et al., 2013).

A escolha das enzimas utilizadas para avaliar a qualidade solo, baseia-se na sua sensibilidade ao manejo do solo, na decomposição da matéria orgânica e na operacionalidade da análise (SILVEIRA, 2007). As enzimas ligadas ao ciclo dos principais elementos do solo, são as mais utilizadas em estudos associados às alterações na qualidade do solo, como a β -glucosidase, relacionada ao C; a fosfatase, ligada ao P; urease, ao N e arisulfatase ligada ao S. (MAKOI; NDAKIDEMI, 2008).

A β -glucosidase, pode ser encontrada em plantas, animais e microrganismos, e catalisam reações de hidrólise da maltose e celobiose cujo os produtos são importantes fontes de energia para os microrganismos do solo (TABATABAI, 1994; DICK, 1996). Estudos mostram que a β -glucosidase, apresenta correlação com a

matéria orgânica do solo, sendo constatado aumento de sua atividade em sistemas que apresentam a deposição de resíduos orgânicos em superfície. Matsuoka et al. (2003), estudando a biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região do cerrado mato-grossense, obtiveram maiores valores de β -glucosidase em parreirais utilizando o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), como cobertura viva nas entre linhas. Os autores atribuíram este comportamento ao efeito rizosférico da gramínea e à maior entrada de C prontamente mineralizável em relação aos demais sistemas.

A urease é amplamente distribuída na natureza e foi detectada em microrganismos, plantas e animais. Esta enzima participa do ciclo N, catalisando as reações de hidrólise da uréia a CO_2 e NH_3 , e contribuindo para liberação do N inorgânico no solo e tornando-o disponíveis para as plantas (DICK, 1996). Ainda, de acordo com HU et al. (2014), a urease libera nitrogênio amoniacal no solo por meio da hidrólise da uréia, essenciais na cadeia dos amino componentes. A atividade da urease, geralmente é maior nos solos de áreas estáveis, como os solos de mata nativa, devido a presença da grande quantidade de espécies vegetais, e consequentemente maior sistema radicular quando comparado como os sistemas agrícolas, o que aumenta a rizosfera estimulando a atividade dos microrganismos nestes locais (SILVEIRA et al., 2007). Cardozo Junior et al. (2016), quando estudaram os indicadores microbiológicos do solo, em sistemas agroflorestais e pastagens em comparação a mata nativa, observaram maiores valores da atividade da urease na mata nativa.

A fosfatase é importante na mineralização do fósforo e facilitando a ciclagem deste nutriente no solo. Esta enzima apresenta grande distribuição no solo, sendo alvo de muitos estudos, pois são responsáveis pela aceleração de hidrólise do fósforo orgânico à fósforo inorgânico, tornando-o assimiláveis pelas plantas. Podem ser classificadas de acordo com seu pH ótimo de ação, em ácidas (pH 6,0) ou alcalinas (pH 11) (TABATABAI, 1994; ALEF; NANNIPEIRI, 1995). A atividade enzimática reage prontamente às práticas de cultivos, porém, também são alteradas por mudanças sazonais. São afetadas por consórcios microbianos, disponibilidade de substrato, pela presença de animais, por características físicas e químicas do solo (VEPSALAINEM, 2001). De acordo com SINGH et al. (2016), a atividade da fosfatase pode ser dependente da disponibilidade de P nos solos. Allison et al. (2011); Balota et al. (2014a) relatam que quando o P é limitado ou indisponível no

solo, há um aumento na atividade de fosfatase, promovendo a disponibilidade de P inorgânico no solo.

2.7. Fauna edáfica

A fauna edáfica, compreende os organismos invertebrados, com diâmetro corporal acima de 2 mm, que vivem permanentemente ou que passam algumas fases de desenvolvimento no solo ou na serapilheira (AQUINO; CORREIA, 2005), como minhocas, centopeias, cupins, formigas, aracnídeos, coleópteros, diplópodes, entre outros (LAVELLE; SPAIN, 2001). Estes organismos apresentam uma grande variedade de tamanho e diâmetro, o que lhes confere habilidade diferenciada na sua estratégia de alimentação e adaptação ao habitat, sendo dividida em microfauna, mesofauna e macrofauna (AQUINO; CORREIA, 2005).

A microfauna do solo é composta por protozoários, nematóides, rotíferos, pequenos indivíduos do grupo Collembola, Acari e outros, cujo diâmetro varia de 4 a 100 μm . Esses organismos atuam de maneira indireta na dinâmica populacional de microrganismos regulando as populações de bactérias e fungos e na liberação de nutrientes na biomassa (WARDLE; LAVELLE, 1997).

A mesofauna compreende animais de tamanho variando entre 100 μm a 2 mm, incluindo Acari, Collembola, Protura, Hymenoptera, Diptera, Diplura, Symphyla, Encheytraeidae, Isoptera, Chilopoda e outros. Dentre as atividades tróficas deste grupo, destaca-se sua contribuição significativa na regulação da população (SWIFT et al., 1979).

Os organismos que compreendem a macrofauna do solo apresentam diâmetro corporal que varia entre 2 a 20 mm, representado entre outros organismos, pelas minhocas, formigas e os cupins. Os macroinvertebrados tem o corpo em tamanho suficiente para romper as estruturas dos horizontes minerais e orgânico do solo ao se alimentar, movimentar e construir galerias (ANDERSON, 1988, ASSAD, 1997). Estes organismos, também são conhecidos como “engenheiros dos ecossistemas”, pois contribuem de maneira essencial para a diversidade de uma comunidade, criando uma gama de nichos utilizáveis que podem ser explorados por determinadas espécies. Suas principais funções são: a fragmentação do resíduo vegetal e sua redistribuição, a predação de outros invertebrados e a contribuição direta na estruturação do solo (SWIFT et al., 1979).

A avaliação da fauna edáfica permite compreender a funcionalidade desses organismos e a complexidade ecológica dessas comunidades (MOÇO et al., 2005; BARETTA et al., 2006, JOUQUET et al., 2014). Nesse sentido, ressalta-se a importância de estudos relacionados à diversidade da fauna edáfica, em áreas manejadas pelo homem (BARETTA et al., 2003, VELÁSQUEZ et al., 2007, RUIZ et al., 2011). Lima et al. (2010), avaliando a macrofauna edáfica em sistemas de manejo e preparo do solo norte do Piauí, constataram maior densidade e diversidade nos sistemas agroflorestais com seis e dez anos de adoção. Os autores concluíram que as práticas agrícolas de preparo do solo afetam a estrutura dos grupos taxonômicos dominantes da macrofauna edáfica, além disso, os sistemas agroflorestais propiciam melhores características químicas do solo e contribuindo para aumentos na abundância e riqueza de espécies da macrofauna invertebrada do solo. Nunes et al. (2012), avaliando a macro fauna edáfica em diferentes sistemas de manejo do solo para a produção de forrageiras, concluíram que os sistemas de manejo adotados com capim-Tifton, capim-Tanzania e Leucena, favoreceram a presença de um grande número de indivíduos e riqueza de espécies da fauna edáfica. Concluíram também, que os sistemas Mata dos Cocais, capim-Tifton e capim-Tanzania e Leucena mostraram associação com vários grupos da fauna edáfica nos dois períodos avaliados enquanto que o sistema com capim-Andropogon, que sofreu queimada anos anteriores apresentou efeito contrário. Embora a importância desses organismos para o sistema tenha sido difundida ao longo das últimas décadas, com vários estudos em diferentes manejos do solo (ABREU et al., 2014; SANTOS et al., 2016), as informações ainda são muito escassas, haja visto a importância destes organismos para a sustentabilidade do ecossistema.

2.8 . Efeito de sistemas de manejo do solo sobre os atributos biológicos

Os atributos biológicos do solo têm sido alvo de diversos estudos, em solos submetidos diferentes sistemas de manejo adotados no bioma cerrado. Os estudos mostram que a supressão da vegetação nativa para implantação de áreas agrícolas, causa alterações na biomassa microbiana do solo, ocasionando a redução dos seus teores. De acordo com Lourente et al. (2011), a biomassa microbiana do solo sofreu reduções de até 50%, quando a mata nativa, foi convertida em pastagem e lavouras de soja, em um Latossolo Vermelho do sul-matogrossense. Os autores atribuíram esta redução às práticas agrícolas realizadas nos sistemas antropizados.

Contrariamente, a manutenção ou aumento dos teores de biomassa microbiana do solo na mata nativa se devem principalmente à diversidade de espécies vegetais (quantidade e qualidade) que implica na deposição contínua de substratos orgânicos com composição variada na serapilheira.

Estudos realizados por D'Andréia et al. (2002), sobre os efeitos de diferentes sistemas de manejo, nos atributos microbiológicos do solo, obtiveram maiores de valores carbono da biomassa microbiana no cerrado nativo em relação ao demais sistemas de manejo na camada superficial. E dentre os sistemas agrícolas, os valores de carbono da biomassa microbiana na pastagem e plantio de direto, foram superiores ao sistema convencional. O valor de carbono de biomassa microbiana mais elevado no cerrado nativo é reflexo de uma situação bastante particular para a microbiota do solo nesse sistema, que é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de susceptibilidade à decomposição, originados da vegetação. A diversidade das espécies vegetais do cerrado nativo, notadamente maior do que a dos demais sistemas de manejo avaliados, implica a deposição de substratos orgânicos oxidáveis com composição variada na serapilheira. Além disso, existe maior diversidade de compostos orgânicos depositados na rizosfera, o que constitui fator favorável à sobrevivência e crescimento dos diferentes grupos de microrganismos do solo.

Neves et al. (2009), estudando os atributos microbiológicos em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado mineiro, constataram que os teores de carbono orgânico total e carbono da biomassa microbiana, foram reduzidos significativamente nos sistemas cultivados em relação ao cerrado nativo. Observaram também aumento nos valores de respiração microbiana e quociente metabólico, nos sistemas de manejo com eucalipto, em relação ao cerrado nativo.

Matias et al. (2009), ao avaliarem os atributos microbiológicos de um LATOSSOLO Amarelo no cerrado piauiense, em sistema de plantio direto, plantio convencional e uma área recém desmatada, verificaram que o plantio direto proporcionou os maiores valores de carbono da biomassa microbiana. Isto demonstra que a deposição de resíduos vegetais em cobertura favoreceu o aumento no Cmic, principalmente em superfície, sendo reflexo do aumento no COT observado nesta área, e que o revolvimento do solo, durante as atividades agrícolas no plantio convencional, e o desmatamento na área recém desmatada, provocaram diminuição na quantidade da biomassa pelo dano direto às células microbianas.

Frazão et al. (2010), constataram maiores valores de carbono da biomassa e menores de respiração microbiana na pastagem com 22 anos, camada superficial, em comparação com o plantio direto e plantio convencional no cerrado mato-grossense.

Adicionalmente, Raiesi; Beheshti, (2015), em pesquisa realizada no nordeste do Iran, avaliaram indicadores microbiológicos do solo cultivado com trigo, em relação a floresta nativa. Estes autores constataram reduções no carbono da biomassa microbiana de 76%, após setenta anos de conversão da floresta nativa em lavouras de trigo.

2.9. Efeito de sistemas de manejo do solo sobre a emissão de óxido nitroso

O óxido nitroso (N_2O) é um dos gases do efeito estufa, pois mesmo estando em concentrações bem menores que o dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) na atmosfera, tem um maior potencial para contribuir com o aumento da temperatura do planeta, pois apresenta um poder de aquecimento muito maior que o CO_2 e o CH_4 (CERRI, 2007; TOMLINSON, et al. 2013). Além disso, sua concentração na atmosfera está em crescente ascensão, com aproximadamente 325 ppb, com aumento de 18%, em relação ao ano de 1950, com valores próximos a 275 ppb (MASTERS; ELA, 2008).

A liberação de N_2O para atmosfera via solo, ocorre por meio de dois processos biológicos, que fazem parte do ciclo de nitrogênio: a nitrificação e a desnitrificação. A nitrificação é o processo de oxidação de amônio (NH_4^+) à nitrito (NO_2^-) ou nitrato (NO_3^-) (DALAL et al., 2003), a qual é realizada inicialmente por bactérias *Nitrossomonas sp*, em que o NH_4^+ é oxidado a NO_2^- , que em seguida é oxidado a NO_3^- por ação das bactérias do gênero *Nitrobacter sp* (Moreira & Siqueira, 2006). Enquanto a desnitrificação é o processo de oxidação biológica em que o NO_3^- é reduzido aos gases de N, dentre eles o N_2O , através da ação de bactérias anaeróbicas facultativas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; THOMSON, 2012).

As emissões de N_2O podem ser influenciadas por diversos fatores relacionados ao ambiente, como temperatura, umidade, textura do solo, pH, entre outros. Em solos com maior umidade, há maiores perdas deste gás ocasionado pelo aumento na quantidade de espaço poroso ocupado por água e conseqüente diminuição no O_2 disponível (BRAGA et al., 2011). Da mesma forma, em solos

argilosos também ocorre uma maior emissão de N_2O , que pode estar associada à maior percentagem de poros preenchidos por água provocada pelo pequeno tamanho dos poros e altos conteúdos de umidade neles retidos (SKIBA; BALL, 2002).

Estudos mostram que a conversão de florestas nativas em lavouras ou em pastagem tem um efeito significativo na emissão do N_2O (WASSMANN; VLEK, 2004). Nogueira et al. (2016) em estudo da emissão de óxido nitroso em sistemas com eucalipto no cerrado brasileiro, constaram valores de emissão variando de 0,2 à 0,3 $kg\ ha^{-1}$ de N_2O nos sistemas floresta de eucalipto, pastagem e sistema integrado lavoura-pecuária-floresta, menores que na lavoura de soja em rotação com milho, com valores de 1,5 kg de $N_2O\ ha^{-1}$. Ainda de acordo com os autores a baixa emissão de N_2O nos sistemas com a presença do eucalipto, são atribuídos tanto a baixa taxa de decomposição dos resíduos da serapilheira, devido a alta relação C/N, como também ao aporte de amônio pela pastagem que compõe estes sistemas, contribuindo também para o consumo de óxido nitroso no solo.

Corrêa et al. (2016), em estudo sobre as emissões de N_2O em sistema de integração-pecuária-floresta com eucalipto, em comparação com cerrado nativo, obtiveram valores na ordem de 1600 g de $N-N_2O\ ha^{-1}$, no sistema integrado, enquanto no cerrado nativo não houve emissão. Sendo tais resultados atribuídos às práticas como adubações nitrogenadas realizadas na pastagem que o compõe o sistema.

De forma semelhante, Oliveira et al. (2012), obtiveram emissões com valores negativos de N_2O , em área de cerrado nativo, representando assim uma fonte de consumo deste elemento. Enquanto nos sistemas integração lavoura-pecuária-floresta e integração lavoura-pecuária apresentaram maiores emissões, sendo que no primeiro, as taxas de emissão foram menores em relação ao segundo, constituindo-se uma boa alternativa para mitigação de gases de efeito estufa.

Tomazi et al. (2013), constataram valores de emissão de N_2O , cerca de duas vezes maior em sistema de integração-lavoura-pecuária, em relação a pastagem permanente. Os autores relataram que isto se deve, provavelmente, ao sistema de ILP ser cultivado a cada dois anos com aveia/soja, o que disponibilizaria maiores quantidades de N e C para atividade microbológica, enquanto que a área correspondente à pastagem permanente encontrava-se há 16 anos sem fertilização.

Referências

- ABREU, R. R. L.; LIMA, S. S.; OLIVEIRA, N. C. R.; LEITE, L. F. C. Fauna edáfica sob diferentes níveis de palhada em cultivo de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, n. 4, p.409-416, 2014.
- ALEF, K.; NANNIPEIRI, P. *Methods in applied soil microbiology and Biochemistry*. London; Academic Press 1995, 576p.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.33, n.2, p.341-347, 2011.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v. 23, n.3, p. 393-395, 1993.
- AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F. Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. (Documentos, 201).
- ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. Soil microbial biomass in organic farming system. *Ciência Rural*, v.40, n.11, p.2419-2426, 2010.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v.5, p.187-206, 2012.
- ASSAD, M. L. L. Papel da Macrofauna edáfica de invertebrados no comportamento dos solos tropicais. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Rio de Janeiro, Conferências..., CD-ROOM, Rio de Janeiro, SBCS, 1997.
- BALOTA, E. L.; YADA, I. F.; AMARAL, H.; NAKATANI, A. S.; DICK, R. P.; COYNE, M. S. Long-term land use influences soil microbial biomass P and S, phosphatase and arylsulfatase activities, and S mineralization in a Brazilian Oxisol. *Land Degradation & Development*, v.25, p.397-406, 2014.
- BARETTA, D.; MAFRA, A. L.; SANTOS, J. P. C.; AMARANTE, C. V. T.; BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.11, p.1675-1679, 2006.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MAFRA, A. L. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.2, n.2, p.97-106, 2003.
- BRAZ, A. M. S.; FERNANDES, A. R.; ALLEONI, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. *Land Degradation & Development*. v.24, p.33–38, 2013.

BURNS, M. A.; MCKNIGHT, M. D.; GABOR, R. S.; BROOKS, P. D.; BARNARD, H. R. Transport and transformation of dissolved organic matter in soil interstitial water across forested, Montane Hillslopes, 2013.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; OLIVEIRA, I. A. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.527-535, 2010.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.277-289, 2010.

COIMBRA, J. L. M.; SANTOS, J. C. P.; ALVES, M. V.; BARZOTTO, I. Técnicas multivariadas aplicadas ao estudo da fauna do solo: contrastes multivariados e análise canônica discriminante. *Ceres*, v.54, n.02, p.270-276, 2007.

COLMAN, B. R.; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis, Anais.. SBCS, 2013.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Volume 4. Safra 2016/2017 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-160 janeiro 2017.

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

CURVO, R. J. C.; CURVO, L. R. V.; PIETRAFESA, P. A. As controvérsias da sustentabilidade socioambiental na produção agropecuária no território do cerrado brasileiro. *Revista de Geografia Agrária*, v.9, n.19, p.177-208, 2014.

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; PAULO R. CECON, P. R. ; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. *Engenharia Agrícola*, v.35, n.3, p.506-513, 2015.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, n.4, p.913-923, 2002.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1996. p.25-37. (Special Publication, 49).

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Significance and potential uses of soils enzymes. In: METTING, F. B. (ed). Soil microbial Ecology, New York: Marcel Dekker, 1992. p. 95-127.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-243.

GATIBONI, L. C.; COIMBRA, J. L. M.; DENARDIN, R. B. N. & WILDNER, L. P. Microbial biomass and soil fauna during the decomposition of cover crops in no-tillage system. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1151-1157, 2011.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.909-920, 2012.

IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em www.ibge.gov.br.

ISLAM, K. R. & WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. Agricultural Ecosystem Environment., v.79, p.9-16, 2000.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. Geoderma, v.114, p.305-317, 2003.

KASCHUK, G. ; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Três décadas de estudos biomassa microbiana do solo em ecossistemas brasileiros: lições aprendidas sobre a qualidade do solo e indicações para a melhoria da sustentabilidade. Biologia do Solo e Bioquímica, v.42, p.1-13, 2010.

KENNEDY, A. C.; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, v.50, n.3, p.243-248, 1995.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. Soil ecology. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S. & IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.1273-1280, 2010.

LIMA, S. S.; AQUINO, A. M.; LEITE, L. F. C.; VELÁSQUEZ, E. & LAVELLE, P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.3, p.322-331, 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.

- LOPES, A. S. Soils under Cerrado: a success story in management. *Better Crops International*, Norcross, v.10, n.2, p.9-15, 1996.
- LUBBERS, I. M.; VAN GROENIGEN, K. J.; FONTE, S. J. ; SIX, J.; L. BRUSSAARD, L.; VAN GROENIGEN, J. W. *National Climate Change*, v.3, p.187-194, 2013.
- MAKOI, J. H. J. R.; NDAKIDEMI, P. A. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. *African Journal of Biotechnology*, v. 7, n.3, p.181-191, 2008.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.425-433, 2003.
- MOÇO, M. K.; GAMA-RPODRIGUES, E. F.; GAMA-RPODRIGUES, A. C.; CORRIEA, M. É. 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.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- MURPHY, M.; BALSER, T.; BUCHMANN, N.;HAHN, V. & POTVIN, C. Linking tree biodiversity to belowground process in a young tropical plantation: Impacts on soil CO₂ flux. *Forest Ecology and Management*, v.255: p.2577-2588, 2008.
- NUNES, L. A. P. L.; SILVA, D. I. B.; ARAÚJO, A. S. F.; LEITE, L. F. C. e CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em sistemas de manejo para produção de forragens no Estado do Piauí. *Revista Ciência Agrônômica*, v.43, n.1, p.30-37, 2012.
- OLIVEIRA, F. S.; VARAJÃO, A. F. D. C.; VARAJÃO, C. A. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BOULANGE, B. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. *Geoderma*, v.226, p.250-259, 2014.
- OLIVEIRA, W. R. D.; CARVALHO, A. M.; SOUZA, K. W.; OLIVEIRA, A. D.; BRAGA, L. M.; PINHEIRO, L. A.; PASSOS, L.; PULROLNIK, K.; RAMOS, M. L. G. Emissão de N₂O em solo cultivado com soja em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e integração lavoura-pecuária (iLP). In: FERTBIO, 2012, Maceió. **Anais...** Maceió: SBCS/UFAL, 2012.
- PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W. e JONES, A., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.231-245.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*, v.19, p.159-164, 1987.

RAIESI, F.; BEHESHTI, A. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. *Ecological Indicators*, v.50, p.173-185, 2015.

RATTER J.A.; RIBEIRO J.F.; BRIDGEWATER S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany*, v.80, p.223-230, 1997.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEREDO, C. C. ; ZINN, Y. L. Dinâmica da Matéria Orgânica do Bioma Cerrado. In: *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ª ed – Metrópole, Porto Alegre, 2010.

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. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª ed, revisada e ampliada, Porto Alegre: Gênese, 2008.

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

SILVA, F. G. D.; BUENO, M. A. Os territórios cerradeiros nas aulas de geografia: análise da abordagem do conceito de Cerrado no currículo referência da rede estadual de educação de Goiás. *Revista Brasileira de Educação em Geografia*, v.5, n.10, p.193-211, 2015.

SILVA, M. B.; KIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.12, p.1755-1761, 2007.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1585-1592, 2010.

SILVEIRA, A. O. Atividades enzimáticas como indicadores biológicos de qualidade dos solos agrícolas do Rio Grande do Sul. 2007, 95p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, v. 79, p.7–31, 2004.

SNIF- Serviço Nacional de Informações Florestais. Recursos Florestais: os biomas e suas florestas. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif>. <Acesso: 03/11/2016 >.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, v.30, n.2, p.195-207, 1992.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M., EDS. The decomposer organisms. In: *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Berkeley, University of California Press, 1979. p.66-117.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (eds) *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties*. Soil Science Society of America, Madison, p.775–833, 1994.

TEJERINA-GARRO, F.L. "Biodiversidade e impactos ambientais no estado de Goiás: o meio aquático. In: ROCHA, C.; TEJERINA-GARRO, F.L.; PIETRAFESA, J.P. (org.). *Cerrado, sociedade e ambiente – desenvolvimento sustentável em Goiás*. Goiânia-Go, Editora da UCG, 2006. p.15-47.

THOMSON, A. J. et al. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. *Philosophical Transactions of The Royal Society Biological Sciences*, London, v. 367, n. 1593, p. 1157- 1168, 2012.

TOMAZI, M.; SALTON, J. C.; FAVARIN, R. P.; RETORE, M.; SANTOS, D. C.; BAYER, C. Emissão de N₂O proveniente de excretas de bovinos em sistema de integração lavoura-pecuária e pastagem permanente na região tropical do Cerrado brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34, 2013, Florianópolis. *Ciência do solo: para quê e para quem: Anais...* Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

TOMLINSON, P.; DEANN, P.; RICE, C. Greenhouses gasses in agriculture. Kansas States University. [http:// www.ksre.ksu.edu](http://www.ksre.ksu.edu), 2013.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. *Tópicos Especiais em Ciências do Solo*, v.2, n. 1, p.196-275, 2002.

VALENTE, C. R. Caracterização geral e composição florística do Cerrado. In: GUIMARÃES, L. D. A.; SILVA, M. A. D.; ANACLETO, T. C. *Natureza Viva Cerrado: Caracterização e conservação*, Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 2006, p.21-44.

VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ: a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, v.39, n.12, p.3066-3080, 2007.

VEPSALAINEN, M.; KUKKONEM, S.; VESTBERG, M.; SIRVIO, H.; NIEMI, R. M. Applications of soil enzyme activity test kit in a field experiment. *Soil Biology e Biochemistry*, v.33, p.1665-1672, 2001.

VINCENT, G. L.; SHAHRIARI, A. R.; LUCOT, E.; BADOT, P.M; EPRON, D. Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table. *Soil Biology and Biochemistry*, v.38, p.2527-2535, 2006.

WANG, B.; XUE, S.; LIU, G. B.; ZHANG, G. H.; LI, G.; REN, Z. P. Changes in soil nutrient and enzyme activities under different vegetations in the Loess Plateau area, Northwest China. *Catena*, v.92, p.186–195, 2012.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews*, v.67, n.3, p.321-358, 1992.

WASSMANN, R.; VLEK, P. L. G. Mitigating greenhouse gas emissions from tropical agriculture: scope and research priorities. *Environment, Development and Sustainability*, n. 6, p. 1-9, 2004.

3. CAPITULO I

SISTEMAS INTEGRADOS COM EUCALIPTO PROMOVEM INCREMENTOS À BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NO CERRADO PIAUIENSE?

Resumo

Este trabalho teve como objetivos avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo, sobre carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) os atributos microbiológicos (carbono da biomassa microbiana; respiração microbiana; quociente microbiano, quociente metabólico e atividade enzimática), em um Latossolo Amarelo do cerrado piauiense. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Chapada Grande em Regeneração-PI, onde foram selecionados quatros sistemas de manejo do solo: Plantio direto (PD); Pastagem; Cultivo exclusivo de eucalipto (CEE) e Integração Pecuária-floresta (IPF), além de uma área de cerrado nativo como referência. Foram realizadas duas amostragens de solo na profundidade de 0-0,10 m, para a determinação do carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbono da biomassa microbiana (Cmic), e respiração microbiana (Rm), quociente microbiano (q_{Mic}), quociente metabólico (q_{CO_2}) e a atividade das enzimas hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA); fosfatase ácida, β -glucosidase e Urease. Os teores de COT encontrados foram baixos em todos os sistemas estudados, sendo que o CEE e o IPF apresentaram os maiores valores, período seco e a pastagem no período chuvoso. O Cmic e o q_{Mic} , foram maiores no cerrado, no período seco, e no cerrado e no CEE no período chuvoso. A atividade da biomassa microbiana, (Rm e q_{CO_2}), variou, em relação aos diferentes sistemas de uso da terra nos períodos seco e chuvoso. Com relação a atividade enzimática, constatou-se variações em função do uso e manejo da terra, nos dois períodos avaliados. Os sistemas de manejo CEE e IPF são mais eficientes no estabelecimento na biomassa microbiana, por proporcionar condições ambientais mais favoráveis a biota do solo. O sistema de manejo do solo IPF, favorece a atividade enzimática em ambos os períodos avaliados em relação aos demais sistemas manejados, principalmente no tocante à FDA e a β -glucosidase. Os indicadores microbiológicos Cmic, q_{Mic} , Urease e fosfatase ácida apresentaram maior sensibilidade na percepção dos alterações promovidas pelas agrícolas nos sistemas manejados.

Palavras-chave: biomassa microbiana; atividade enzimática; sistemas de manejo do solo

Abstract

The objective of this work was to evaluate the effects of different soil management systems, on total organic carbon (TOC) and total nitrogen (NT), the microbiological attributes (microbial biomass carbon, microbial respiration, metabolic quotient and enzymatic activity), in a Yellow Latosol of the Piauí an savana. The work was developed at the Chapada Grande Farm in Regeneração-PI, where four soil management systems were selected: Direct planting (PD); Pasture; Exclusive cultivation of eucalyptus (CEE) and Livestock-forest integration (IPF), in addition to an area of native savana as reference. Two soil samples were collected at 0-0,10 m depth for the determination of total organic carbon (TOC), total nitrogen (NT), microbial biomass carbon (Cmic), and microbial respiration (Rm), microbial quotient (qMic), Metabolic quotient (qCO_2) and the enzyme activity of hydrolysis of fluorescein diacetate (FDA); Acid phosphatase, β -glucosidase and Urease. The TOC levels found were low in all systems studied, with the CEE and IPF showing the highest values, dry period and pasture in the rainy season. Cmic and qMic were higher in the cerrado, dry season, and cerrado and CEE in the rainy season. The activity of the microbial biomass, (Rm and qCO_2), varied in relation to the different systems of land use in the dry and rainy periods. In relation to the enzymatic activity, variations were verified as a function of land use and management, in the two evaluated periods. CEE and IPF management systems are more efficient in establishing microbial biomass because they provide more favorable environmental conditions to soil biota. The IPF soil management system favors enzymatic activity in both evaluated periods in relation to the other managed systems, mainly in relation to the FDA and β -glucosidase. The microbiological indicators Cmic, qMic, Urease and acid phosphatase presented greater sensitivity in the perception of the changes promoted by the agricultural systems managed.

Key-words: microbial biomass; enzymatic activity; soil management systems

3.1. Introdução

A conversão da vegetação nativa, para áreas agrícolas provoca alterações na dinâmica da matéria orgânica do solo, impactando negativamente os atributos microbiológicos, como mostram alguns estudos (LEITE et al., 2010; LOURENTE et al., 2011; GUARESCHI et al., 2012; WANG et al., 2012; COLMAN et al., 2013; RAIESI; BEHESHTI, 2015).

Dessa forma, a adoção de sistemas de manejo com características conservacionistas, como a integração lavoura-pecuária-floresta, plantio direto e pastagens com manejo adequado, podem ser consideradas soluções tecnológicas para uma agropecuária sustentável, gerando para o produtor, benefícios técnicos, ambientais e socioeconômicos. Estes sistemas apresentam como princípios básicos, a manutenção da palha como cobertura morta, somada à ausência de revolvimento do solo e a ciclagem de nutrientes (ASSMANN et al., 2008; CARVALHO et al., 2010), fatores importantes para melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (GATIBONI et al., 2011).

Entre os atributos microbiológicos do solo, o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e a respiração, são frequentemente utilizados na avaliação da qualidade do solo (ARAÚJO et al., 2012, BALOTA et al., 2014a). Estes atributos apresentam alta sensibilidade às mudanças no ecossistema, de tal forma que os efeitos podem ser detectáveis mais rapidamente. Araújo et al. (2016), em pesquisa realizada no cerrado piauiense, avaliaram os indicadores microbiológicos do solo após eventos de corte e queima para o plantio de milho em relação ao cerrado nativo preservado. Estes autores constataram reduções de 42% no carbono da biomassa microbiana com apenas um ano de distúrbio da vegetação nativa.

Além da biomassa microbiana, a atividade enzimática também pode ser utilizada como parâmetro na avaliação da qualidade do solo, pois as enzimas são indicadores microbiológicos muito sensíveis para identificar alterações no solo, em função dos diferentes sistemas de uso do solo (MATSUOKA et al., 2003). Balota et al. (2014b), ao avaliarem a atividade enzimática em Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo após 24 anos de remoção da mata nativa, constataram maiores valores de atividade da enzima fosfatase ácida na mata nativa, enquanto os menores foram observados no plantio convencional, onde houve uma redução de aproximadamente 58%. Da mesma forma, Lisboa et al. (2012)

verificaram alterações na atividade da β -glucosidase em solo submetido ao plantio convencional, registrando reduções de até 20%, em relação mata nativa.

Apesar da importância dos atributos microbiológicos no monitoramento de alterações da qualidade do solo, as pesquisas sobre o impacto das atividades agropecuárias nestes atributos em solos do Cerrado, ainda se concentram na parte centro-sul deste bioma, onde as temperaturas médias são diferentes das registradas no cerrado piauiense. De acordo com Silva et al. (2011), a temperatura média diária no cerrado piauiense é mais elevada, sendo registrados valores variando de 23 à 27°, enquanto que os valores observados na parte centro-sul do bioma, nos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e São Paulo, variam de 18°C e 22°C. Esta particularidade no cerrado piauiense, pode acelerar as reações relacionadas com a decomposição da matéria orgânica e a mineralização de nutrientes, como também intensificar o metabolismo da microbiota do solo.

No cerrado piauiense, pouco ainda se conhece sobre os efeitos dos diferentes sistemas de manejo nos atributos microbiológicos do solo. Além disso, os poucos estudos que existem nesta região, restringem-se apenas em relacionar os efeitos dos sistemas de plantio direto e plantio convencional sobre os atributos microbiológicos (MATIAS et al., 2009; LEITE et al., 2010). Ainda são poucas as informações sobre o uso do solo com a presença do eucalipto, tanto em monocultivo, como em sistemas integrados de produção, como a integração-pecuária-floresta e seus efeitos nos atributos microbiológicos.

Portanto, objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo sobre o carbono orgânico total e a comunidade microbiana do solo no cerrado piauiense.

3.2. Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Chapada Grande, localizada no município de Regeneração - PI, (06°21'03" S, 42°28'79" O), e altitude de 374 metros (Figura.1.1).

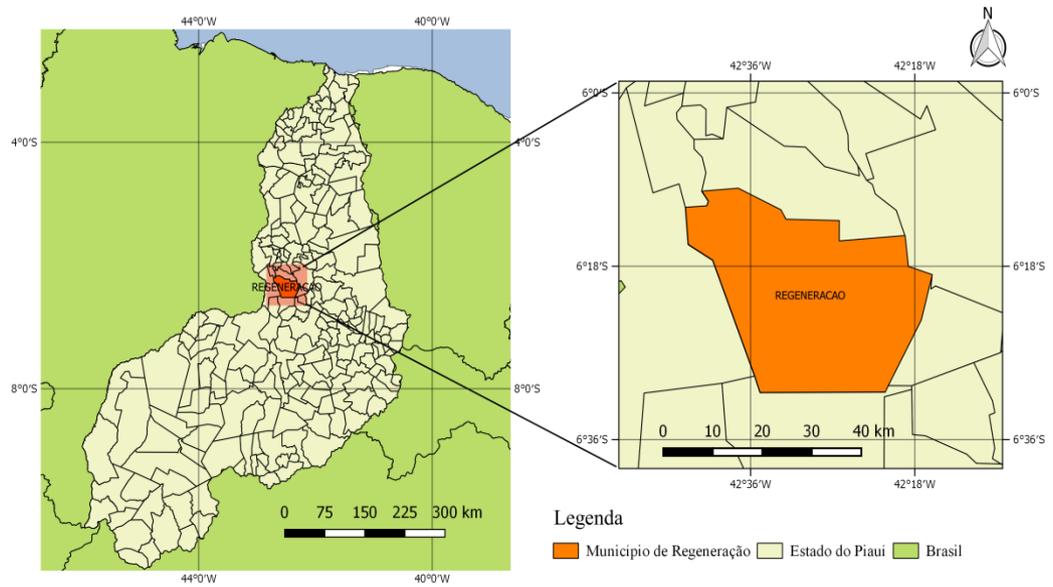


Figura 1.1. Localização geográfica do município de Regeneração-PI. (Fonte: Souza , 2016).

O clima da região é classificado segundo Köppen como Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média é 26,4 °C e a pluviosidade média anual é 1371 mm (CLIMATE-DATA, 2014). Na figura 1.2 são apresentadas as médias mensais de temperatura e precipitação pluviométrica do local de desenvolvimento da pesquisa, para o ano de 2016.

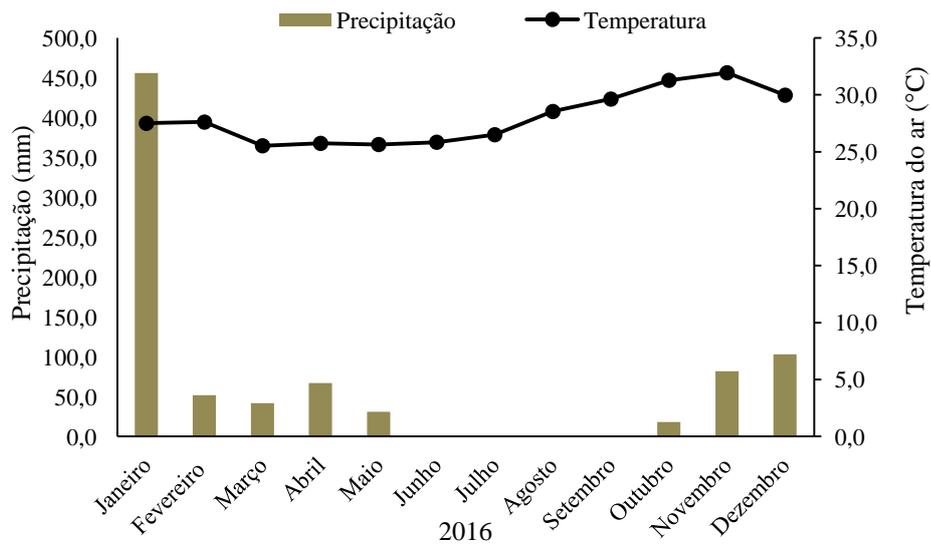


Figura. 1.2. Precipitação pluviométrica e temperatura correspondente ao ano de 2016, na Fazenda Chapada Grande, Regeneração-PI.

O solo foi classificado como LATOSSOLO Amarelo Distrófico (IBIAPINA et al., 2014). A caracterização química das áreas selecionadas para a execução deste trabalho está na Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Caracterização química na camada de 0-10 cm de um Latossolo Amarelo Distrófico, submetido à diferentes sistemas de manejo no cerrado piauiense

Sistemas	pH (H ₂ O)	P mgdm ⁻³	K⁺ ----- cmol _c dm ⁻³	Ca⁺² ----- cmol _c dm ⁻³	Mg⁺² ----- cmol _c dm ⁻³	Al⁺³ ----- cmol _c dm ⁻³	MO g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	Ds kgdm ⁻³
CN	4,65	8,13	0,08	1,40	0,03	1,92	22,7	506	0,91
PD	5,60	29,97	0,43	4,04	0,91	0,32	24,9	608	0,98
PAS	6,02	17,82	0,29	4,15	0,69	0,11	27,6	635	1,06
CEE	4,71	9,39	0,13	3,71	0,09	2,20	27,9	571	0,76
IPF	5,62	17,42	0,18	4,19	1,16	0,55	29,1	586	0,95

acidez de troca de cátions; MO:matéria orgânica; PD: sistema de plantio direto; PAS: Pastagem; CEE:cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: integração pecuária floresta.

Para a realização do estudo foram selecionados quatro sistemas de manejo do solo: Plantio direto (PD); Pastagem (PAS); Cultivo exclusivo de eucalipto (CEE) (Figura 1.3) e Integração pecuária-floresta (IPF), além de uma área de cerrado nativo (CN), utilizado como referência (Figura 1.4.).

A área do PD foi desmatada em 2010, posteriormente foi submetida a arações, seguida de gradagens. Em 2011, realizou-se uma aplicação de 4 t ha⁻¹ de calcário para correção da acidez, e em seguida foi implantada a cultura do arroz. Em 2012 e 2013 a área foi cultivada com a cultura da soja em sistema convencional. A partir de 2014, foi introduzido o plantio direto com cultura da soja em rotação com milho.

A área de pastagem foi cultivada com a espécie forrageira *Braquiária brizantha* em sistema de monocultivo. A área foi desmatada em 2007 e foi cultivada com soja e milho em rotação até 2009, antes da instalação da pastagem. Em 2010, a pastagem foi implantada por meio de semeadura mecanizada, após o preparado do solo com araço e gradagem. O solo foi corrigido com calcário dolomítico e fosfato natural conforme recomendação da análise de solo. Adubações de manutenção foram efetuadas a cada 6 meses com 150 kg ha⁻¹ e a área dividida em cinco piquetes de aproximadamente 50.000 m² cada. Essa área é utilizada na forma de pastoreio rotacionado.

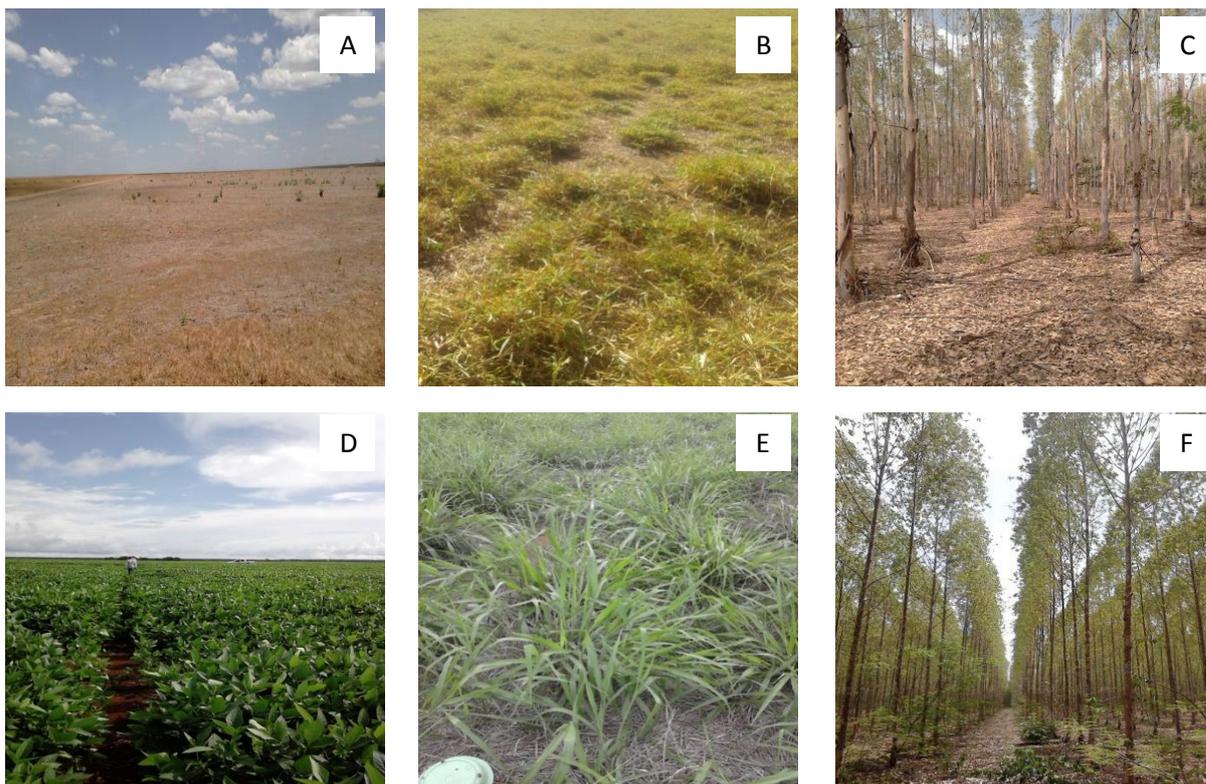


Figura 1.3. Diferentes sistemas de manejo do solo nas épocas seca e chuvosa na Fazenda Chapada Grande, Regeneração-PI. A. Plantio direto, B. Pastagem, C. Cultivo de eucalipto (Período seco); D. Plantio direto, E. Pastagem, F. Cultivo de eucalipto (período chuvoso).

No CEE, o plantio das mudas foi realizado em fevereiro de 2007, com espaçamento de 3 x 2 m ($1.666 \text{ plantas ha}^{-1}$), utilizando clones, do material MA-2000. No do preparo do solo foram realizadas uma aração e duas gradagens, aplicando-se 2 t ha^{-1} de calcário dolomítico para correção da acidez. Na área foi efetuada uma adubação de subsolagem, antes do plantio, com 400 kg ha^{-1} de Superfosfato Simples, uma adubação de fundação com 150 kg ha^{-1} de NPK na formulação 06-30-06 e uma adubação de cobertura, três meses após o plantio, com 110 kg ha^{-1} de NPK 22-00-22. A adubação com NPK foi repetida anualmente. O controle de plantas invasoras é feito por meio do coroamento com capina mecânica.

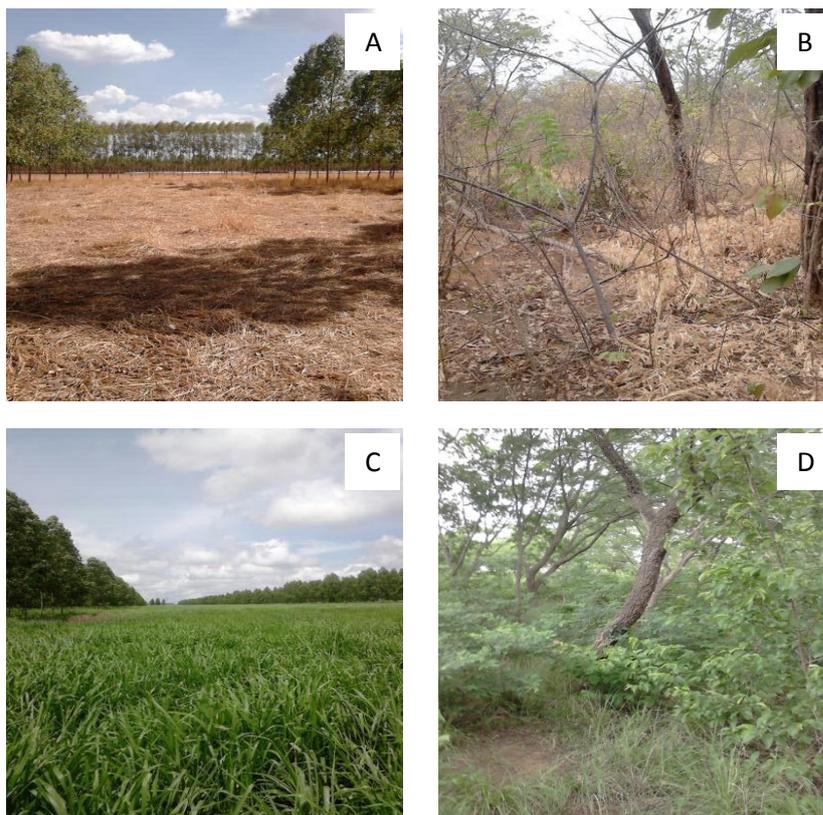


Figura 1.4. Sistema de integração pecuária floresta e cerrado nativo nas épocas seca e chuvosa na Fazenda Chapada Grande, Regeneração-PI. A. Integração pecuária-floresta, B. Cerrado Nativo (Período seco); C. Integração pecuária-floresta, D. Cerrado Nativo (Período chuvoso).

O Sistema integrado pecuária floresta (IPF) foi formado pelo consórcio de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, Hill) com pastagem. As mudas de eucalipto foram plantadas em covas, com espaçamento de 2 m entre plantas na renques de fileiras triplas e cerca de 30 m entre renques em março de 2012. Para formação da pastagem foi utilizada a espécie *Braquiária brizantha*. No preparo do solo foram realizadas uma aração e duas gradagens, aplicando-se 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico para correção da acidez. Na área foi efetuada uma adubação de subsolagem, antes do plantio, com 400 kg ha⁻¹ de Superfosfato Simples, uma adubação de fundação com 150 kg ha⁻¹ de NPK na formulação 06-30-06 e uma adubação de cobertura, três meses após o plantio, com 110 kg ha⁻¹ de NPK 22-00-22. A adubação com NPK é repetida anualmente. Inicialmente, foi necessário o isolamento da área de cultivo de eucalipto para que os animais não provocassem danos às plantas. Para tanto, foi utilizado cerca de arame farpado. As árvores de eucalipto do sistema integrado com pastagem estão posicionadas no sentido norte-sul, cortando o sentido do deslocamento do sol. Desta forma, proporcionam um

sombreamento gradativo para a forrageira cultivada na área, conforme o período do dia. Antes da instalação da IPF a área era cultivada com soja e milho em rotação até 2011. O Cerrado nativo utilizado como referência não antropizado, é composto de vegetação herbácea, arbustiva, arbórea e cipós típicos do Cerrado, com destaque para árvores com sistemas radiculares desenvolvidos, cascas espessas e resistentes às queimadas e caules tortuosos em decorrência da pobreza de nutrientes essenciais para o desenvolvimento.

O aporte anual de resíduos orgânicos nos sistemas de manejo estudados é de 13,15; 4,56; 17,12; 19,23 e 24,86 Mg ha⁻¹ nos sistemas de CN, PD, PAS, CEE e IPF, respectivamente.

Para análise dos indicadores microbiológicos, foram efetuadas duas amostragens de solo contemplando os períodos seco e chuvoso. As amostras foram coletadas em julho de 2015 e abril de 2016 para representar os períodos seco e chuvoso, respectivamente. Em cada sistema de manejo, foi delimitada uma área de 10.000 m² (100 x 100m), na qual foram estabelecidos cinco pontos, um central e quatro nas extremidades, que corresponderam as cinco repetições, onde foram retiradas quatro subamostras para compor uma amostra composta na camada de 0-0,10 m, conforme na figura 1.5.

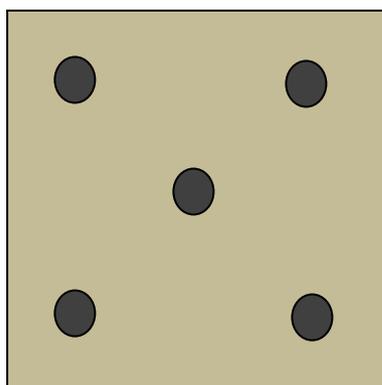


Figura 1.5. Representação do procedimento utilizado na coleta de solo, nos diferentes sistemas de manejo do solo.

Posteriormente, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos e transportadas em caixas térmicas com gelo até o laboratório, onde foram peneiradas (2 mm) e refrigeradas a 4 °C, até serem analisadas (Figura 1.6).

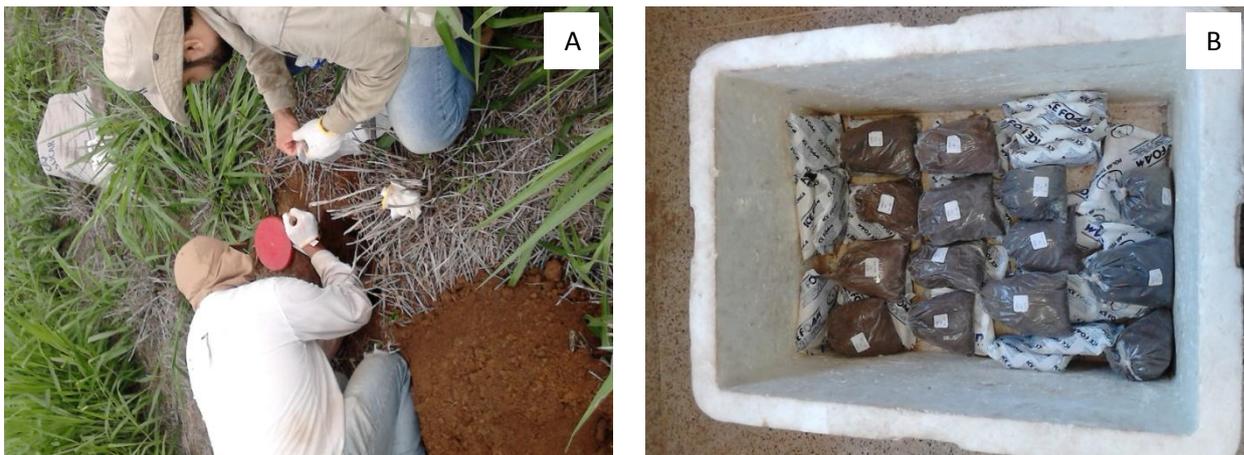


Figura 1.6. Amostragem de solo (A), e acondicionamento refrigerado das amostras, antes de chegar ao laboratório (B).

Para determinação do carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2,0 mm para a obtenção de TFSA. Em seguida, foram moídas em almofariz com bastão de porcelana e passadas em peneira com malha de 0,1 mm. O COT foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando solução de dicromato de potássio com concentração $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS; BREMNER, 1988). Na determinação do NT as amostras de solo foram submetidas à digestão sulfúrica e o N dosado por destilação Kjeldhal (BREMNER, 1996).

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana (Cmic) e respiração microbiana (Rm), as amostras foram destorroadas e passadas em peneira com malha de 2,0 mm. O Cmic foi determinado pelo método irradiação-extração. A irradiação tem como função matar e romper as células microbianas sem, entretanto, afetar a matéria orgânica não viva. Para tanto foi utilizado um forno microondas com frequência de 2.450 MHz e energia a 900 W por 180 s (ISLAM; WEIL, 1998; FERREIRA et al., 1999). A Rm, foi determinada pela quantificação de C-CO₂ produzido a partir de 75 g de solo, incubados por sete dias em sistema fechado, sendo o C-CO₂ capturado em solução de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, e determinado após titulação com HCl $0,25 \text{ mol L}^{-1}$, usando fenolftaleína 1% como indicador. Antes da titulação, foram adicionados 5 mL de BaCl₂ $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (ALEF; NANNIPIERI, 1995). Foram calculados os índices ecofisiológicos como o quociente microbiano

(q_{Mic} , a razão entre o C_{mic} e COT) e o quociente metabólico (q_{CO_2} , a razão entre a R_m e o C_{mic}) (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

A atividade enzimática total do solo foi determinada por hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) realizada segundo Chen et al. (1988), pesando-se 5 gramas de solo e adicionando 20 mL de tampão fosfato. Após a solução de diacetato de fluoresceína, a mistura foi agitada por 20 minutos a 150 rpm e então foi adicionado 20 mL de acetona a fim de interromper a reação. A solução foi então centrifugada a 4000 rpm por 10 minutos e do sobrenadante foi efetuada a leitura em espectrofotômetro a 490 nm.

Para a determinação da atividade de β -glucosidase, utilizou-se o método descrito por (EIVAZI; TABATABAI, 1988). Em 0,5 g de solo foram adicionados 2 mL de tampão MUB (pH 6,5) e 0,5 mL de solução de p -nitrofenol- β -D-glicopiranosídeo (25 mmol L^{-1}) durante 1 h a $37 \text{ }^\circ\text{C}$. Após esta reação foram adicionados 0,5 mL CaCl_2 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) e 2 mL de NaOH ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$). As amostras foram filtradas e as leituras realizadas em espectrofotômetro a 400 nm. Atividade da urease foi obtida de acordo com Kandeler e Gerber (1988), a atividade do fosfatase ácida foi determinada conforme Tabatabai e Bremner 1969.

Os resultados dos teores de C e N totais, C_{mic} , R_m , q_{Mic} , q_{CO_2} e atividade enzimática foram analisados comparando-se os diferentes sistemas de manejo do solo. Para tanto, os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p= 0,05$). Para melhor compreender as semelhanças e diferenças entre as áreas, os resultados foram ainda submetidos à análise multivariada por meio da análise de componentes principais (ACP), para se determinar as relações entre os diferentes sistemas de manejo do solo e os indicadores microbiológicos (C_{mic} , R_m , q_{Mic} , q_{CO_2} , FDA, β -glucosidase, fosfatase ácida e urease) e COT e NT. As análises foram realizadas utilizando o software SAS (SAS INSTITUTE, 2014).

3.3. Resultados e Discussão

Os teores de COT foram maiores no CEE e IPF no período seco, comparativamente ($p \leq 0,05$) aos demais sistemas de uso da terra. Enquanto que no período chuvoso, não houve diferenças entre os sistemas manejados, sendo constatadas diferenças apenas da PAS em relação ao CN (Tabela 1.2).

Tabela 1.2. Carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e os indicadores microbiológicos na camada 0-0,10 m do solo sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso.

Variáveis	Sistema de uso da terra					CV(%)	DMS
	Cerrado	PD	Pastagem	CEE	IPF		
	Período Seco						
COT (g kg ⁻¹)	21,9 ±1,5 b	23,8±4,3 b	26,9±2,8ab	31,82 ±3,06a	31,44 ±6,3 a	14,63	7,52
NT (g kg ⁻¹)	1,2± 0,1 b	2,2± 0,7 a	0,95±0,08 b	0,99±0,2 b	0,65±,02 b	29,81	0,68
Cmic (µg g ⁻¹)	432,4±23,2a	199,3±54,4c	261,7±43,8bc	302,77 ±23,9b	269,38 ±13,1b	12,24	67,92
Rm (µgCO ₂ g ⁻¹ dia ¹)	8,7±1,6 b	18,5±2,9a	20,5 ±3,26a	18,87 ±3,0a	20,57±1,4 a	14,86	4,90
qMic (%)	2,0 ±0,007 a	0,8±0,03 b	0,9 ±0,01b	0,9±0,01 b	0,8 ±0,01b	16,18	0,03
qCO ₂ (µgCO ₂ /µgCmicg ⁻¹ dia ¹)	0,02 ±0,004c	0,09 ±0,02a	0,08 ±0,01ab	0,06±0,01 b	0,07±0,008 ab	19,73	0,02
	Período chuvoso						
COT (g kg ⁻¹)	23,5 ±2,3b	26,12±3,4 ab	28,33 ±3,4a	24,06±3,3 ab	26,85±3,1ab	12,39	6,04
NT (g kg ⁻¹)	2,7 ±0,4b	2,58 ±0,2 b	3,65±0,2 a	2,85 ±0,3ab	2,9 ± 0,4ab	11,96	0,66
Cmic (µg g ⁻¹)	301,6±64,6a	169,8±11,4b	200,6±70,9bc	326,95±43,5a	282,52±52,7ab	20,65	100,18
Rm (µg CO ₂ g ⁻¹ dia ¹)	46,02 ±4,7c	48,2 ±3,2c	60,5 ±3,9a	54,26±3,5 b	60,13 ±3,47a	8,23	8,32
qMic (%)	1,20 ±02 a	0,6 ±0,01b	0,7±0,02 b	1,30 ±0,03a	1,0 ±0,01ab	22,57	0,04
qCO ₂ (µgCO ₂ /µgCmicg ⁻¹ dia ¹)	0,16±0,04 c	0,27±0,02 ab	0,32 ±0,09a	0,16 ±0,02c	0,21±0,04 bc	24,73	0,10

Médias seguidas de mesma letra na em cada período de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Cmic: carbono da biomassa microbiana; Rm: respiração microbiana; qMic: quociente microbiano; qCO₂: quociente metabólico; CN: cerrado nativo; PD: plantio direto; PAS: pastagem; CEE: cultivo exclusivo de eucalipto e IPF: integração pecuária floresta; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa.

Os maiores valores de COT, no CEE e no IPF no período seco e da PAS no período chuvoso, podem ser atribuídos ao aporte elevado de resíduos orgânicos nestes sistemas, provenientes tanto do eucalipto como das gramíneas que compõem o IPF e a PAS. As gramíneas apresentam alta produção de biomassa vegetal, e como são plantas C4 podem contribuir com maior aporte de C no solo devido à sua fisiologia (BARRETO et al., 2006). Além disso, nestes sistemas, não há revolvimento do solo, o que pode também ter contribuído para aumento dos teores de COT. Tal fato demonstra que estes sistemas, contribuem satisfatoriamente para o incremento da matéria orgânica do solo na região dos cerrados, superando inclusive os incrementos promovidos pelo CN. Estes dados divergem de resultados obtidos por Araújo et al. (2010), ao avaliarem os teores de COT, após conversão do cerrado nativo, em plantações de eucalipto com 1 e 2 anos de idade no cerrado piauiense. Os autores não verificaram diferenças nos valores de COT nos monocultivos de eucalipto com diferentes idades em relação ao cerrado nativo, e atribuíram este comportamento ao pouco tempo de implantação da floresta de eucalipto, não sendo suficiente para promover incrementos nos teores de COT, a ponto de superar o cerrado nativo.

Diante disso, os maiores valores do COT nestes sistemas de manejo são atribuídos tanto ao elevado aporte de resíduos orgânicos, como também ao longo período de tempo de implantação destes sistemas. As florestas de eucalipto, por exemplo, normalmente apresentam uma densa camada de serapilheira, como consequência da deposição contínua de resíduos vegetais durante seu ciclo, o que contribui para o aumento do COT. Wu et al. (2013), reporta que em povoamentos florestais de eucalipto, as copas das árvores e a serapilheira constituem fatores importantes na proteção da superfície do solo e que contribuem consideravelmente para a conservação da matéria orgânica, favorecendo o acúmulo de carbono ao longo tempo, principalmente nas camadas superficiais.

Stockmann et al. (2013), ressaltam que a cobertura do solo pela constante deposição da serapilheira em algumas lavouras e pastagens, em comparação com vegetação nativa, contribui para manutenção da umidade do solo e menor variação de temperatura, o que favorece o aumento dos teores de COT na camada superficial do solo.

Os teores de NT apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os sistemas de manejo do solo, sendo que o PD obteve o maior incremento em relação aos demais sistemas avaliados, no período seco. Por outro lado, no período chuvoso, foi observado diferenças da PAS, apenas em relação ao CN e ao PD (Tabela 1.2). Os maiores teores de NT no PD no período seco, podem está associados, a cultura da soja que foi implantada nesta área nos anos anteriores, uma vez que esta cultura apresenta a capacidade de relacionar-se com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico no solo, bem como pela elevada produção de biomassa vegetal da soja. Por outro lado, os menores valores neste mesmo sistema no período chuvoso, pode ser uma consequência da imobilização no nitrogênio na biomassa vegetal na cultura da soja, que na época da amostragem do solo, estava na fase de florescimento.

O CN, mostrou maiores valores para C_{mic} e q_{Mic} , no período seco. O CEE e IPF, por sua vez, apresentaram maiores ($p \leq 0,05$) concentrações em relação ao PD para o C_{mic} , enquanto que, para o q_{Mic} não houve distinção entre os demais sistemas de uso do solo. Já no período chuvoso, verificou-se que o CN, juntamente ao CEE, promoveram maior crescimento da população microbiana, refletido pelos maiores valores de C_{mic} , além de apresentar uma população com maior eficiência na utilização do carbono orgânico, representado pelos maiores valores de q_{Mic} nestes sistemas, distinguindo dos demais (Tabela 1.2).

A biomassa microbiana é um importante indicador de alterações nas propriedades microbiológicas provocadas por mudanças no manejo (Jia et al., 2005; Wong et al., 2008). O CN, mesmo apresentando os menores teores de COT em relação aos sistemas de uso do solo apresentou maior teor de C_{mic} . Este fato pode ser explicado pela maturidade da floresta, como reportado por García-Morote et al. (2012), que mesmo apresentando maior estabilidade, pode ser menos produtiva, e associada a sua elevada biomassa e elevada atividade microbiana, contribui para a decomposição da matéria orgânica mais rápida, o que pode explicar o menor teor COT no solo sob CN em relação aos sistemas de manejo com interferência antrópica.

Os maiores valores de C_{mic} e q_{Mic} , no CN, podem ser explicados com base na maior diversidade do substrato orgânico produzido e aportes destes no local, o que resulta na oferta de diversas fontes de carbono à diferentes grupos de microrganismos do solo (NDAW et al., 2009; CAMPOS et al., 2014). Colman et al. (2013), em estudo avaliando os indicadores microbiológicos de qualidade do solo em

diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, constataram tendência similar para a biomassa microbiana, onde o Cerrado apresentou maiores valores em relação aos diferentes sistemas de manejo do solo. Desta forma, os solos de vegetação nativa constituem-se em ambiente mais propício ao estabelecimento da biomassa microbiana. Por isso, esta é notavelmente reduzida quando há a retirada da vegetação nativa para implantação de lavouras. De acordo com Lourente et al. (2011), a biomassa microbiana do solo sofreu reduções de até 50%, quando a mata nativa, foi convertida em pastagem e lavouras de soja, em solo do Cerrado sul-mato-grossense.

A atividade da biomassa microbiana, expressa pela R_m e pelo qCO_2 , variou em relação aos diferentes sistemas de manejo do solo nos períodos seco e chuvoso. Todos os sistemas de manejo promoveram aumento significativo ($p \leq 0,05$) na R_m em relação ao CN, porém, não foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os mesmos, no período seco (Tabela 1.2). Observa-se também que o CN e PD obtiveram os menores valores para R_m no período chuvoso, o que significa menor liberação de CO_2 pela microbiota do solo, em relação à PAS e ao e IPF, os quais apresentaram os maiores valores de R_m . Com relação ao qCO_2 , verificou-se no PD valor elevado em relação ao CN e ao CEE, o que demonstra maior perda de carbono do solo por unidade de biomassa microbiana neste sistema, seguido da PAS e do IPF (Tabela 1.).

Embora com valores bem superiores em todos os sistemas, similarmente ao ocorrido no período seco, o qCO_2 no período chuvoso foi maior no PD e na PAS, diferindo ($p < 0,05$) do CN e do CEE.

Os menores valores de R_m e qCO_2 no CN nos dois períodos avaliados indicam que a biomassa microbiana encontra-se em equilíbrio, evidenciando, portanto, os mais eficientes índices de uso do C pela biomassa microbiana (Silva et al., 2015).

Enquanto, os maiores valores de R_m e qCO_2 nos sistemas manejados, como na PAS, no período chuvoso, podem ser consequência de algum processo de degradação que esteja ocorrendo neste sistema. Cardozo Junior et al. (2016), estudando o impacto de sistemas de pastagens em comparação com sistemas agroflorestais e mata nativa na biomassa microbiana do solo, constataram maiores valores de respiração e qCO_2 na pastagem, indicando maior atividade microbiana

neste sistema, além de mostrar que esta biomassa microbiana está submetida à algum estresse.

Os maiores valores de R_m no período chuvoso, indica que a atividade microbiana é altamente sensível às condições de umidade e temperatura do solo, as quais variam consideravelmente entre as estações, bem como com o crescimento das plantas (Vanhala, 2002). Estudos mostram maior R_m em solos com culturas plenamente estabelecidas, no período chuvoso, podendo ser resultado do estímulo à população microbiana pelo efeito rizosférico (Vargas et al., 2000; Schneider, 2007; Silva et al., 2013), o que poderia explicar os maiores R_m microbiana, no período chuvoso, sobretudo nos sistemas PAS e IPF.

Os menores valores de C_{mic} e maiores de qCO_2 no PD, podem ser atribuídos a baixa disponibilidade de substrato para os microrganismos do solo neste sistema e às condições desfavoráveis para o crescimento microbiano. Além disso, o pouco tempo de adoção deste sistema, também pode contribuir para estes resultados, haja vista que o PD em estudo encontra-se em fase de transição do plantio convencional, não havendo tempo suficiente para apresentar características de plantio direto bem consolidado, com a formação da palhada para cobertura do solo e incremento de matéria orgânica. De acordo com Bayer & Bertol, (1999) o acúmulo de MOS no PD tende a ocorrer lentamente, sendo necessários vários anos para que se mostrem tais tendências.

Situação condizente foi verificada por Lourente et al. (2011), quando avaliaram o C_{mic} e qCO_2 em plantio direto com apenas dois anos de implantação em relação ao plantio convencional, em solo no cerrado sul-mato-grossense, observaram que não houve diferenças significativas entre estes sistemas de manejo. Similarmente, Guareschi et al. (2012), avaliando plantio direto com diferentes anos de implantação, em solo no cerrado goiano, constataram menores índices de resíduos vegetais como cobertura e menores teores matéria orgânica no sistema de plantio direto com apenas três anos de implantação, quando comparados com plantio direto mais consolidados, com quinze e vinte anos de adoção.

Diversos autores relatam que geralmente a biomassa microbiana é favorecida pelo plantio direto, devido ao não revolvimento do solo, o que provê constante suprimento de C orgânico à biomassa microbiana do solo, além de favorecer a maior agregação e estabilização dos agregados, habitat da microbiota (Balota et al., 2003; Costa et al., 2006). Diante disso, fica evidente que o plantio

direto no estudo em questão, em virtude principalmente do pouco tempo de adoção, ainda não apresenta características propícias para o estabelecimento da biomassa microbiana do solo, sugerindo-se a realização de estudos posteriores nestas áreas para melhor entendimento da evolução das condições ambientais nestes sistemas ao longo tempo.

Com relação a atividade enzimática, constatou-se variações em função do uso do solo, nos dois períodos avaliados. Para a FDA, o sistema IPF apresentou maior atividade para esta enzima tanto no período seco, como no período chuvoso. Na primeira situação, o IPF, apresentou valores bem superiores, aos outros sistemas, seguidos pelo CEE, CN, PAS e PD, que apresentou o menor valor. Por outro lado, na segunda situação, o IPF, apresentou o mesmo comportamento, com valores maiores que os demais sistemas de manejo, embora não diferiu em relação a PAS (Tabela 1.3).

Tabela 1.3. Atividade enzimática na camada 0-0,10 cm do solo sob diferentes sistemas de manejo do solo, nos períodos seco e chuvoso.

Variáveis	Sistemas de uso da terra					CV(%)	DMS
	Cerrado	PD	Pastagem	CEE	IPF		
Período seco							
FDA ($\mu\text{g FDA g}^{-1}$)	27,72 \pm 2,18 b	20,73 \pm 2,2c	24,57 \pm 1,3bc	29,91 \pm 3,3 b	48,41 \pm 4,5a	9,71	5,56
Fosfatase ácida ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	197,61 \pm 19,3a b	183,05 \pm 7,7bc	174,58 \pm 6,2c	210,50 \pm 4,2a	173,34 \pm 2,4 c	5,31	18,88
β -glucosidase ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	54,49 \pm 7,1 b	65,05 \pm 5,8 b	129,81 \pm 4,6a	53,22 \pm 6,3b	142,91 \pm 10,0 a	7,89	13,30
Urease ($\mu\text{g NH}_4\text{Ng}^{-1}\text{h}^{-1}$)	476,53 \pm 43,5a	260,60 \pm 54,1b	361,05 \pm 85,3ab	354,94 \pm 66,0ab	378,42 \pm 112,6ab	20,85	44,86
Período chuvoso							
FDA ($\mu\text{g FDA g}^{-1}$)	16,12 \pm 1,6 b	6,44 \pm 2,3 c	21,24 \pm 5,4ab	15,31 \pm 1,9 b	23,30 \pm 7,4a	26,82	8,36
Fosfatase ácida ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	80,73 \pm 3,2a	83,29 \pm 4,7a	74,09 \pm 1,8b	82,15 \pm 8,5 a	81,86 \pm 8,6a	7,54	11,48
β -Glucosidase ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	101,48 \pm 13,2 a	51,04 \pm 9,4b	95,35 \pm 4,5a	42,58 \pm 4,6 b	87,01 \pm 8,7a	11,6	16,58
Urease ($\mu\text{g NH}_4\text{-Ng}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	81,82 \pm 2,4a	38,00 \pm 6,6c	42,51 \pm 11,6c	42,51 \pm 11,6c	53,77 \pm 3,8 bc	14,30	15,42

Médias seguidas de mesma letra na em cada período de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. FDA: hidrólise do diacetato de fluoresceína; CN: cerrado nativo; PD: plantio direto; PAS: pastagem; CEE: cultivo exclusivo de eucalipto e IPF: integração pecuária floresta; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa.

Os maiores valores de FDA no IPF podem está associados ao aporte de resíduos orgânicos. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Cardozo Junior et al. (2016), quando estudaram os indicadores microbiológicos do solo, em sistemas agroflorestais e pastagens em comparação a vegetação nativa. Os autores constataram maiores valores de FDA na vegetação nativa e nos sistemas agroflorestais, que foram atribuídos a maior deposição de resíduos orgânicos e conseqüentemente maiores teores de matéria orgânica. Corroborando estes resultados, Silva et al. (2015) estudando a atividade enzimática do solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos, observaram valores superiores de FDA na área que recebeu dejetos suínos a 14 anos em relação à vegetação nativa e a área que recebe os dejetos suínos apenas dois anos. Segundo Bending et al. (2002), a atividade da maioria das enzimas aumenta à medida que aumenta a matéria orgânica do solo.

Para a Fosfatase ácida, o CEE e o CN, foram estatisticamente superiores aos demais sistemas, sendo que a PAS e o IPF obtiveram os menores valores no período seco. Diferentemente, no período chuvoso somente a PAS diferiu dos demais sistemas. Relacionando os dois períodos avaliados, observou-se que os valores desta enzima no período seco foram bem maiores aos obtidos no período chuvoso (Tabela 1.3). Os maiores valores de fosfatase ácida encontrados no CEE e no CN, podem estar associados à alta eficiência do eucalipto na utilização de nutrientes do solo, o que pode ter levado a uma redução nos teores de P disponível, estimulando a atividade da fosfatase ácida (Shen et al., 2001), e à baixa disponibilidade de P no solo no CN (Trannin et al., 2007). De acordo com Singh et al. (2016), a atividade da fosfatase pode ser dependente da disponibilidade de P nos solos. Allison et al. (2011) e Balota et al. (2014a) relatam também que quando o P é limitado ou indisponível no solo há um aumento na atividade de fosfatase, promovendo a disponibilidade de P inorgânico no solo.

Portanto, com os resultados do presente estudo e de estudos anteriores, sugere-se que a fosfatase é produzida quando o teor de P disponível reduz à níveis críticos para as plantas e crescimento microbiano, evidenciando a importância destas enzimas para o fornecimento de P às plantas no cerrado nativo (Balota et al, 2014b). Os menores valores da fosfatase ácida no período chuvoso podem ser

atribuídos à maior disponibilidade do fósforo no solo neste período, promovidos pela presença de umidade. Singh et al. (2016), relatam que há uma forte correlação entre a atividade da fosfatase e os teores de P disponível no solo e que normalmente esta enzima tem sua atividade estimulada quando os níveis de P no solo são baixos.

Semelhante ao observado para as atividades de FDA e Fosfatase ácida, o IPF também conferiu maiores valores para a β -glucosidase. No período seco, junto com a PAS e no período chuvoso junto com a PAS e CN, o IPF, promoveu maior atividade da β -glucosidase, superando os demais sistemas (Tabela 1.3). Os maiores valores de β -glucosidase na PAS e no IPF, podem está associados aos maiores valores de COT, observados nestes sistemas. De acordo com Baldrian et al. (2013), quanto maior os teores de COT, maiores serão valores da enzima β -glucosidase. Corroborando, Silva et al. (2012) observaram correlação positiva entre a β -glicosidase e os teores de COT.

Além disso, estes valores podem ter forte relação com a presença das gramíneas que compõem estes sistemas. Cunha et al. (2010), relatam que as gramíneas, apresentam um sistema radicular denso, formado na grande maioria por raízes finas de rápida decomposição, o que aumenta os níveis de carbono no solo, estimulando assim atividade da β -glucosidase.

Outros estudos também mostram certa afinidade das gramíneas com a atividade da β -glucosidase. Matsuoka et al. (2003), estudando a biomassa microbiana e a atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região do cerrado mato-grossense, obtiveram maiores valores de β -glucosidase em parreirais utilizando o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), como cobertura viva nas entrelinhas. Os autores atribuíram este comportamento ao efeito rizosférico da gramínea e à maior entrada de C prontamente mineralizável em relação aos demais sistemas.

Jakelaitis et al. (2008), constataram que os valores da β -glucosidase no sistema de pastagem *Braquiária brizantha* em consórcio com o milho, foram o dobro em relação ao valores obtidos no plantio direto. Adicionalmente, Silva et al. (2013), observaram maiores valores de β -glucosidase em pastagem de *Braquiária decumbens* quando comparados com sistemas de cultivo convencional.

Com relação à urease, constatou-se que o CN, mesmo com valor superior, não diferiu dos sistemas PAS, CEE e IPF, sendo observada significância apenas, em relação ao PD no período seco. Da mesma forma, no período chuvoso o CN e

CEE foram acompanhados dos maiores valores da atividade desta enzima (Tabela 1.3). Foram constatados maiores valores da atividade da urease no CN, semelhante ao ocorrido em outros trabalhos (Matsuoka, 2003; Silva et al., 2015) e menores no PD. Uma possível explicação para este comportamento é que nas áreas de CN há grande quantidade de espécies vegetais, e conseqüentemente maior sistema radicular quando comparado com sistemas agrícolas, o que aumenta a rizosfera estimulando a atividade dos microrganismos nestes locais. Além disso, há um aporte permanente de resíduos orgânicos em relação a áreas cultivadas (Silveira et al, 2007). Da mesma forma que a β -glucosidase, a urease também apresenta correlação com os valores de COT (Zornoza et al., 2006), indicando que a matéria orgânica possa proteger esta enzima contra ação de enzimas proteolíticas naturalmente presentes no solo, mantendo o potencial de atividade da urease (Silveira, 2007). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Cardozo Junior et al. (2016), quando estudaram os indicadores microbiológicos do solo, em sistemas agroflorestais e pastagens em comparação a mata nativa, constataram maiores valores de urease na mata nativa. Por outro lado os menores valores de urease no PD podem está associados, os maiores teores de NT neste sistema, fixados biologicamente da atmosfera pelas bactérias do gênero *Rhizóbium*, em associação a cultura da soja, presente neste sistema. Além disso, a baixa relação C/N dos resíduos orgânicos provenientes da cultura da soja, também podem ter contribuídos para os menores valores desta enzima no PD. Lanna et al. (2010), constataram menores valores da urease em plantio direto utilizando leguminosas como cobertura, em comparação com a cobertura de gramíneas, sendo tal resultado atribuído ao baixa relação C/N resíduos em cobertura das leguminosas.

Os menores valores da urease no período chuvoso podem está relacionados ao aumento da disponibilidade do nitrogênio, em decorrência da melhoria da condição hídrica do solo neste período. Desta forma a urease não tem sua atividade estimulada, pois o nitrogênio está prontamente disponível às plantas e aos microrganismos.

Pela análise multivariada de componentes principais, verificou-se que os dois primeiros componentes formados, explicaram 76,5% da variabilidade apresentada pelos dados do período seco (Tabela 1.4). O componente principal 1 (CP1) apresentou 50,2% da variabilidade total dos indicadores microbiológicos do solo e melhor correlacionou-se positivamente com C_{mic} , q_{Mic} e Fosfatase ácida, de

forma negativa com a Rm, qCO_2 , β -Glucosidase e COT. Enquanto o componente principal 2 (CP2), que explica uma menor variância dos indicadores microbiológicos do solo (26,3%), correlacionou-se com o NT positivamente e com a FDA e Urease negativamente (Tabela 1.4 e Figura 1.7a).

Tabela 1.4. Correlação entre variáveis e componentes principais dos atributos do solo para os períodos seco e chuvoso.

Variáveis	Períodos			
	Seco		Chuvoso	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Cmic	0,86	-0,35	0,84	0,44
Rm	-0,90	-0,04	-0,32	0,63
COT	-0,54	-0,45	-0,51	0,41
$qMic$	0,94	-0,08	0,92	0,21
qCO_2	-0,91	0,29	-0,91	-0,12
FDA	-0,22	-0,79	0,74	0,89
Fosfatase ácida	0,50	0,13	0,25	-0,58
β -glucosidase	-0,61	-0,55	-0,03	0,55
Urease	0,47	-0,58	0,80	0,17
NT	0,07	0,86	-0,42	0,71
Variância total	50,20	26,3	54,7	27,3
Variância acumulada	50,20	76,5	54,7	82,0

CP: componente principal; Cmic: carbono da biomassa microbiana; Rm: respiração microbiana; COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; $qMic$: quociente microbiano; qCO_2 : quociente metabólico; FDA: hidrólise do diacetato de fluoresceína;

Observou-se uma distinção entre os sistemas de uso do solo, promovidas pelas correlações entre os indicadores microbiológicos. O CN ficou nitidamente afastado dos sistemas cultivados, sendo o principal responsável por este isolamento o CP1, influenciado pela Fosfatase ácida, Cmic e $qMic$. Adicionalmente, verifica-se que CP2 promoveu uma separação do IPF dos outros sistemas de usos do solo, como também a distinção do PD dos demais sistemas. Além disso, houve uma semelhança entre os sistemas PAS e CEE (Figura 1.7b).

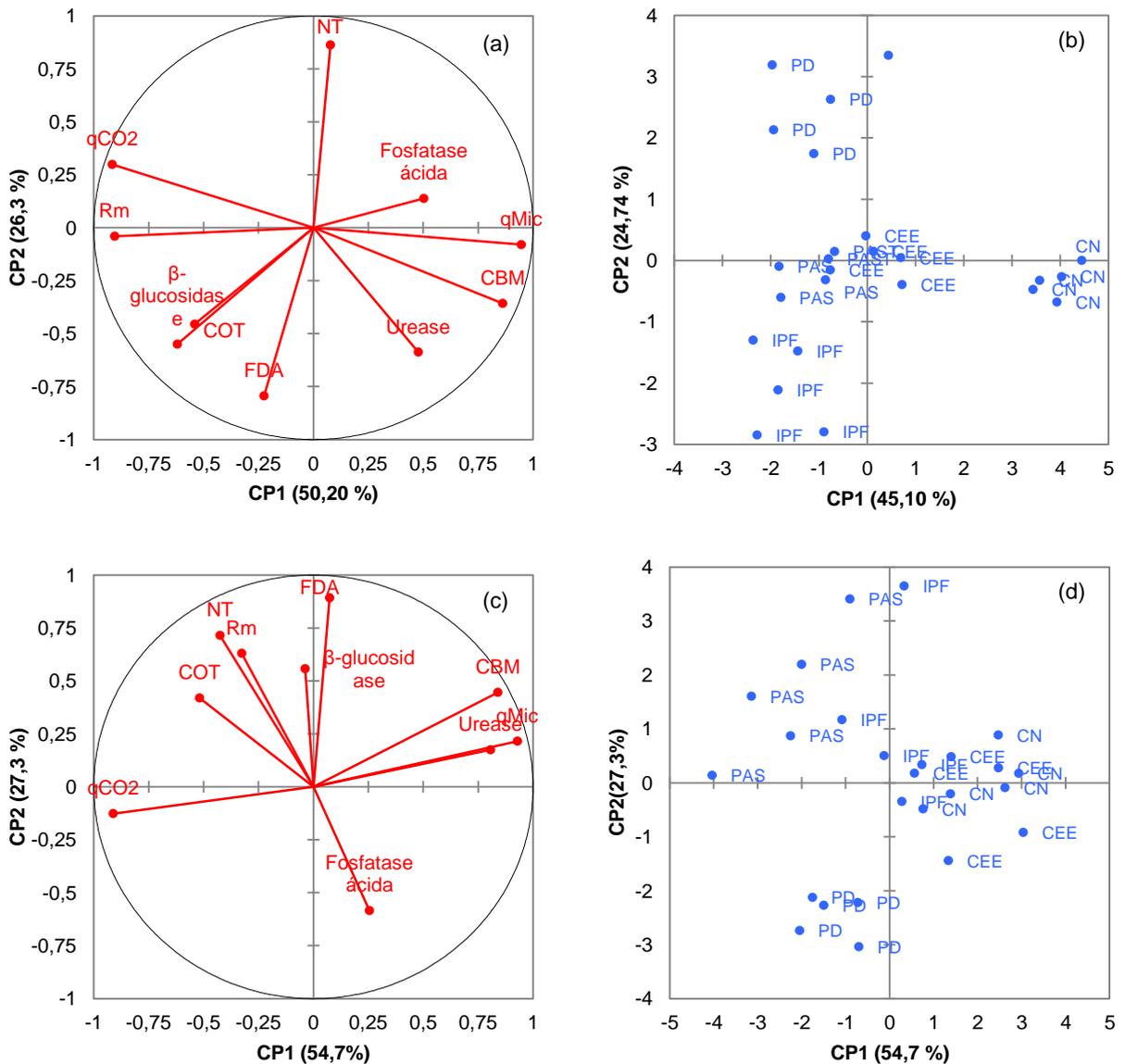


Figura 1.7. Diagrama de projeção dos vetores dos atributos microbiológicos durante os períodos seco (a) e chuvoso (c) e diagrama de ordenação dos componentes principais para os diferentes sistemas de manejo do solo, durante os períodos seco (b) e chuvoso (d). CN: cerrado nativo; PD: plantio direto; PAS: pastagem; CEE: cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: integração-pecuária-floresta.

No período chuvoso, constatou-se que os dois componentes principais formados explicaram 82% da variabilidade dos dados como observado na Tabela 1.4 e Figura 1.7c. O CP1, com 54,7% da variação dos dados, teve grande contribuição do Cmic, qMic, e Urease no quadrante positivo, e COT e qCO₂ no quadrante negativo. Já o CP2, com 27,3% da variabilidade dos dados, foi formado pela FDA, NT, no quadrante positivo e a Fosfatase ácida no quadrante negativo. Constatou-se uma semelhança entre os sistemas de CEE e CN, onde CP1 apresentou maior contribuição, formado pelas variáveis, Cmic, qMic e Urease, na

parte positiva (Figura 1.7d). Percebeu-se ainda que o CP1, representado pela COT, no quadrante negativo, promoveu uma distinção da pastagem dos demais sistemas. Verificou-se também o isolamento do PD influenciado pelo qCO_2 , no CP1. Neste período avaliado observou-se que o IPF apresentou uma condição intermediária entre os sistemas CN e PAS.

A análise multivariada demonstra que os indicadores microbiológicos do solo apresentaram comportamentos distintos entre os sistemas de uso do solo estudados, promovendo separações entre os mesmos nos dois períodos avaliados. O isolamento do CN, observado no período seco, foi determinado pela elevada biomassa microbiana e atividade das enzimas urease e fosfatase ácida. Esse fato pode estar relacionado às maiores taxas de deposição de material vegetal por esse sistema, promovendo incorporação de matéria orgânica no solo, o que pode refletir em maior atividade biológica, representada neste trabalho pela biomassa microbiana (C_{mic} , qCO_2 , $qMIC$) e pelas enzimas (fosfatase ácida, e urease).

Este cenário mostra que a transição de CN para áreas agrícolas, provoca alterações nos indicadores microbiológicos do solo, como reportado em outros trabalhos (Leite et al., 2010; Lourente et al., 2011; Lisboa et al., 2012; Araujo et al., 2016); e que estas alterações ainda são percebidas vários anos após a perturbação, indicando que mesmo com a adoção de sistemas conservacionistas ainda não foi possível o reestabelecimento da biomassa microbiana do solo.

Por outro lado, os sistemas IPF e CEE no período seco com os maiores teores de COT, mostram que estes sistemas apresentam características de sistemas conservacionistas, pois são beneficiados pelo não revolvimento do solo e pela reduzida erosão hídrica, proporcionada pela maior cobertura do solo advinda da serapilheira do eucalipto (Cunha et al., 2012; Silva et al., 2013) contribuindo desta forma para o sequestro de C no solo, superando inclusive as taxas de acúmulo do CN.

Aproximação dos sistemas CN, IPF e CEE no período chuvoso, influenciada pelas variáveis C_{mic} , $qMic$, Fosfatase ácida e Urease, se deve à uma maior semelhança da atividade da biomassa microbiana promovida pela melhoria da umidade do solo, situação bem divergente da observada no período seco. Nestes sistemas, a serapilheira é composta por resíduos vegetais mais lignificados, apresentando maior relação C/N, como folhas, ramos e cascas, que normalmente, decompõem-se mais lentamente. Com isso há permanência de serapilheira em

cobertura durante ano inteiro, inclusive na época chuvosa, o que não ocorre nos outros sistemas, como PAS e PD. Desta forma, a presença de cobertura morta associada ao aumento da umidade do solo promove maior atividade microbológica no CN e similarmente no IPF e CEE.

O afastamento do PD dos demais sistemas com contribuição dos valores elevados do qCO_2 , nos dois períodos avaliados, demonstra que neste sistema a biomassa microbiana foi consideravelmente alterada pela perturbação do solo com retirada da vegetação nativa. Vale ressaltar que o PD no presente trabalho encontra-se fase transição do plantio convencional, não havendo ainda característica de um plantio direto bem estabelecido.

3.4. Conclusões

Sistemas de PD com curto período de estabelecimento não promovem incrementos na matéria orgânica e na biomassa microbiana, certamente como consequência das alterações no solo provocadas pelo sistema convencional praticado nos anos anteriores.

Os sistemas de manejo IPF e CEE proporcionam aumento nos teores de COT e favorece a biomassa microbiana, por proporcionar condições edáficas mais favoráveis a população microbiana.

Os sistemas de manejo do solo IPF e Pastagem favorecem a atividade das enzimas FDA, β -glucosidase e Urease.

Referências

- ALBALADEJO, J.; ORTIZ, R.; GARCIA-FRANCO, N.; NAVARRO, A. R.; ALMAGRO, M.; PINTADO, J.G. & MARTÍNEZ-MENA, M. Land use and climate change impacts on soil organic carbon stocks in semi-arid Spain. *Journal of Soil and Sediments* v.13, p.265–277, 2013.
- ALEF, K. & NANNIPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, 1995, 576p.
- ALLISON, S. D.; WEINTRAUB, M. N.; GARTNER, T. B. & WALDROP, M. P. Evolutionary economic principles as regulators of soil enzyme production and ecosystem function. In *Soil Enzymology*, SHUKLA, G.; VARMA, A. (eds). Springer: Berlin, Germany, p.229–243., 2011.
- ANDERSON, T. H. & DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v.25, p. 393-395, 1993.
- 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 Biology*, v.77, n.1, p.16-21, 2016.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L. & LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v.5, p.187-206, 2012.
- ARAÚJO, A. S. F.; SILVA, E. F. L.; NUNES, L. A. P. L. & CARNEIRO, R. F.V. Effect of converting native savanna to *Eucalyptus grandis* forest on soil microbial biomass. *Land Degradation & Development*, v.21, p.540–545, 2010.
- ASSMANN, A. L.; SOARES, A. B. & ASSMANN, T. S. *Integração lavoura pecuária para agricultura familiar*. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 2010.
- BALDRIAN, P.; SNAJDR, J.; MERHAUTOVA, V.; DOBIASOVA, P.; CAJTHAML, T. & VALASKOVA, V. Responses of the extracellular enzyme activities in hardwood forest to soil temperature and seasonality and the potential effects of climate change. *Soil Biology and Biochemistry*, v.56, p. 60-68, 2013.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S. & COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. *Scientia Total Environment*, v.490, p.397-404, 2014a.
- BALOTA, E.L.; YADA, I.F.; AMARAL, H.; NAKATANI, A.S.; DICK, R.P.; COYNE, M.S. Long-term land use influences soil microbial biomass P and S, phosphatase and arylsulfatase activities, and S mineralization in a Brazilian Oxisol. *Land Degradation & Development*, v.25, p.397-406, 2014b.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. A. & DICK, R. P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. *Biology and Fertility of Soils*, v.38, p.15–20, 2003.

BANDICK, A. K. & DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology & Biochemistry*, v.31, p.1471-1479, 1999.

BENDING, G. D.; TURNER, M. K. & JONES, J. E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. *Soil Biology & Biochemistry*, v.34, p.1073–1082, 2002.

BREMNER, J. M. Nitrogen Total. In: SPARKS, D. L. *Methods of Soil Analysis: Part 3*. Madison, SSA Book Series, v.5, p.1085-1121, 1996.

CAMPOS, A. C.; ETCHEVERS, J. B.; OLESCHKO, K. L. & HIDALGO, C. M. Soil microbial biomass and nitrogen mineralization rates along an altitudinal gradient on the cofre de perote volcano (Mexico): the importance of landscape position and land use. *Land Degradation & Development*, v.25, p.581–593, 2014.

CAMPOS FILHO, R. P. Um olhar geopolítico sobre a água no cerrado: apontamentos para uma preocupação estratégica. In: PELÁ, M.; CASTILHO, D. (org.). *Cerrados: perspectivas e olhares*. Goiânia: Editora Vieira, 2010.

CARDOZO JUNIOR, F. M.; CARNEIRO, R. F. V.; ROCHA, S. M. B.; NUNES, L. A. P. L.; SANTOS, V. M.; FEITOSZA, L. L. & ARAÚJO, A. S. F. The impact of pasture systems on soil microbial biomass and community-level physiological profiles. *Land Degradation & Development*, v.14, 2016.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. & CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.277-289, 2010.

CHEN, W. D.; HOITINK, H. A.; SCHMITTHENNER, A. F. & TUOVINEN, O. H. The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, v.78, n.3, p.314-322, 1988.

CLIMATE-DATA, Disponível em <<http://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: 30 nov. 2014.

COUTO, R. R.; COMIN, J. J.; SOARES, C. R. F. S.; BELLI FILHO, P.; BENEDET, L.; MORAES, M. P.; BRUNETTO, G. & BEBER, C. L. Microbiological and chemical attributes of a Hapludalf soil with swine manure fertilization. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, p.774-82, 2013.

EIVAZI, F. & TABATABAI, M. A. Phosphatases in soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 9, p.167–177, 1988.

FERREIRA, A. S. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.6, p.991-996, 1999.

GARCÍA-MOROTE, F. A.; LÓPEZ-SERRANO, F. R.; ANDRÉS, M.; MARTÍNEZ-GARCÍA, E.; LUCAS-BORJA, M.; DADI, T.; CANDEL, D. & WIC, C. Effects of

woodland maturity, vegetation cover and season on enzymatic and microbial activity in thermophilic Spanish Juniper woodlands (*Juniperus thurifera* L.) of southern Spain. *European Journal of Soil Science* v. 63, p.579–591, 2012.

GATIBONI, L. C.; COIMBRA, J. L. M.; DENARDIN, R. B. N. & WILDNER, L. P. Microbial biomass and soil fauna during the decomposition of cover crops in no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v.35, p.1151-1157, 2011.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G. & PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.909-920, 2012.

HU, W.; JIAO, Z.; WU, F.; LIU, Y.; DONG, M.; MA, X.; FAN, T.; AN, L.; FENG, H. Long-term effects of fertilizer on soil enzymatic activity of wheat field soil in Loess Plateau, China. *Ecotoxicology*, v.23, p.2069-80, 2014.

IBIAPINA, T. V. B.; SALVIANO, A. A. C.; NUNES, L. A. P. L.; MOUSINHO, F. E. P.; LIMA, M. G. & SOARES, L. M. S. Resistência à penetração e agregação de um Latossolo amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. *Científica*, v.42, n.4, p.411-418, 2014.

IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em www.ibge.gov.br.

ISLAM, K. R. & WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology and Fertility of Soils*, v.27, p.408-416, 1998.

JIA, G. M.; CAO, J.; WANG, G. Influence of land management on soil nutrients and microbial biomass in the central Loess Plateau, Northwest China. *Land Degradation & Development*, v.16, p.455–462, 2005.

KANDELER, E. & GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and Fertility of Soils* v.6, p.68-72, 1988.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M. ; SILVA, M. B.; FERRARESI, T. M. & KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1933-1939, 2010.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S. & IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.1273–1280, 2010.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F. & SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.45-55, 2012.

LOPES M. M.; SALVIANO, A. A. C.; ARAUJO, A. S. F.; NUNES L. A. P. L. & OLIVEIRA, M. E. Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v.8, p.1253–1259, 2010.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI A. M. T., GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S. e NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. Goiânia, v.41, n.1, p.20-28, 2011.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C. & LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste-MT. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.425-433, 2003.

MACHADO, P. L. O. A. & SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.61, p.119-130, 2001.

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.

NDAW, S. N.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; SALES, K. R. N. & ROSADO, A. S. Relationships between bacterial diversity, microbial biomass, and litter quality in soils under different plant covers in northern Rio de Janeiro State, Brazil. *Canadian Journal of Microbiology*, v.55, p.1089–1095, 2009.

PACHECO, L. P.; SOUSA, M. M.; SILVA, R. F.; SOARES, L. S.; FONSECA, W. L.; NÓBREGA, J. C. A. & OSAJIMA, J. A. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura no cerrado piauiense. *Bragantia*, v.72, n.3, p. 237-246, 2013.

PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Carbon cycling and soil organic matter. In: PAUL, E. A. & CLARK, F. E. (Ed.). *Soil microbiology and Biochemistry*. Academic, p.130-155, 1996.

RAIESI, F. & BEHESHTI, A. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. *Ecological Indicators*, v.50, p.173-185, 2015.

SAS INSTITUTE. SAS® 9.2 Software.Carey, 2014. Disponível: <http://suport.sas.com/software/92>. < Acesso: 4/02/2014.>

SANTOS, V. B.; LEITE L. F. C.; NUNES, L. A. P. L.,; MELO, W. J. Soil microbial biomass and organic matter fractions during transition from conventional to organic farming systems. *Geoderma*, v.170, p.227–231, 2012.

SILVA, F. G. D. & BUENO, M. A. Os territórios cerradeiros nas aulas de geografia: análise da abordagem do conceito de cerrado no currículo referência da rede

estadual de educação de Goiás. Revista Brasileira de Educação em Geografia, Campinas, v.5, n.10, p.193-211, 2015.

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. O.; SILVA, D. A. A.; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. & SILVA, B. R. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, p.1585-1594, 2015.

SILVEIRA, A. O. Atividades enzimáticas como indicadoras de qualidade de solos agrícolas no Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-RS, 2007, p.94.

SINGH, K. Microbial and enzyme activities of saline and sodic soils. Land Degradation & Development, v.27, p.706–718, 2016.

SNIF- Serviço Nacional de Informações Florestais. Recursos Florestais: os biomas e suas florestas. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif>. < Acesso: 03/11/2016>.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M. A.; CRAWFORD, J. W.; FIELD, D.J; HENAKAARCHCHI, N.; JENKINS, M.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; COURCELLES, V.R.; SINGH, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D.A.; BALDOCK, J.; BIRD, M.; BROOKES, P. C.; CHENU, C.; JASTROW, J.D.; LAL, R.; LEHMANN, M.J.; O'DONNELL, A.G.; PARTON, W. J.; WHITEHEAD, D.; ZIMMERMANN, M. The known and unknowns of sequestration of soil organic carbon. Agriculture, Ecosystems & Environment, v.164, p.80–99, 2013.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (eds) Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America, Madison, p.775–833, 1994.

TABATABAI, M. A. & BREMNER, J. M. Use of *p*-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology & Biochemistry, v.1, p.301-307, 1969.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA J. O. & MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biofósforo industrial e cultivo de milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1173-84, 2007.

WANG, B.; XUE, S.; LIU, G. B.; ZHANG, G. H.; LI, G. & REN, Z. P. Changes in soil nutrient and enzyme activities under different vegetations in the Loess Plateau area, Northwest China. Catena, v.92, p.186–195, 2012.

WONG, V. N. L.; GREENE, R. S. B.; DALAL, R. C. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. Biology & Fertility of Soils, v.44, p.943–953, 2008.

WU, J. P.; LIU, Z. F.; SUN, Y. X.; ZHOU, L. X.; LIN, Y. B.; & FU, S. L. Introduced eucalyptus urophylla plantations change the composition of the soil microbial

community in subtropical China. *Land Degradation & Development*, v.24, p.400–406, 2013.

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

ZORNOZA, R.; GUERREIRO, C; MATAIX-SOLERA, J.; ARCENEGUI, V.; GARCIA-ORENES, F.; MATAIX-BENEYTO, J. Assessing air-drying and rewetting pre-treatment effect on some soil enzyme activities under Mediterranean conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 38, p. 2125-2134, 2006.

4. CAPÍTULO II

SISTEMAS INTEGRADOS COM EUCALIPTO PROMOVEM FAUNA EPÍGEA NO CERRADO PIAUIENSE?

Resumo

A fauna epígea exerce primordial função para a manutenção da qualidade do solo, pois promovem a redistribuição de nutrientes e de matéria orgânica, por meio de suas atividades biodinâmicas, e participam diretamente do equilíbrio do ecossistema, ao ocupar níveis tróficos da cadeia alimentar. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo a fauna epígea invertebrada em um Latossolo Amarelo do cerrado piauiense. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Chapada Grande em Regeneração-PI, onde foram selecionados quatro sistemas de manejo do solo: Plantio direto (PD); Pastagem; Cultivo exclusivo de eucalipto (CEE) e Integração Pecuária-floresta (IPF), além de uma área de cerrado nativo como referência. Para avaliação da fauna epígea, realizou-se uma coleta dos organismos em fevereiro de 2017, por meio de armadilhas do tipo “*Pitfall*”. Após a identificação dos organismos calculou-se do número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹; a riqueza total (S); e os índices de Shannon-Weaner: (H) e equitabilidade de Pielou: (e) e os organismos também foram divididos em grupos funcionais. Os grupos Coleoptera e Formicidae, estiveram presentes em maiores proporções em todos os sistemas de uso do solo, com exceção apenas do CEE. O número de indivíduos por armadilha por dia e a riqueza foram superiores no Cerrado, seguido da Pastagem e menor no PD. Em relação ao índice de diversidade Shannon e equitabilidade de Pielou, o Cerrado e o IPF, apresentaram os maiores valores, e o CEE e o PD os menores. Os sistemas de manejo Pastagem, CEE e IPF favorecem os índices ecológicos e as riquezas média e total da fauna edáfica. A fauna epígea invertebrada é substancialmente alterada pelas práticas de manejo adotadas no sistema PD, com reduções drásticas na densidade e a diversidade dos organismos edáficos. O Cerrado e o sistema de manejo CEE proporcionam condições ambientais favoráveis a diversos grupos da fauna epígea invertebrada.

Palavras-chave: indicador biológico; integração pecuária-floresta; collembola

Abstract

The edaphic macrofauna exerts a primordial function for the maintenance of soil quality, as they promote the redistribution of nutrients and organic matter, through their biodynamic activities, and participate directly in the equilibrium of the ecosystem, by occupying trophic levels of the food chain. The objective of this work was to evaluate the effects of different soil management systems on the invertebrate edaphic macrofauna in a Yellow Latosol of the cerrado Piauí. The work was developed at the Chapada Grande Farm in Regeneração-PI, where four soil management systems were selected: Direct planting (PD); Pasture; Exclusive cultivation of eucalyptus (CEE) and Integração Livestock-forest (IPF), in addition to an area of native cerrado as reference. In order to evaluate the edaphic macrofauna, a collection of the organisms was carried out in February 2017, by Pitfall traps. After identification of the organisms, the number of trap-1-day-1 individuals was calculated; The ecological indexes of total wealth (S); Average wealth; Shannon-Weaner: (H) and Pielou equitability: (e) and organisms were also divided into functional groups. The Coleoptera and Formicidae groups were present in greater proportions in all land use systems except for the CEE. The number of individuals per trap per day and the richness were higher in the Cerrado, followed by Pasture and lower in the PD. In relation to the Shannon diversity index and Pielou equitability, the Cerrado and IPF presented the highest values, and the EWC and the PD were the lowest. Pasture, EEC and IPF management systems favor ecological indexes and the average and total richness of the edaphic fauna. The edaphic fauna is substantially altered by the management practices adopted in the PD system, with drastic reductions in density and diversity of soil organisms. The Cerrado and the EEC management system provide favorable environmental conditions for various groups of edaphic fauna.

Key-words: biological indicator; Forest-livestock integration; collembola

4.1. Introdução

O uso solo nesta região do Cerrado, normalmente ocorre de forma intensiva, com o seu revolvimento e o uso contínuo de corretivos, fertilizantes e agroquímicos. Tais práticas provocam severas alterações nas propriedades do solo (BRAZ et al., 2013; HEDDE et al., 2015), o que pode comprometer a sustentabilidade deste ecossistema, devido principalmente a deterioração do componente biológico do solo, como a fauna invertebrada do solo (BARTZ et al., 2014).

A fauna do solo compreende diferentes grupos de organismos invertebrados que passam algumas fases de desenvolvimento no solo ou na serapilheira (AQUINO et al., 2006), como centopeias, cupins, formigas, entre outros (LAVELLE; SPAIN, 2001). Os diferentes grupos de indivíduos edáficos são de fundamental importância para a manutenção da qualidade do solo, pois participam de importantes processos ecológicos desempenhando diversas funções ambientais, promovendo a fragmentação de resíduos orgânicos, decomposição da matéria orgânica, ciclagem e redistribuição de nutrientes, por meio de suas atividades biodinâmicas, e participam diretamente do equilíbrio ecológico dos ecossistemas terrestres, ao ocupar níveis tróficos da cadeia alimentar (LAVELLE; SPAIN, 2001; BARETTA et al., 2014).

Além de sua função ecológica, estes organismos, podem ser importantes bioindicadores de qualidade do solo, visto que são bastante sensíveis aos impactos dos diferentes sistemas de uso do solo, o que possibilita o seu uso como instrumento na determinação de opções de sistemas de manejo sustentáveis na agropecuária (SANTOS et al., 2016).

Apesar da realização de alguns estudos ressaltando a importância destes invertebrados para a manutenção da qualidade do solo e do ambiente no bioma Cerrado, as informações sobre os organismos edáficos em áreas antropizadas ainda são poucas (BROWN et al., 2015), sobretudo em estudos envolvendo os sistemas de produção com a utilização do eucalipto, tanto em monocultivo, como em sistemas integrados, como a integração-pecuária-floresta. Santos et al. (2016), avaliando a fauna edáfica em diferentes sistemas de manejo no cerrado piauiense, constataram que o plantio direto proporcionou maior abundância e riqueza de famílias que o preparo convencional do solo, e sendo recomendado como um sistema de produção conservacionista. Nunes et al. (2012), avaliando a fauna edáfica em diferentes sistemas de manejo do solo para a produção de forrageiras,

concluíram que os sistemas de manejo adotados com capim-Tifton, capim-Tanzania e Leucena, favoreceram a presença de um grande número de indivíduos e riqueza de espécies da fauna edáfica.

Neste sentido a realização de novos estudos para melhor compreensão do comportamento da fauna epígea tornam-se imprescindíveis. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar a comunidade da fauna epígea sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Amarelo do cerrado piauiense.

4.2. Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Chapada Grande, localizada no município de Regeneração – PI (06°21'03" S, 42°28'79" O), com altitude média de 374 metros acima do nível do mar. O clima da região é classificado segundo Köppen como Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média é 26,4 °C e a pluviosidade média anual é 1371 mm (CLIMATE-DATA, 2014). O solo foi classificado como LATOSSOLO Amarelo Distrófico (IBIAPINA et al., 2014). A caracterização química das áreas selecionadas para a execução deste trabalho está na Tabela 1.1. Para a realização do estudo foram utilizadas quatro sistemas de manejo do solo: Plantio direto (PD); Pastagem; Cultivo exclusivo de eucalipto (CEE) e Integração Pecuária-floresta (IPF), além de uma área de Cerrado como referência, conforme mostra a tabela 2.1.

Tabela 2.1. Histórico dos diferentes usos do solo, na Fazenda Grande, Regeneração-PI

Uso do solo	Histórico
Cerrado	Composto de vegetação herbácea, arbustiva, arbórea e cipós típicos do cerrado, com destaque para árvores com sistemas radiculares desenvolvidos e caules tortuosos.
PD	A área foi desmatada em 2010, cultivado com soja em sistema convencional, até 2012. Em 2013, foi adotado o plantio direto, com cultivo de soja em rotação com milho.
Pastagem	Implantada em 2010, com a espécie Braquiária brizanta cv. Murundu, a pastagem é submetida a pastejo rotativo com bovinos na lotação de 1UA ha ⁻¹ ano ⁻¹ por 15 dias. Adubações de manutenção são efetuadas a cada seis meses com 150 kg há ⁻¹ de NPK.
CEE	O plantio foi realizado em 2008, com espaçamento de 3 x 2 m, utilizando clones MA-2000. Foi aplicado 2 t ha ⁻¹ de calcário dolomítico, e 150 kg ha ⁻¹ de NPK (06-30-06) na fundação e 110 kg ha ⁻¹ de NPK (22-00-22), em cobertura nos primeiros anos. Neste sistema há uma densa camada de serapilheira.
IPF	Formado pelo consórcio de eucalipto com Braquiaria. O plantio foi realizado em 2012, com espaçamento de 2 m entre plantas na

renques de fileiras triplas e cerca de 30 m entre renques, utilizando clones MA-2000. Foi aplicado 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, e 150 kg ha⁻¹ de NPK (06-30-06) na fundação e 110 kg ha⁻¹ de NPK (22-00-22), em cobertura nos primeiros anos.

PD: plantio direto; CEE: cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: integração-pecuária-floresta

A coleta da fauna epígea do solo foi realizada em fevereiro de 2017. 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), como mostrado na figura 2.1. Estas armadilhas foram constituídas por recipientes plásticos de 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro, que foram enterradas no solo, com a borda ao nível da superfície. Foram instaladas sete armadilhas por sistema de manejo, cada uma representando uma repetição. Em cada uma, foram adicionados 200 ml de uma solução conservante de formol a 4%, para evitar a deterioração dos insetos.

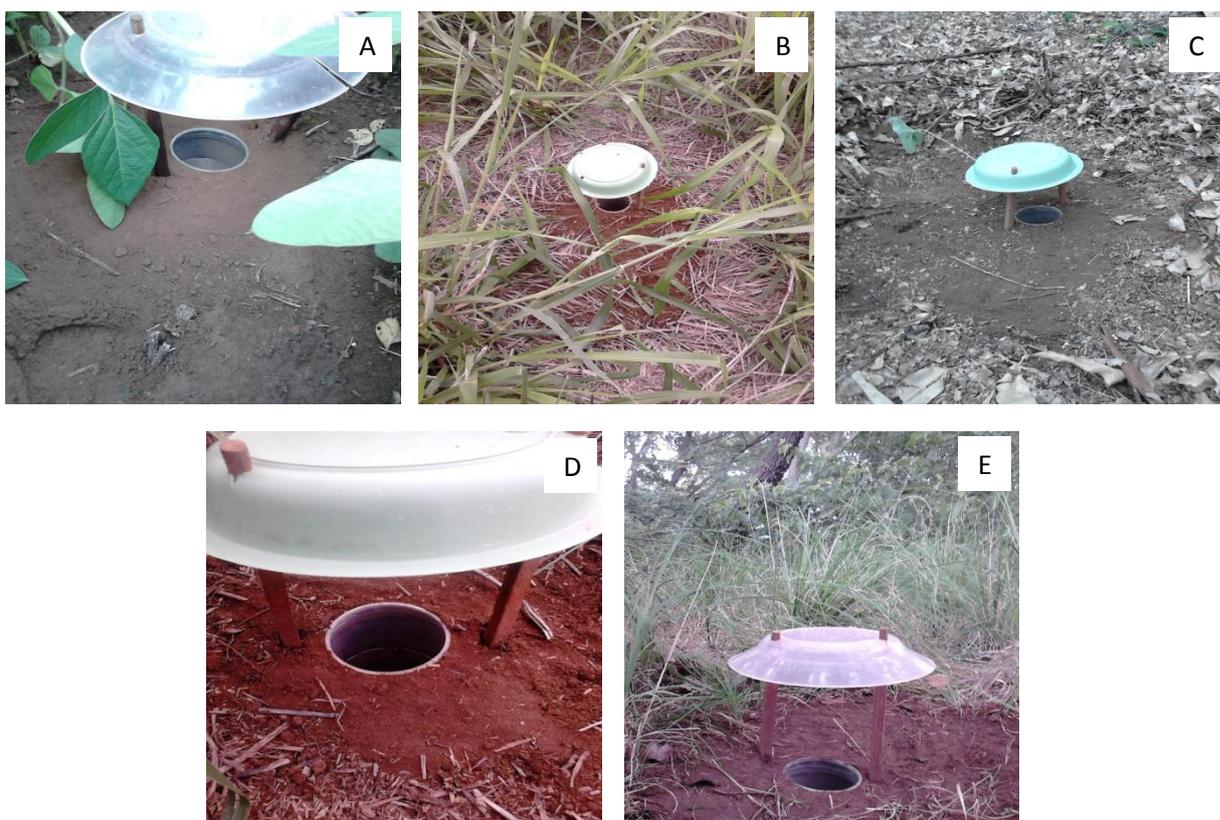


Figura 2.1. Armadilhas do tipo “Pitfall” instaladas nos diferentes sistemas de manejo do solo para a coletada dos organismos edáficos. A: PD; B: Pastagem; C: CEE; D: IPF; E: Cerrado. Fazenda Chapada Grande, Regeneração-PI, 2017.

Após sete dias de instaladas no campo, as armadilhas foram retiradas do solo e os indivíduos coletados identificados segundo o nível de ordem ou classe (GALLO et al., 1988, DINDAL, 1990), como ilustrado nas figuras 2.2 e 2.3. A análise dos dados foi realizada a partir do cálculo do número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹, seguido pelo erro padrão. Foram calculados os índices ecológicos de riqueza (S); Shannon-Weaner: $(H) = -\sum p_i \cdot \log p_i$ ($p_i = n_i/N$; n_i = abundância de cada grupo; N = abundância total); e equitabilidade de Pielou: $(e) = H/\log S$ (H = índice de Shannon; S = riqueza) (ODUM, 1988). Os organismos também foram divididos em grupos funcionais, a partir de características ao uso do habitat e à principal forma de utilização do recurso alimentar, sendo estes: Decompositores, Engenheiros e Predadores (MERLIM, 2005).



Figura 2.2. Organismos da fauna edáfica após a separação e identificação do grupo taxonômico nos diferentes sistemas de manejo do solo. A e B: Organismos da fauna na Pastagem.

O número de indivíduos coletados e de grupos da fauna epígea invertebrada do solo foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias, entre cada sistema, por meio da aplicação do teste de Tukey a 5%, utilizando o software SAS (SAS INSTITUTE, 2014). Realizou-se ainda a análise multivariada de componentes principais (ACP), entre os grupos taxonômicos e os sistemas de manejo do solo, utilizando o programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

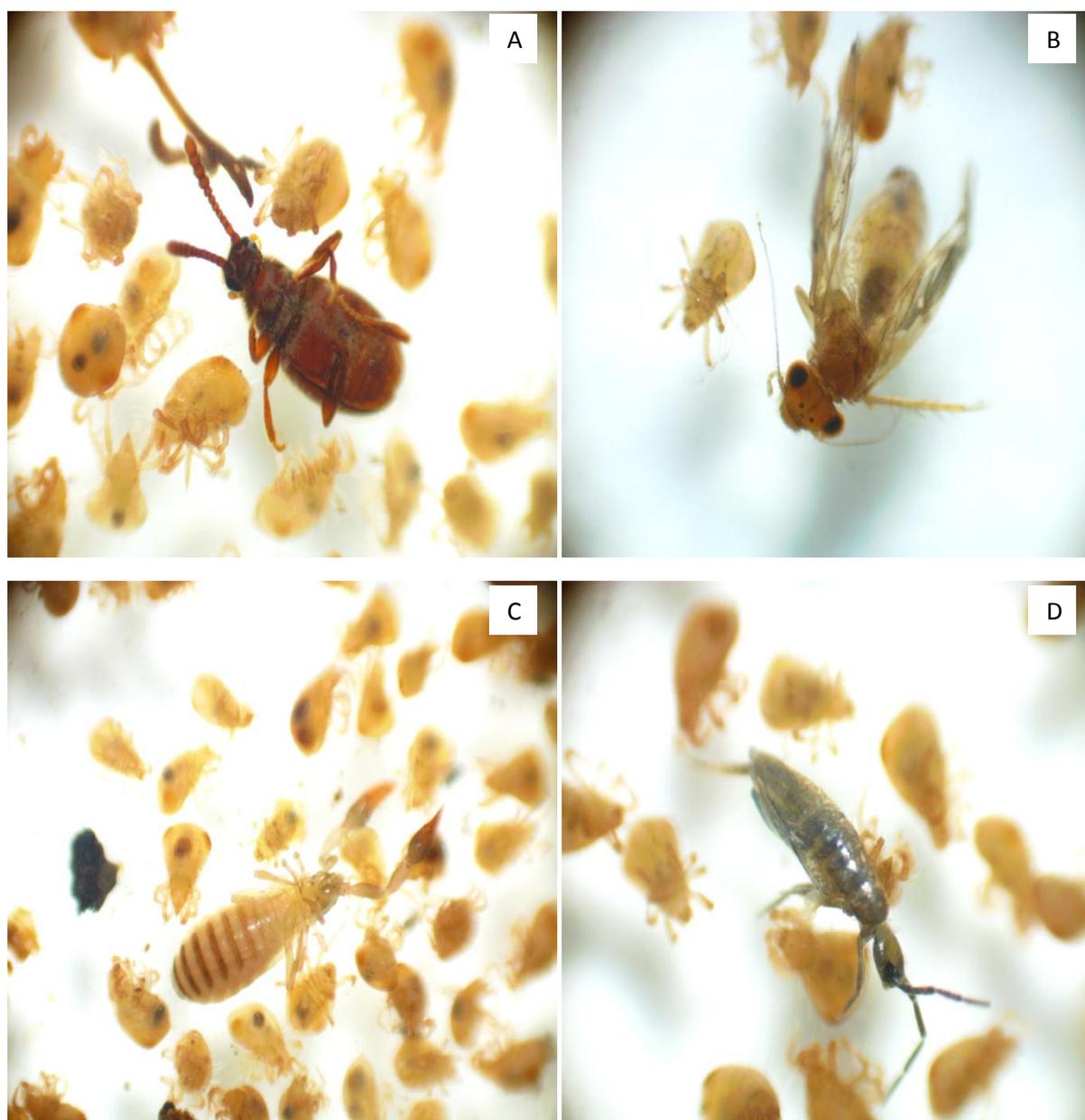


Figura 2.3. Organismos da fauna edáfica após a separação e identificação do grupo taxonômico. A. Coleoptero; B. Heteroptero; C. Scorpionida; D. Collembola.

4.3. Resultados e Discussão

O número de indivíduos por armadilha por dia, que representa a abundância dos organismos da fauna edáfica, foi superior no Cerrado, seguido da Pastagem e menor no PD (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 Número de indivíduos por armadilha ao dia (Ind/arm⁻¹/dia⁻¹) e índices ecológicos da fauna epígea invertebrada do solo sob diferentes sistemas de manejo do solo do Cerrado Piauiense (Regeneração- PI, 2017).

Sistemas de manejo	Ind. Arm ⁻¹ dia ⁻¹	Riqueza	Shannon	Pielou
Cerrado	25,67 a ± 1,43	18 a	2,69	0,64
PD	3,57 c ± 0,18	5 c	0,95	0,41
Pastagem	19,18 ab ± 0,82	14 ab	2,36	0,62
CEE	13,63 b ± 0,51	12 b	2,06	0,57
IPF	11,81bc ± 0,60	11 b	2,51	0,73
CV(%)	32,82	21,82	-	-
DMS	7,53	2,38	-	-

Médias acompanhadas de letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente ($p < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Isto denota que a fauna epígea é altamente sensível a interferências antrópicas; portanto, o tipo de manejo e as práticas culturais determinam a presença e a quantidade de macroinvertebrados nos solos (MARCHÃO et al., 2009). Os maiores valores obtidos no Cerrado, podem ser atribuídos ao fato deste ecossistema proporcionar serapilheira proveniente de uma diversidade de espécies vegetais apresentando qualidade nutricional e orgânica variada. Quanto mais diversa for a cobertura vegetal, maior será a heterogeneidade da serapilheira, que apresentará maior diversidade das comunidades de fauna edáfica (CORREIA; ANDRADE, 2008). Além disso, em áreas de vegetação nativa existe um maior número de nichos ecológicos e menor competição entre as espécies (MOÇO et al., 2005).

De forma similar, na Pastagem, a braquiária apresenta grande liberação de resíduos orgânicos no solo, em virtude principalmente da alta produção biomassa da parte aérea, como também pelo seu sistema radicular extenso e em constante renovação. Esses resíduos quando incorporados ao solo irão constituir a serapilheira que servem como fonte de alimento e na maioria dos casos cria um microclima favorável aos invertebrados do solo assemelhando-se a um ambiente natural de mata (DIAS et al., 2007). A menor abundância da fauna edáfica no sistema PD, pode em decorrência do pouco tempo de adoção deste sistema, o qual apresenta quantidade resíduos culturais em cobertura do solo ainda muito baixa, não favorecendo a existência de habitats para a colonização da macrofauna edáfica invertebrada. Além disso, as aplicações de herbicidas e inseticidas neste sistema, podem também ter contribuído para os baixos valores observados, como reportados por Mentone et al. (2011).

A riqueza variou de 5 a 18 e os maiores valores foram observados no Cerrado, e em seguida na Pastagem, e no CEE, enquanto o menor no PD. Estes valores corroboram os obtidos por Silva et al. (2011), avaliando a fauna edáfica em diferentes sistemas de uso do solo, no cerrado sul-mato-grossense. Estes autores constaram maiores valores de riqueza da fauna edáfica na vegetação nativa e na pastagem contínua em relação aos sistemas de integração lavoura pecuária e sistema convencional. O mesmo comportamento também foi obtido, em Nunes et al. (2012), em que observaram valores de riqueza de grupos superiores na pastagem de capim-Tifton, em relação aos demais sistemas, superando inclusive a mata nativa utilizada como referência. Os autores enfatizaram que o capim-Tifton, proporciona um considerável aporte orgânico resultante da renovação constante pela morte de raízes, que promove a formação de serapilheira. Isto indica que a pastagem quando bem manejada, proporciona condições favoráveis para o estabelecimento de uma maior diversidade da fauna edáfica, inferindo-se, portanto que esta forma manejo do solo, é menos impactante à biota do solo, e que pode ser considerada uma alternativa importante para manutenção dos indicadores biológicos do solo.

Em relação ao índice de diversidade Shannon e equitabilidade de Pielou, o Cerrado e o IPF, apresentaram os maiores valores, e o CEE e o PD os menores. A maior diversidade de indivíduos da fauna no Cerrado e no IPF, podem está associados à qualidade dos resíduos orgânicos aportados no solo, como também ao componente arbóreo presente nestes sistemas, que promove maior sobreamento do solo, criando microclima favorável aos organismos edáficos, colaborando para o estabelecimento de um número maior de grupos taxonômicos, o que contribuiu para elevação deste índice nestes sistemas.

Dias et al. (2007), também observaram efeito positivo do componente arbóreo sobre a fauna edáfica. Esses autores verificaram que a presença de leguminosas arbóreas em consócio com a pastagem, promoveu aumento em mais de 100% na riqueza de grupos da fauna edáfica, em relação ao pasto solteiro. Ainda de acordo com estes autores, a presença de uma leguminosa arbórea cria condições favoráveis à fauna, já que a serapilheira depositada possui maior teor de nitrogênio, ou seja, uma menor relação C:N, o que favorece a fauna de solo.

Por outro lado, o valor da diversidade no PD, similarmente à densidade, provavelmente, pode ser reflexos ainda das modificações impostas pelo preparo do

solo com operações de aração e gradagem herdadas do sistema convencional praticado nas áreas de coleta em anos anteriores. De acordo com Aquino et al. (2008), estas práticas podem provocar a destruição do habitat, a eliminação do alimento disponível e as condições edafoclimáticas favoráveis aos organismos edáficos.

Os maiores valores do índice de Pielou no IPF e no Cerrado, indicam que nestes sistemas houve um maior número de grupos dominantes. De acordo com Pasqualin et al. (2012), o índice de Pielou varia entre 0 e 1, e quanto menor for o valor obtido, maior será a dominância por poucos grupos. Os grupos Coleoptera e Formicidae, mesmo apresentando maiores frequências nestes sistemas (Figura 2.4.), outros grupos também foram bem representativos, como Araneae, Diplopoda, Isoptera e Collembola, que contribuíram para aumento da uniformidade. Resultados semelhantes foram observados em outros trabalhos realizados em solos do Cerrado, como Portilho et al. (2011); Santos et al. (2016).

Por outro lado, o baixo valor de Pielou apresentado no PD, decorreu da frequência elevada do grupo Coleoptera, com percentuais acima de 80 %, evidenciando total dominância deste grupo neste sistema. Já no CEE o que pode ter contribuído para o valor da uniformidade, foi a predominância do grupo Collembola, que apresentou frequência de aproximadamente 60 %, como observado na figura 2.4. Esta frequência pode ter sido condicionada pela quantidade elevada de serapilheira aportada neste sistema, composta por resíduos orgânicos em distintas fases de decomposição. Situação semelhante foi registrada por Abreu et al. (2014), quando avaliaram a fauna invertebrada edáfica, em plantio de cana-de-açúcar, colhida sem a queima e com utilização da palhada como cobertura do solo, no Estado Piauí. nos tratamentos com palhada em cobertura. Estes autores enfatizaram que estes indivíduos vivem sob a serapilheira em decomposição e são extremamente sensíveis às variações de umidade no solo.

Com relação à distribuição relativa dos organismos da fauna edáfica, observou-se que os grupos Coleoptera e Formicidae, estiveram presentes em maiores proporções em todos os sistemas de uso da terra, com exceção do CEE, onde houve prevalência também do grupo Collembola (Figura 2.4.).

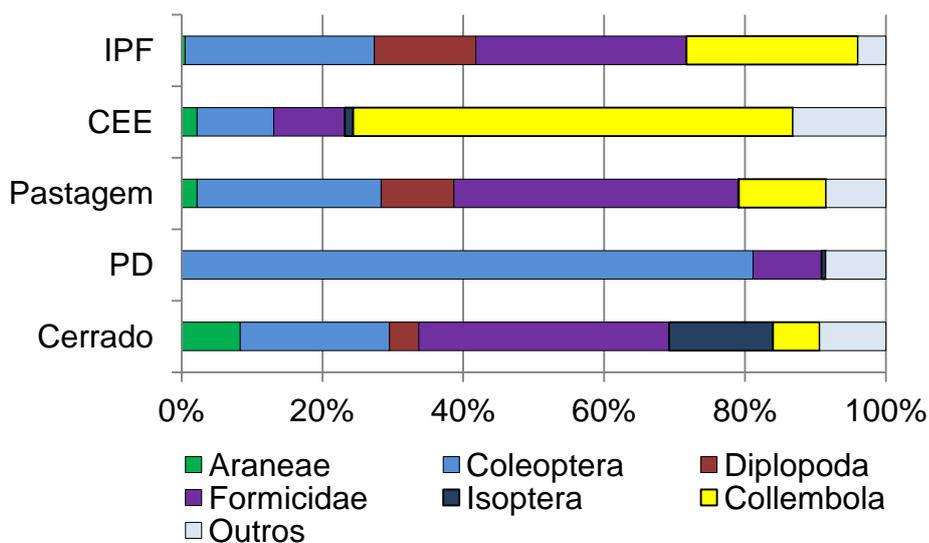


Figura 2.4. Distribuição relativa (%) das comunidades de fauna invertebrada do solo, sob diferentes formas de uso no Cerrado Piauiense (Regeneração- PI, 2017)

A ordem Coleoptera, constitui um grupo muito grande e com muitas espécies (KORASAKI et al., 2013), que apresentam hábitos alimentares bastante diversificados, e devido a esta característica é uma das ordens mais abundantes nos solos brasileiros. Os resultados obtidos no presente trabalho, estão de acordo com outros estudos em solos do Cerrado, que mostraram grande abundância deste grupo, independentes das formas de manejo e da época de avaliação, como Portilho et al. (2011); Rosa et al. (2015); Santos et al. (2016). Embora algumas famílias desta ordem sejam consideradas pragas na agricultura, tanto na fase larval como na adulta, podem ser benéficas para a fertilidade e a física do solo (PORTILHO et al., 2011).

A alta densidade do grupo Formicidae, pode está associada ao fato destes organismos serem muito abundantes e dominantes nos ecossistemas terrestres, o que pode indicar que este grupo apresenta capacidade de adaptação às diferentes mudanças no meio (LOUZADA; ZANETTI, 2013; SOUSA et al., 2015). Outros autores também relataram elevada densidade do grupo Formicidae em estudos da fauna invertebrada do solo em diferentes formas de manejo do solo (MARCHÃO, et al., 2009; PASQUILIN et al., 2012; VARGAS et al., 2013). Este grupo apresenta importância relevante para manutenção da qualidade do solo, pois realiza diversos processos, tais como, ação mecânica sobre detritos orgânicos e minerais, bem como a incorporação de matéria orgânica em decomposição às camadas mais profundas do solo, melhorando a agregação. Além disso, o complexo de galerias e câmaras

dos formigueiros aumenta a porosidade e a capacidade de drenagem do solo, tornando-o menos denso (LOUZADA; ZANETTE, 2013).

A predominância do grupo Collembola no CEE se deve a presença de densa camada de serapilheira composta por resíduos orgânicos em decomposição. Estes organismos alimentam-se principalmente de materiais orgânicos em decomposição e de microrganismos, como fungos e bactérias. Dessa forma este sistema de manejo apresenta condições bastante favoráveis para o desenvolvimento deste grupo de invertebrados (GALLO et al., 2002). Abundância elevada de Collembola em monocultivo de eucalipto também foi verificado por Martins et al. (2017), em comparação com a cana-de-açúcar.

No tocante aos grupos funcionais de invertebrados, os decompositores foram os que apresentaram maior densidade, e tiveram como principais representantes os Acari, os Collembolas e os Diplopodas (Tabela 2.3).

Tabela 2.3. Número médio de indivíduos da fauna invertebrada, classificados quanto à funcionalidade, em diferentes formas de uso da terra no Cerrado Piauiense (Regeneração- PI, 2017).

	Cerrado	PD	Pastagem	CEE	IPF
Decompositores					
Ácare	21,83 bc	-	-	1588,14a	278,71b
Collembola	9,50 b	-	16,57 b	60,00 a	26,14 b
Diplopoda	6,66 b	-	13,85 a	-	15,42 a
Engenheiros					
Coleoptera	26,33	20,28	35	10,42	28,85
Formicidae	58,5 a	2,42 c	54,14 a	9,17 c	32,14 b
Isoptera	23,66 a	0,14 b	0,14 b	1,14 b	-
Predadores					
Araneae	13,00 a	-	3,00 b	2,14 b	0,57 b
Dermaptera	0,16	-	1,14	1,85	1,57
Diptera	0,33	-	1,28	1,14	0,42
Outros*	15,14 b	0,28 c	7,42 c	18,85 b	30,71 a

Classificação de acordo com Merlim, (2005) e Brown et aal. (2009). Médias seguidas de letras iguais na linha, não diferem significativamente e letras diferentes diferiram entre si ($p < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey. * Blatodea, Chilopoda, Isopoda, L.de coleóptera, L. de lepdóptera, L. de Neoróptera, Lepdóptera, Oligocheata, Scorpionida e Thisanura.

Os Collembolas e excepcionalmente os Acari, foram os mais representativos e com maior incidência no CEE. O grupo Acari edáfico alimenta-se de materiais orgânicos em decomposição, o que pode explicar sua maior predominância no CEE, tendo em vista neste sistema existe uma densa camada de resíduos orgânicos

(galhos, folhas, raízes), sobre o solo. As espécies de ácaros são em grande parte consideradas parasitas de plantas e animais, porém, algumas espécies demonstram grande relevância na decomposição da matéria orgânica, o que estimula a atividade microbiana, e aumenta a ciclagem de nutrientes e a contribuindo a formação do solo (LAVELLE, 1996).

Os engenheiros do ecossistema, por sua vez foram representados por três grupos (Coleoptera, Formicidae e Isoptera). Os dois primeiros apresentaram maior abundância, porém o Formicidae foi mais relevante, com maior ocorrência no Cerrado, na Pastagem e no IPF, enquanto os Coleopteros não diferiram ($p < 0,05$) entre os sistemas de manejo. Os engenheiros exercem função essencial para a manutenção da qualidade do solo em razão de seus efeitos sobre a sua agregação, com a criação de estruturas biogênicas, que podem ser galerias, ninhos, câmaras e bolotas fecais, e que podem afetar significativamente propriedades físicas dos solos, bem como a disponibilidade de recursos para outros organismos (Anderson, 2009). A presença relevante destes organismos nos sistemas manejados sobre Pastagem e IPF, corroboram os resultados obtidos por Lima et al. (2010), que observaram maior densidade dos engenheiros do solo nos sistemas agrofloretais no norte do Piauí, inferindo-se que a Pastagem e IPF, são sistemas de manejo que permitem a sustentabilidade do solo em condições próximas ao cerrado.

Quanto aos Predadores, observou-se a presença dos grupos Araneae, Dermaptera e Diptera, sendo que o Araneae obteve maior densidade em relação aos demais grupos e com maior concentração no Cerrado. Entre os sistemas antropizados não houve diferenças significativas ($p < 0,05$), porém, a Pastagem e CEE, apresentaram a abundância do grupo Araneae, foi maior em detrimento aos demais sistemas, o que pode ser atribuído a maior quantidade de serapilheira, que mostra está diretamente relacionada com a maior abundância de inimigos naturais (predadores), principalmente aranhas. Abreu et al. (2014), também constataram maior incidência de aranhas entre os predadores, em estudo da fauna edáfica no plantio de cana-de-açúcar colhida sem a queima, e com utilização da palhada como cobertura do solo, no Estado Piauí. Estes autores ressaltaram que sistemas onde há presença de resíduos vegetais sobre o solo, favorecem a maior abundância de grupos de predadores, em relação a sistemas em que não há cobertura. O grupo Araneae, exerce papel fundamental na regulação de populações da fauna do solo, sendo considerada importante ferramenta no controle de pragas. No entanto, sua

densidade é fortemente influenciada pelas práticas agrícolas. De acordo com Baretta et al. (2007), as áreas com menor ação antrópica, como vegetação natural, favorecem o aparecimento de aranhas, pois, nestes locais, existem maior disponibilidade de alimento e condições para formação de teias. Por outro lado, o uso de inseticidas e produtos químicos em áreas agricultáveis, provoca a redução na disponibilidade de presas (alimento) e o efeito residual e repelente de algumas substâncias químicas que podem proporcionar significativa diminuição na comunidade de aranhas nos agroecossistemas.

A análise de componentes principais possibilitou a definição de dois componentes, os quais juntos, explicaram 72,03% da variância total dos dados, o que permitiu uma ordenação bidimensional dos sistemas de manejo e dos grupos taxonômicos da fauna invertebrada edáfica (Figura 2.5).

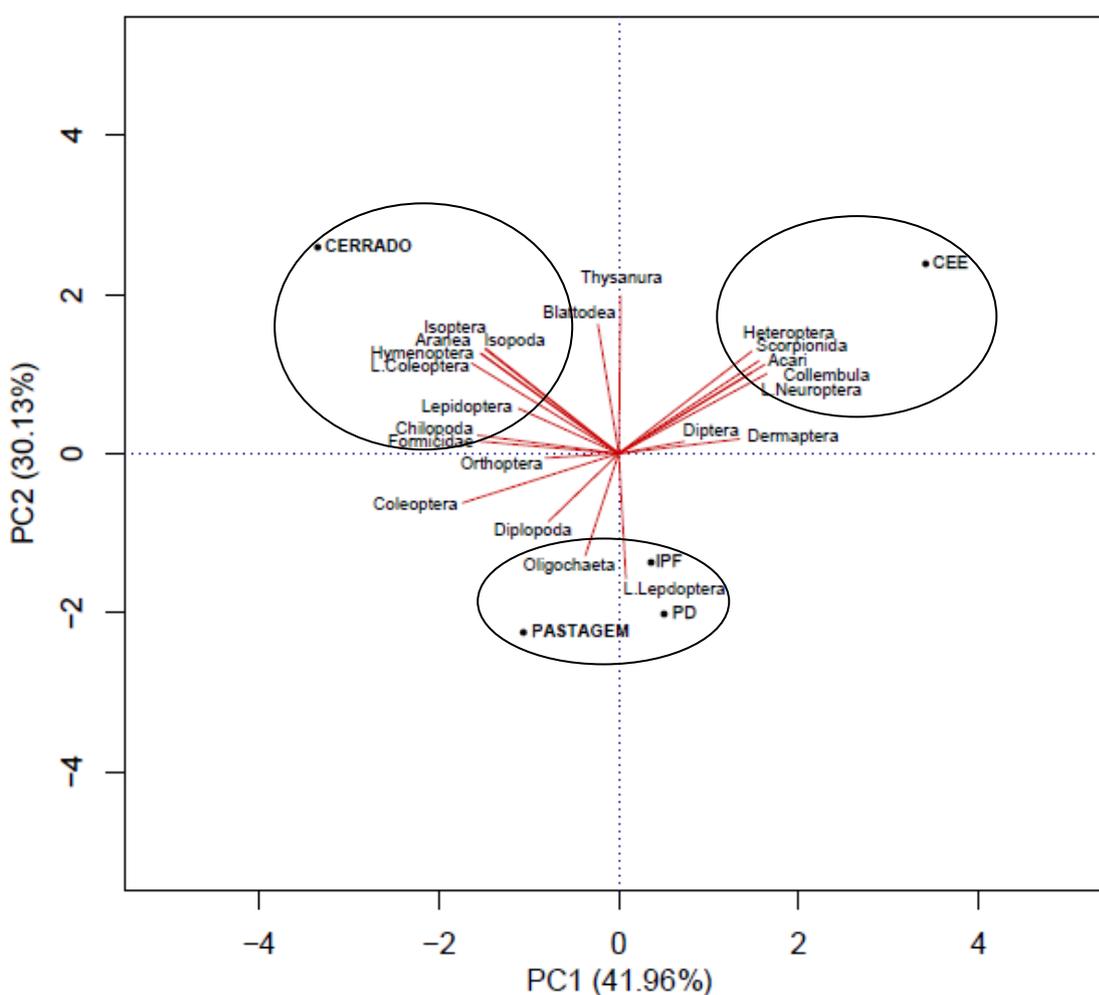


Figura 2.5. Representação gráfica da análise de componentes principais (ACP) entre os diferentes sistemas de manejos do solo e os principais grupos taxonômicos da fauna edáfica no Cerrado Piauiense (Renegação-PI, 2017). PD: plantio direto; CEE: cultivo exclusivo de eucaliptos e IPF: sistema de integração pecuária floresta.

O primeiro componente (PC1) apresentou 41,96 % e o componente principal 2 (PC2), respondeu por 30,13% da variabilidade dos dados, respectivamente, entre os sistemas de manejo. Por meio dessa ordenação bidimensional, foi possível verificar a formação de três grupos, sendo um representado pelo Cerrado, situado na parte superior esquerda do gráfico; o outro pelo CEE, localizado na parte superior direita, e o terceiro grupo composto pela Pastagem, IPF e PD, disposto na parte inferior.

As ordens Isoptera, Araneae, Isopoda, Larva de Coleoptera, Chilopoda, Hymenóptera, Lepdóptera e Formicidae, tiveram maior relação com Cerrado. Comportamento, semelhante também foram obtidos por Baretta et al. (2010); Nunes et al. (2012); Bartz et al. (2014); Rosa et al. (2015), onde tais grupos da fauna invertebrada edáfica, apresentaram maior abundância na mata nativa.

Já o isolamento do CEE, que correlacionou-se melhor com um maior número de grupos entre os sistemas com ação antrópica, pode ser em decorrência tanto da maior quantidade de serapilheira depositada, que reflete em valores elevados de matéria orgânica do solo, como também o longo período sem revolvimento do solo. Além disso, a presença de outras espécies vegetais que se desenvolvem neste sistema como algumas herbáceas e arbustos contribuem para oferta de resíduos orgânicos diversificados à macrofauna edáfica. Em estudo realizado por Martins et al. (2017), constataram maior correlação dos grupos da fauna edáfica com o monocultivo de eucalipto e mata nativa em relação a cana-de-açúcar. Estes autores ressaltam que, embora a cultura do eucalipto seja uma monocultura, a presença de serapilheira, ainda que de baixa qualidade, favoreceu alguns grupos da fauna edáfica, mostrando ser menos nociva à estes organismos quando comparada a cultura da cana-de-açúcar.

De acordo com Vargas et al. (2013), a floresta de eucalipto mesmo sendo um ambiente com apenas uma espécie de porte arbóreo, seu sub-bosque apresenta várias espécies arbustivas e herbáceas deixando o solo praticamente coberto e aportando uma diversidade de resíduos vegetais. Deste modo, se forma um ambiente peculiar e heterogêneo com características de um sistema mais estável. Além disso, outro fator que pode ter contribuído para o isolamento do sistema CEE, foi a densidade elevada de alguns grupos neste sistema, como o Collembola e o Acari.

A aproximação entre sistemas Pastagem, IPF e PD, observada na ordenação do biplot, se deve principalmente aos grupos Diplopoda e Oligocheata. A forte correlação do Diplopoda e Oligocheata com Pastagem e IPF, pode ser consequência da maior densidade de raízes que as pastagens produzem, como também pelo aumento da qualidade da matéria orgânica proveniente de dejetos dos animais (SILVA et al. 2006). Estes fatores promovem um aumento da mineralização do carbono, favorecendo o desenvolvimento e estabelecimento destes grupos da fauna edáfica (MARTÍNEZ; SÁNCHEZ, 2002). A baixa correlação do PD com os grupos da fauna edáfica, pode ser consequência de práticas de manejo realizadas neste sistema, em anos anteriores. Além disso, neste sistema a cobertura do solo por resíduos culturais é quase inexistente, devido ao pouco tempo de adoção do plantio direto não condicionando a formação habitats para macrofauna edáfica.

4.4. Conclusões

As praticas de manejo nos sistemas de Pastagem, CEE e IPF favorecem a fauna invertebrada edáfica, promovendo aumento na riqueza de grupos e nos índices ecológicos de Shannon e Pielou.

O IPF promove uma maior diversidade de grupos da fauna edáfica, devido a ausência de revolvimento do solo.

O sistema PD com curto período de estabelecimento não proporciona condições ambientais favoráveis, à fauna edáfica, com reduções drásticas na densidade e a diversidade dos organismos invertebrados edáficos.

Referências

- ABREU, R. R. L.; LIMA, S. S.; OLIVEIRA, N. C. R.; LEITE, L. F. C. Fauna edáfica sob diferentes níveis de palhada em cultivo de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, n.4, p.409-416, 2014.
- ANDERSON, J. M. Why should we care about soil fauna? *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.835-842, 2009.
- AQUINO, A. M.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M.; CORREIA, M. E. F.; GUIMARÃES, M. F. & LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no till system in the Cerrado. *European Journal of Soil Biology*, v.44, p.191-197, 2008.
- AQUINO, A. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L. & QUEIROZ, J. M. Recomendação para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (Pitfall traps). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. (Circular técnica, 18).
- 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.
- BARETTA, D. et al. Earthworm populations sampled using collection *Araucaria angustifolia* methods in Atlantic Forests. *Scientia Agricola*, v.64, n.4, p.384-392, 2007.
- BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; JAMES, S. W.; DECAËNS, T. & BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. *Applied Soil Ecology*. v.83, p.9-70, 2014.
- BRAZ, A. M. S.; FERNANDES, A. R. & ALLEONI, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. *Land Degradation & Development*. v.24, p.33–38, 2013.
- BROWN, G. G.; MASCHIO, W.; FROUFE, L. C. M. Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais e Mata Atlântica em regeneração nos municípios de Barra do Turvo, SP, e Adrianópolis, PR. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. (Documentos, 184).
- CLIMATE-DATA, disponível em <<http://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: 30 nov. 2014.
- CORREIA, M. E. F. & ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. *In: SANTOS G. A. et al. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 137-158.
- DIAS, P. F. *et al.* A. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de cv. Marandu. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.37, n.1, p.38-44, 2007.
- DINDAL, D. *Soil biology guide*. New York: John Wiley and Sons, 1990.

GALLO, D. et al. *Entomologia agrícola*. Piracicaba: Fealq, 2002.

GALLO, D. et al. Manual de entomologia agrícola. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1988.

HEDDE, M.; MAZZIA, C.; DECAËNS, T.; NAHMANI, J. P. B.; THÉNARD, J.; CAPOWIEZ, Y. 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.

KORASAKI, V.; MORAIS, J. W. & BRAGA, R. F. Macrofauna. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R. & STÜRMER, S. L. (Eds.). *O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. Lavras: Editora da UFLA, p.79-128, 2013.

LAVELLE, P. & SPAIN, A. V. *Soil ecology*. Dordrecht: Kluwer Academic; 2001.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology Internship*, Paris, v.33, n.1, p.3-16, 1996.

LOUZADA, J. N. C. & ZANETTI, R. Bioindicadores. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R. & STÜRMER, S. L. (Eds.). *O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. Lavras: Editora da UFLA, p.79-128, 2013.

LUBBERS, I. M.; VAN GROENIGEN, K. J.; FONTE, S. J.; SIX, J.; BRUSSAARD, L.; & VAN GROENIGEN, J. W. *National Climate Changes*, 3, p. 187-194, 2013.

MARCHÃO, R. L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L. C.; VILELA, L. & BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.1011-1020, 2009.

MARTÍNEZ, M. A. & SÁNCHEZ, J. A. Comunidades de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) en un bosque siempre verde y un pastizal de Sierra del Rosario. *Caribb. Journal Science*, San Juan, v. 36, n.1-2, p.94-103, 2002.

MARTINS, L. F.; PEREIRA, J. M.; TONELLI, M. & BARRETA, 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, 2017.

MENTONE, T. O.; DINIZ, E. A.; MUNHAE, C. B.; BUENO, O. C.; MORINI, M. S. C. Composition of ant fauna (Hymenoptera: *Formicidae*) at litter in areas of semi-deciduous forest and *Eucalyptus* spp., in Southeastern Brazil. *Biota Neotropical*, v.11, n.2, p.37-46, 2011.

MERLIM, A. O. Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de Araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão - SP. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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. et al. *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison: SSSA, 1994.

NUNES, L. A. P. L.; SILVA, D. I. B.; ARAÚJO, A. S. F.; LEITE, L. F. C. & CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em sistemas de manejo para produção de forragens no Estado do Piauí. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n.1, p.30-37, 2012.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

OLIVEIRA, F. S.; VARAJÃO, A. F. D. C.; VARAJÃO, C. A. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BOULANGE, B. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. *Geoderma*, v.226, p.250-259, 2014.

PASQUALIN, L. A. et al. Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná - Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 1, p.7-18, 2012.

PORTILHO, I. I. R.; CREPALDI, R. A.; BORGES, C. D.; SILVA, R. F.; SALTON, J. C. & MERCANTE, F. M. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1310-1320, 2011.

R Development Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Áustria. 2016.

ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; BARTZ, M. L. C.; MAFRA, A. L.; SOUSA, J. P. F. A. & BARETTA, D. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, p.1544-1553, 2015.

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.

SAS INSTITUTE. SAS® 9.2 Software. Carey, 2014. Disponível: <http://support.sas.com/software/92>: <.Acesso: 04/02/2014>.

SILVA, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; AQUINO, A. M. & MERCANTE, F. M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1277-1283, 2011.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. & GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.4, p.697-704, 2006.

SOUZA, M. H.; VIEIRA, B. C. R.; OLIVEIRA, A. P. G. & AMARAL, A. A. Macrofauna do solo. Enciclopédia Biosfera, v.11, n.22, 2015.

VARGAS, A. B.; CHAVES, D. A.; VAL, G. A.; SOUZA, C. G.; FARIAS, R. M.; CASSIANE CARDOZO, C. & MENEZES, C. E. G. Diversidade de artrópodes da macrofauna edáfica em diferentes usos da terra em Pinheiral, RJ. Acta Scientiae & Technicae, v.1, n.2, 2013.

5. CAPÍTULO III

EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO SOB SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA E CULTIVO DE EUCALIPTO NO CERRADO PIAUIENSE

Resumo

Objetou-se com este trabalho, avaliar o fluxo de óxido nitroso (N_2O) e estimar as emissões com modelo DNDC, em sistemas de cultivo exclusivo com eucalipto (CEE) e sistema de integração-pecuária-floresta(IPF). O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Chapada Grande em Regeneração-PI, onde foram selecionados dois sistemas de manejo do solo (CEE e IPF), para avaliação das emissões de N_2O . As coletas de gases foram realizadas por meio de câmaras estáticas, no período de janeiro à março de 2016, para determinação de N_2O . Foram calculadas emissões diárias e acumuladas, além da simulação das emissões deste gás por meio do modelo DNDC. Os fluxos médios de N_2O encontrados nos sistemas de CEE e IPF foram baixos durante todo período de avaliação, sendo constatados valores negativos de emissão, indicando consumo deste gás no solo. No CEE o maior pico de emissão foi observado em janeiro no início da avaliação, enquanto no IPF, o maior pico foi observado março no final avaliação. Estas variações nos dois sistemas em estudo se devem principalmente aos eventos de precipitação pluviométrica ocorridos no período de avaliação. De maneira geral, as emissões ocorridas no IPF foram maiores em relação aos observados no CEE, o pode ser atribuído aos efeitos da compactação do solo, provocada pela presença de animais durante o pastejo, como também, pela liberação de dejetos como fezes e urina por esses animais. Com relação às emissões acumuladas de N_2O ao longo do período de avaliação, os valores são baixos nos dois sistemas, porém no IPF as emissões foram maiores. As curvas de estimativas de emissões diárias por meio do DNDC apresentaram comportamentos diferentes das curvas de emissões medidas em campo nos dois sistemas em estudo. As emissões de N_2O nos dois sistemas avaliados estão associadas principalmente a eventos pluviométricos. O sistema IPF é menos eficiente em relação ao cultivo de eucalipto na mitigação de gases do efeito estufa como N_2O .

Palavras-chave: sistema integrado de produção; GEE's; DNDC

Abstract

The objective of this work was to evaluate the nitrous oxide (N₂O) flow and to estimate emissions with DNDC model, in exclusive cropping systems with eucalyptus (CEE) and integrated-livestock-forest system (IPF). The work was developed at the Chapada Grande Farm in Regeneração-PI, where two soil management systems (CEE and IPF) were selected to evaluate N₂O emissions. Gas samples were collected by means of static chambers from January to March 2016 for the determination of N₂O. Daily and accumulated emissions were calculated, in addition to the simulation of the emissions of this gas through the DNDC model. The mean N₂O flows found in the CEE and IPF systems were low throughout the evaluation period, with negative emission values indicating the consumption of this gas in the soil. In the CEE the highest peak emission was observed in January at the beginning of the evaluation, while in the IPF, the highest peak was observed in the final evaluation in March. These variations in the two systems under study are mainly due to rainfall events occurring during the evaluation period. In general, the IPF emissions were higher than those observed in the CEE. This can be attributed to the effects of soil compaction caused by the presence of animals during grazing, as well as by the release of waste products such as feces and urine. These animals. Regarding the accumulated emissions of N₂O over the evaluation period, the values are low in both systems, but in the IPF the emissions were higher. The daily and accumulated emission estimation curves using the DNDC showed different behavior of the emission curves measured in the field in the two systems under study. The N₂O emissions in the two evaluated systems are mainly associated with rainfall events. The IPF system is less efficient in relation to eucalyptus cultivation in the mitigation of greenhouse gases like N₂O.

Key-words: integrated production system; GEE's; DNDC

5.1 Introdução

As últimas décadas têm sido acompanhadas de discussões, relacionadas às mudanças climáticas globais, com reflexos no aumento da temperatura do planeta, provocando o aquecimento global (SIGNOR; CERRI, 2013). Tais alterações climáticas são decorrentes principalmente do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (IPCC, 2007; PRUSTY et al. 2014), como óxido nitroso (N_2O), pois, apesar de ser emitido para a atmosfera em quantidades bem menores, tem maior poder de aquecimento em relação ao dióxido de carbono (CO_2), que é 298 vezes maior (CERRI, 2007; TOMLINSON, et al. 2013) Além disso, sua concentração na atmosfera está em crescente ascensão, com aproximadamente 325 ppb, com aumento de 18%, em relação ao ano de 1950, com valores próximos a 275 ppb (MASTERS; ELA, 2008). Supunha-se que este aumento esteja associado ao crescimento das diversas atividades antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis, urbanização, queimadas, desmatamento e atividades agropecuárias.

As práticas agropecuárias que normalmente favorecem o aumento das emissões de N_2O estão associadas principalmente ao uso de fertilizantes nitrogenados e dejetos de animais, o revolvimento do solo, incorporação de resíduos vegetais, dentre outros (WASSMANN; VLEK, 2004). Estas práticas aceleram os processos de nitrificação e desnitrificação, onde resultam na produção de N_2O (SIGNOR; CERRI, 2013)..

A nitrificação é o processo de oxidação de amônio à nitrito ou nitrato (DALAL et al., 2003), a qual é realizada inicialmente por bactérias *Nitrossomonas sp*, em que o NH_4^+ é oxidado a nitrito (NO_2^-), que em seguida é oxidado a nitrato (NO_3^-) por ação das bactérias do gênero *Nitrobacter sp* (HARRISON; WEBB, 2001; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Enquanto a desnitrificação é o processo de oxidação biológica em que o NO_3^- é reduzido aos gases de N (nitrogênio), dentre eles o N_2O (óxido nitroso), através da ação de bactérias anaeróbicas facultativas (VARENNES, 2003; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; THOMSON, 2012).

A quantidade de N_2O produzido no solo é determinada pela disponibilidade de NO_3^- temperatura, o pH do solo, a presença de NH_4 , compactação, umidade, carbono dissolvido , entre outros fatores (BRAGA, 2011; SIQUEIRA NETO et al.

2011). Estas características variam de acordo com tipo solo, o tipo de manejo praticado na área, estação do ano e com tipo de vegetação.

Apesar da importância deste gás, existe relativamente poucos trabalhos medindo as emissões diretas do mesmo na agricultura brasileira (OLIVEIRA, 2014), e sobretudo na região dos cerrados em diferentes sistemas de manejo. Sabe-se, que sistemas, com ausência de revolvimento do solo e incorporação de resíduos vegetais, podem influenciar nas emissões de N_2O . Dessa forma, ressalta-se a necessidade de avaliar as emissões deste gás em diferentes sistemas de manejo do solo, para melhor compreensão das fontes emissoras de GEE a fim de colaborar com um diagnóstico mais exato para a adoção de sistemas de produção que mitiguem as emissões N_2O para atmosfera (SIQUEIRA NETO et al. 2011).

Nesse contexto, e considerando de condições edafoclimáticas do cerrado piauiense, estes estudos tornam-se mais necessários ainda, haja vista que não existem trabalhos, avaliando as emissões de N_2O . Diante disso, objetou-se com este trabalho, avaliar o fluxo de N_2O e estimar as emissões com modelo DNDC, em sistemas cultivo exclusivo com eucalipto e sistema de integração-pecuária-floresta no cerrado piauiense.

4.2. Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Chapada Grande, localizada no município de Regeneração - PI, ($06^{\circ}21'03''$ S, $42^{\circ}28'79''$ W; e altitude de 374 metros). O clima da região é classificado segundo Köppen como As, a temperatura média é de $26,4^{\circ}C$ e a pluviosidade média anual é de 1371 mm (CLIMATE-DATA, 2014). O solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (IBIAPINA et al., 2014).

A caracterização química das áreas selecionadas para a execução deste trabalho está na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Caracterização química na camada de 0-10cm de um Latossolo Amarelo, submetido à diferentes sistemas de manejo no cerrado piauiense.

Sistemas	pH	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	MO	Argila	Ds
	(H ₂ O)	mg dm ⁻³	-----	cmol _c dm ⁻³	-----		g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	kg dm ⁻³
CEE	4,71	9,39	0,13	3,71	0,09	2,20	52,6	571	0,76
IPF	5,62	17,42	0,18	4,19	1,16	0,55	53,9	586	0,95

MO: matéria orgânica; Ds: densidade do solo; CEE: cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: integração pecuária-floresta.

Para a avaliação das emissões de N₂O foram utilizadas dois sistemas de manejo do solo: Cultivo exclusivo de eucalipto (CEE) e Integração Pecuária-floresta (IPF), conforme a Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Histórico dos sistemas de manejo do solo, utilizados para avaliação da emissão de N₂O na Fazenda Grande, Regeneração-PI.

Sistemas	Histórico
CEE	O plantio foi realizado em 2008, com espaçamento de 3 x 2 m , utilizando clones MA-2000. Foi aplicado 2 t ha ⁻¹ de calcário dolomítico, e 150 kg ha ⁻¹ de NPK (06-30-06) na fundação e 110 kg ha ⁻¹ de NPK (22-00-22), em cobertura nos primeiros anos. Neste sistema há uma densa camada de serapilheira.
IPF	Formado pelo consórcio de eucalipto <i>com</i> Braquiaria. O plantio foi realizado em 2012, com espaçamento de 2 m entre plantas na renques de fileiras triplas e cerca de 30 m entre renques , utilizando clones MA-2000. Foi aplicado 2 t ha ⁻¹ de calcário dolomítico, e 150 kg ha ⁻¹ de NPK (06-30-06) na fundação e 110 kg ha ⁻¹ de NPK (22-00-22), em cobertura nos primeiros anos.

CEE: cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: integração-pecuária-floresta

As coletas foram realizadas por meio de câmaras estáticas modelo base-topo, um dispositivo composto por uma base metálica e uma câmara de PVC (Figura 3.1).

As bases metálicas foram inseridas no solo até a profundidade de 0,05 m, que permaneceram fixadas no local durante o período de avaliação, que compreendeu os meses de janeiro a março de 2016. Em cada sistema de manejo foram utilizadas cinco câmaras, correspondendo a cinco repetições. Em cada dia de avaliação foram coletadas 3 amostras de gases por câmara, em três tempos

diferentes: 0; 10 e 30 minutos após o fechamento da câmara. Com os dados foram calculadas os fluxos diários e as emissões acumuladas de óxido nitroso. As amostras foram coletadas no início da manhã (entre 7 e 10 horas), conforme o proposto por Alves et al. (2012), armazenadas em frascos e foram encaminhadas para análise.

A temperatura da câmara e a temperatura do solo na profundidade de 0,10 m, foi medida por meio de termômetro digital (Figuras 3.3). A umidade do solo foi calculada gravimetricamente a partir de amostras de solo (0-0,10 m) coletadas no momento da amostragem de gases e posteriormente secas em estufa a 105 °C até peso constante.



Figura 3.1. Modelo da câmara utilizada para coleta das amostras de N_2O . A. base metálica para encaixa da câmara; B. conjunto base/câmara no sistema de IPF.

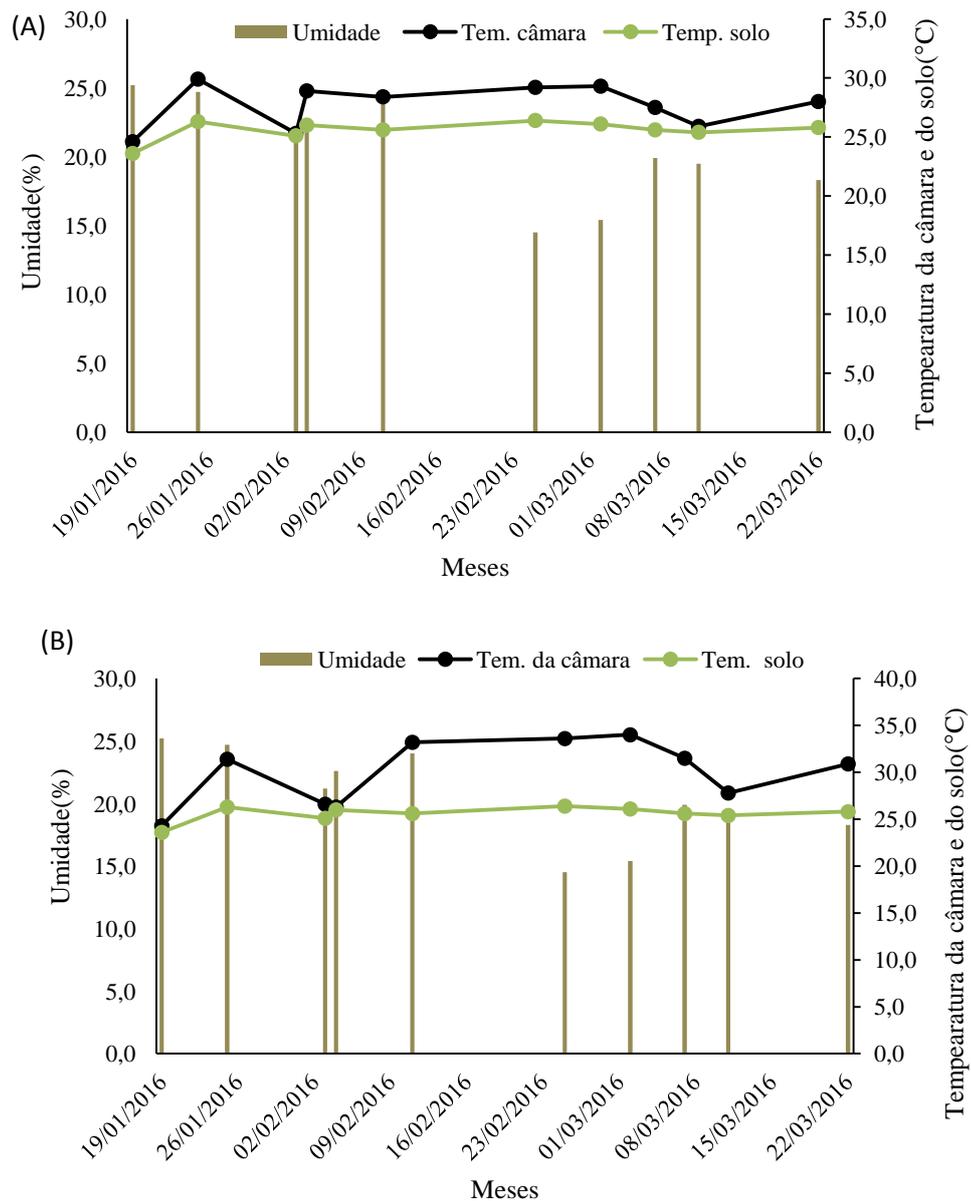


Figura 3.2. Umidade do solo e temperatura do solo, nos dias de coleta das amostras de gases, nos dois sistemas de manejo avaliados. A. Cultivo exclusivo de eucalipto; B. Integração pecuária-floresta.

As concentrações de N_2O foram analisados na Embrapa Agrobiologia, por meio de cromatógrafo gasoso equipado com coluna empacotada de Porapak Q e detector de captura de elétrons, com injeção manual. A partir da variação das concentrações desse gás no interior da câmara, do volume e da área de cada câmara, da temperatura do solo no momento da coleta e da pressão atmosférica foram calculados, para cada dia de avaliação, os fluxos de N_2O em cada câmara pela equação descrita por Barton et al.(2008):

$$FN_2O = \delta C / \delta t (V/A) M/Vm,$$

onde:

FN_2O : Fluxo de N_2O , expresso em $\mu g \text{ N-N}_2O \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$;

$\delta C / \delta t$: variação de concentração de N_2O na câmara no intervalo de medição.

V: Volume da câmara

A: Área do solo coberto com a câmara

M: Peso molecular do N_2O

Vm : o volume molar nas condições normais de temperatura e pressão.

Os fluxos diários de N_2O foram tabulados em planilha eletrônica. Para cada parcela, as quantidades totais de N_2O emitidas durante o período de avaliação (emissão acumulada) foram estimadas por meio da integração matemática das curvas dos fluxos diários. Baseado nos fluxos diários de óxido nitroso nas câmaras alocadas no ensaio experimental, foram calculados os fluxos médios para cada dia de avaliação (considerando a média das cinco câmaras correspondentes às repetições). Os fluxos diários e as emissões acumuladas foram comparados pelo erro padrão da média.

A estimativa das emissões de N_2O foi realizada para os dois sistemas estudados, com o modelo “DeNitrification - DeComposition” - DNDC, desenvolvido por Li, (2000) e Li et al. (1992). É um modelo computacional capaz de simular processos biogeoquímicos de carbono e nitrogênio em agroecossistemas, florestas e pântanos. Este modelo permite estimar os fluxos de gases de efeito estufa gerados pelos principais ecossistemas agrícolas por meio da integração de aspectos detalhados do manejo do sistema produtivo. As principais variáveis de entrada utilizadas no simulador são aquelas relativas ao solo (teor inicial de carbono orgânico, densidade do solo, pH e classe textural), à cultura utilizada (produtividade, época de plantio, colheita), ao clima (temperaturas diárias máxima, mínima e precipitação diária) e às práticas de manejo (tipo de cultivo, rotação, plantio direto ou convencional, fertilização).

O cálculo e a entrada de dados basearam-se em exemplos de simulações contidos no manual do usuário disponibilizado pelo DNDC. Além disso foram utilizados dados climáticos obtidos por meio de estação meteorológica localizada na região na área experimental (Figura 3.3).

Foram realizadas simulações das estimativas emissões diárias pelo DNDC para cada sistema de manejo e comparadas com as avaliações determinadas em campo para os meses de janeiro a março de 2016. Para verificar a exatidão entre os valores de campo e os simulados, determinou-se o índice de Willmott. Este índice, proposto por Willmott et al. (1985), está relacionado ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, variando de zero, significando nenhuma concordância, a 1 significando concordância perfeita, sendo determinado pela fórmula:

$$d_r = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right]$$

Onde,

d_r = índice de Willmott

P_i = Valores simulados (Kg/ha)

O_i = Valores observados (Kg/ha)

O = Média dos valores observados (Kg/ha)

Foram calculados também outros índices estatísticos propostos por Sentelhas et al.(1997), como o erro absoluto médio (EAM), Coeficiente de determinação (CD), coeficiente de massa residual (CRM) e Eficiência.

a) Erro absoluto médio (EAM):

$$EAM = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \right]$$

c) Coeficiente de determinação (CD):

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}$$

d) Coeficiente de massa residual (CRM):

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i}$$

e) Eficiência:

$$EF = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) - \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)]}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})}$$

O erro absoluto médio (EAM) confere a diferença média entre valores simulados e de campo, e possui as mesmas dimensões da variável examinada. O EAM são medidas de erros utilizadas para representar as diferenças médias entre os valores estimados e observados no campo. Quanto mais próximos de zero, mais precisos são os resultados modelados. O coeficiente de determinação (CD) é uma medida da proporção total da variação dos resultados explicada pelos dados simulados, sendo que valores de CD próximos a um indicam boa concordância entre dados simulados e observados.

O índice CRM indica se os valores simulados estão superestimados (quando $CRM < 0$), ou subestimados (quando $CRM > 0$), em que quanto mais próximo de zero melhor o desempenho do modelo utilizado. Os índices CD e CRM, assim como r são também adimensionais. Uma concordância perfeita entre valores simulados e observados resultaria em valores de EAM e CRM iguais a zero, e valores de CD iguais a um.

A eficiência (EF) é um indicador da qualidade de ajuste entre dados simulados e medidos. O valor máximo possível para EF é um, e modelos que resultam em valores negativos de EF não são recomendados (LOAGUE; GREEN, 1991).

4.3. Resultados e Discussão

Os fluxos médios de N_2O encontrados nos sistemas de CEE e IPF foram baixos durante todo período de avaliação, sendo constatados alguns valores negativos, indicando consumo deste gás no solo (Figura 3.4).

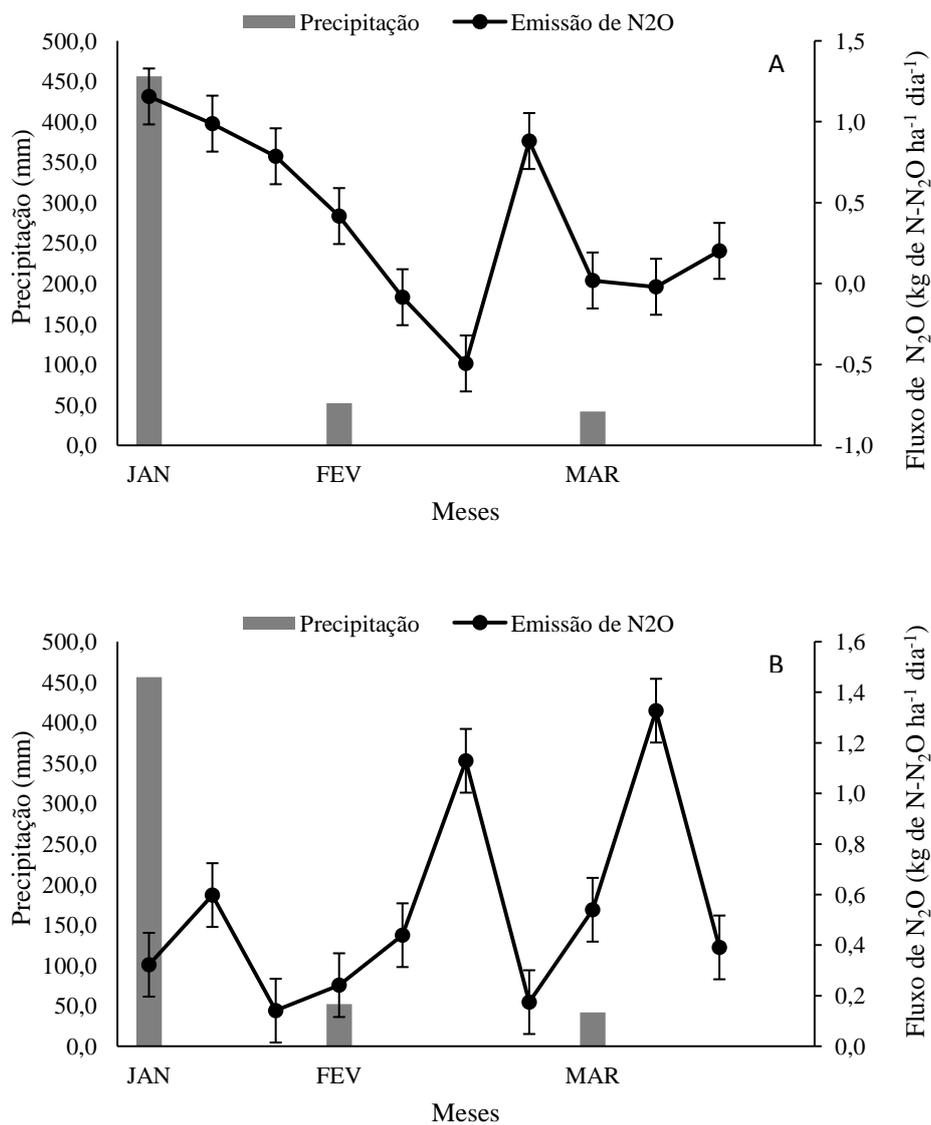


Figura 3.4. Fluxo médio de N₂O durante o período de janeiro à março de 2016, em diferentes sistemas de manejo do solo em Regeneração-PI. A. Cultivo exclusivo de eucalipto; B. Integração-pecuária-floresta.

No CEE, a maior emissão foi observada em janeiro no início da avaliação, quando se observou um pico de emissão de 1,15 kg de N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹, que em seguida reduziu-se consideravelmente atingindo valores negativos (-0,49 kg de N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹) no mês de fevereiro, quando foi observado o menor valor. Entre os meses de fevereiro e março, houve novamente uma elevação nas emissões que posteriormente reduziram-se até o final do período avaliado. No IPF, as emissões variaram de 1,32 à 0,14 kg de N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹, com maior pico de emissão no mês de março. Estas variações nos dois sistemas em estudo se devem principalmente aos eventos de precipitação pluviométrica ocorridos no período de avaliação.

Verificou-se incrementos nas emissões logo após a precipitação pluvial, o que pode ser explicado pela elevação da umidade do solo e consequentemente do percentual do espaço poroso preenchido por água, que por sua vez, é uma importante fonte reguladora dos processos de nitrificação e desnitrificação (ROBERTSON; GROFFMAN, 2007). De acordo, com Davidson et al. (2000), os eventos pluviométricos, promovem elevação da umidade do solo, que por conseguinte o déficit de oxigênio, o que favorece a desnitrificação, principal processo na produção de N_2O no solo.

De maneira geral, as emissões ocorridas no IPF foram maiores em relação aos observados no CEE, o que pode ser atribuído aos efeitos da compactação do solo, provocada pelo pisoteio dos animais durante o pastejo, como também, pela liberação de dejetos como fezes e urina por esses animais. Estes compostos quando depositados no solo podem provocar um aumento da atividade microbiana elevando o consumo de O_2 , podendo gerar sítios de anaerobiose no solo, favorecendo o processo de desnitrificação (GIACOMINI et al., 2006). De acordo com Sordi et al. (2014), o fornecimento de nitrogênio e carbono por meio da deposição dejetos em áreas de pastejo aumentam a atividade dos microorganismos no solo, promovendo a liberação de N_2O .

Com relação às emissões acumuladas de N_2O ao longo do período de avaliação, os valores são baixos nos dois sistemas, apesar de serem maiores no IPF (Figura 3.5).

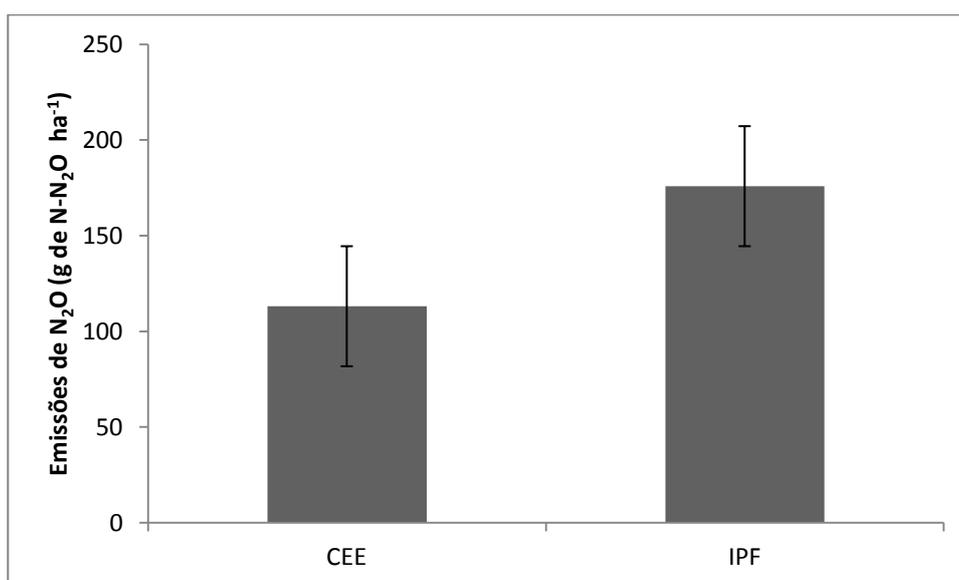


Figura 3.5. Emissão total de N_2O durante o período de janeiro à março de 2016, em diferentes sistemas de manejo do solo em Regeneração-PI. CEE: Cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: Integração-pecuária-floresta.

Os valores obtidos neste trabalho são menores que os alcançados por Corrêa et al. (2016), que obtiveram valores na ordem de 1600 g de N-N₂O ha⁻¹, em sistema de integração-pecuária-floresta, com eucalipto, sendo que tais resultados são em decorrência das adubações nitrogenadas realizadas na pastagem que compõe o sistema. A ausência de práticas agrícolas como aplicações de fertilizantes nitrogenados pode explicar as baixas emissões de N₂O no presente trabalho. Outro fator que pode ter contribuído para estes resultados, é a baixa pluviosidade ocorrida no ano de realização deste trabalho.

Além disso, os baixos valores observados neste estudo podem ser também atribuídos à baixa taxa de decomposição dos resíduos do eucalipto que forma estes sistemas, o que pode ter favorecido o consumo de óxido nitroso pelas bactérias. Nogueira et al. (2016), observaram comportamento semelhante em estudo da emissão de óxido nitroso em sistemas com eucalipto no cerrado brasileiro. Estes autores constaram valores variando de emissão 0,2 à 0,3 kg ha⁻¹ de N₂O nos sistemas floresta de eucalipto, pastagem e sistema integrado lavoura-pecuária-floresta, menores que na lavoura de soja em rotação com milho, com valores de 1,5 kg de N₂O ha⁻¹. Ainda de acordo com os autores a baixa emissão de óxido nitroso em sistemas com a presença do eucalipto, é atribuída tanto à baixa taxa de decomposição dos resíduos da serapilheira, por apresentar provavelmente alta relação C/N, como também ao aporte de amônio pela pastagem que compõe estes sistemas, contribuindo também para o consumo de óxido nitroso no solo.

As curvas de emissões diárias e simuladas nos sistemas em estudos apresentaram comportamentos diferentes das curvas de emissões medidas em campo (Figura 3.6). Os valores simulados com o DNDC apresentaram diferenças em relação aos dados medidos em campo de aproximadamente 51% no CEE e 16% no IPF. Em simulações com utilização do modelo DNDC, na cultura da cana-de-açúcar e culturas de cobertura, foram constatadas diferenças entre simulados e os dados medidos em campo entre 20% e 46% (OLIVEIRA et al., 2014; SCHENATO, 2013). De forma semelhante, Portela, (2015), constatou diferenças variando de 9 à 18%, de acordo com quantidade de palha deixada como cobertura morta.

No CEE, nos 30 dias iniciais de avaliação, os valores simulados foram maiores que os valores medidos, apresentando diferenças de até 56%, indicando superestimação pelo DNDC. A partir do trigésimo dia, houve redução nessa

diferença que atingiu cerca 41% em relação os valores medidos. Em seguida as diferenças aumentaram novamente, porém aos 66° dia, os dados simulados passaram a ser menores que os medidos, que a partir deste ponto aproximaram-se e permaneceram com esse comportamento até o fim das avaliações.

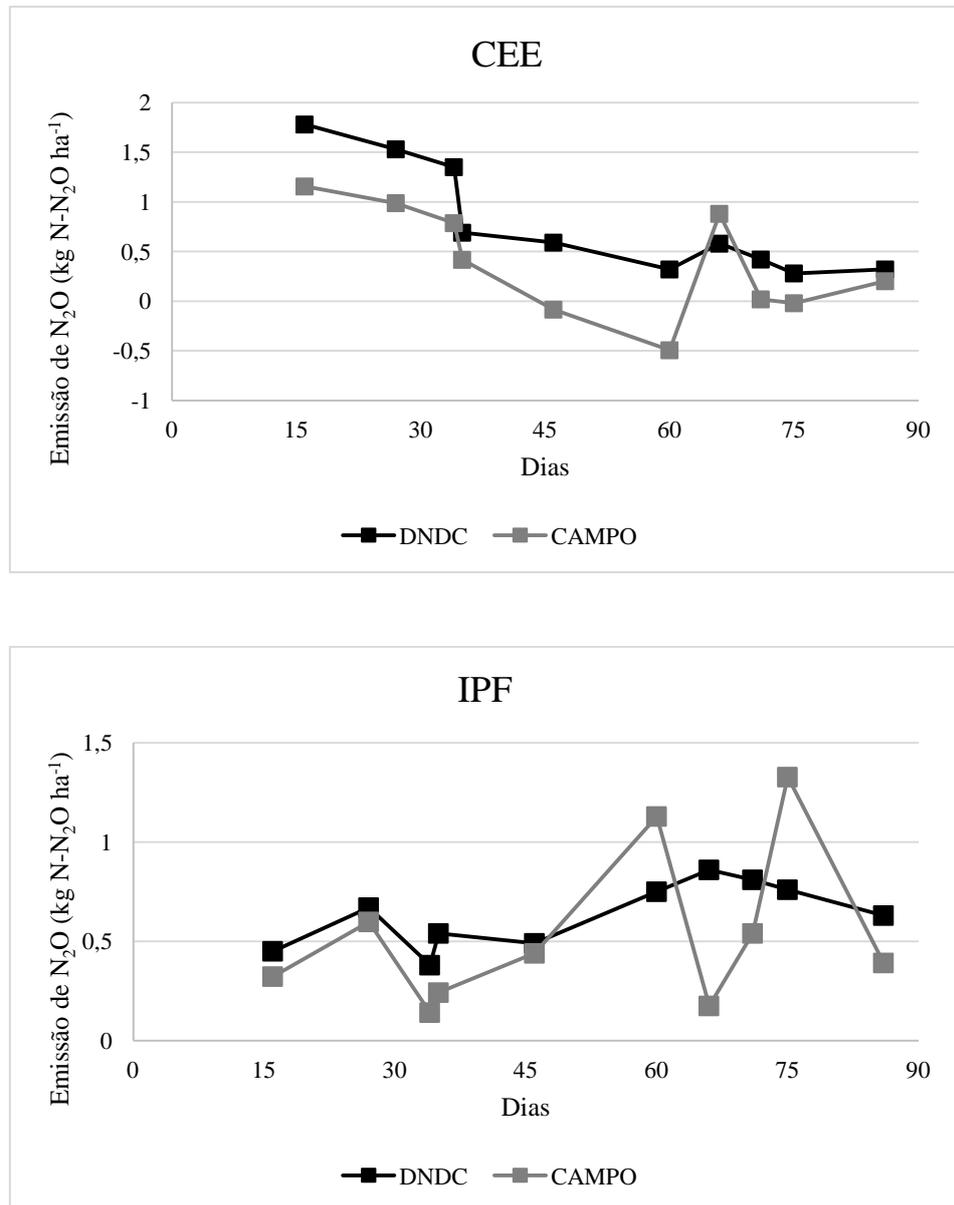


Figura 3.6. Emissões diárias de N-N₂O simuladas no DNDC e medidas em campo durante o período de janeiro à março de 2016, em difrentes sistemas de manejo do solo em Regeneção-PI. CEE: Cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: Integração-pecuária-floresta

Os dados simulados estão de acordo com valores obtidos em trabalhos com sistemas com eucalipto. Mendes et al. (2016), constataram valores nas emissões de óxido nitroso em cultivo de eucalipto com diferentes idades variando de 0,9 a 1,2 kg

de $\text{N-N}_2\text{O ha}^{-1}$. Da mesma forma Coutinho et al. 2010, obtiveram valores na ordem de 0,664 kg de $\text{N-N}_2\text{O há}^{-1}$, em sistemas de cultivo de eucalipto. As semelhanças entre os valores simulados e os resultados obtidos no mesmo sistema de manejo em outros trabalhos demonstram que o DNDC foi ajustado adequadamente, dando confiabilidade as simulações realizadas para as emissões de N_2O .

No IPF, nos primeiros dias de avaliação houve uma aproximação entre os dados simulados e os medidos em campo, maior do que os obtidos no CEE, com diferenças médias de até 13%, que a partir do trigésimo dia distanciaram-se. Do 60º dia em diante, constatou-se que os valores simulados foram menores que os valores medidos em campo. Nos últimos 20 dias de coleta percebeu-se uma constante dos valores simulados, porém maiores que os valores de campo.

Os valores para o índice de concordância de Willmott indicam que as emissões simuladas pelo DNDC possuem uma boa concordância de valores com as emissões observadas, para os dados de emissões diárias nos dois sistemas estudados (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Índices estatísticos de comparação entre emissões de $\text{N-N}_2\text{O}$ simuladas e medidas em campo nos dois sistemas de manejo avaliados para o ano de 2016.

Índices	Fluxos diários	
	CEE	IPF
dr	0,76	0,72
EAM (kg ha^{-1})	-0,08	-0,06
CD	0,72	0,72
CRM	-0,57	-0,32
Eficiência	0,81	0,84

dr: é o índice revisado de concordância de Willmott, EAM: corresponde ao erro médio absoluto; CD: coeficiente de determinação; CRM: coeficiente de massa residual; CEE: cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: integração pecuária-floresta.

Os valores para o erro absoluto médio se aproximam de zero, indicando os resultados modelados apresentam certa confiabilidade. O coeficiente de determinação indicou para os fluxos diários que houve uma medida de proporção total da variação dos resultados explicada pelos dados simulados de forma adequada. Os valores encontrados para coeficiente de massa residual indicam que nos dois sistemas em estudo, embora durante todo o ciclo as emissões tenham sido subestimadas, nas emissões totais o DNDC superestimou os valores em relação às emissões observadas. Para a eficiência, os valores constatarem que não houve um bom ajuste entre os valores simulados e os valores medidos.

As emissões simuladas apresentaram variação nos resultados, devido às condições climáticas abrangidas. Dessa forma, tais resultados, apoiados por dados obtidos na literatura, dão uma sugestão de que a correta estimativa de emissões de GEE por modelos computacionais é consideravelmente complexa, porém apresenta a possibilidade de mostrar dados consistentes.

5. 4. Conclusões

As emissões de N_2O nos dois sistemas avaliados estão associadas principalmente a eventos pluviométricos.

O sistema IPF é menos eficiente em relação ao cultivo de eucalipto na mitigação de gases do efeito estufa como N_2O .

As simulações das emissões de N_2O com utilização do DNDC estão dentro da margem de erro sugerida pelo inventário Brasileiro de Emissões de N_2O de solos agrícolas, o que permite utilizá-lo para estimativas deste gás em plantações de eucalipto e sistemas de integrados de produção no cerrado piauiense.

Referências

- ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A. ; FLORES, R. A. ; CARDOSO, A. S. ; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 46, p. 129-135, 2012.
- BRAGA, D.M.; COSTA, M.K.L.; PONTES, T.L.; ALVES, B.J.R.; SHIGAKI, F. Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso em função da adubação com uréia e vinhoto em cana-de-açúcar. Uberlândia/MG, 2011. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO – CBCS, 33., 2011, Uberlândia/MG, Anais... Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia/UFU, 2011, v. 1, p. 1-3.
- CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Scient Agricult*, n. 64, p. 83-99, 2007.
- CORRÊA, R. S.; MADARI, B. E.; CARVALHO, G. D.; COSTA, A. R.; PEREIRA, A. C. C. & MEDEIROS, J. C. Fluxos de óxido nitroso e suas relações com atributos físicos e químicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.51, n.9, p.1148-1155, 2016.
- DALAL, R.C.; WANG, W.; ROBERTSON, G.P.; PARTON, W.J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian Journal of Soil Research*, v. 41, p. 165-195, 2003.
- DAVIDSON, E. A.; KELLER, M.; ERICKSON, H. E.; VERCHOT, L. V.; VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. *BioScience*, v.50, p.667-680, 2000.
- GIACOMINI, S. J. et al. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1653-1661, Nov. 2006.
- HARRISON, R.; WEBB, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. *Advances in Agronomy*, v. 73, p. 65-108, 2001.
- LI, C. Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. *Nutrient cycling in agrosystems*. Dordrecht. V. 58: 259-276, 2000. 37 .
- LI, C, FROLKING S.; FROLKING T. A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. model structure and sensivity. *J. Geophys Res*. 97: 9759-9776. 1992.
- LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*, Amsterdam, v. 7, p. 51-73, 1991.
- MASTERS, G. M.; ELA, W. *Introdution to environmental engineering and science*. 3^a ed. Upper Saddle River, N. J.: Prentice hall, 2008, 708p.

MENDES, I. S.; SILVA, C. C.; IOCHIMS, D. A.; DIAS, V. S.; WEBER, M. A.; VIERA, F. C. B. Fluxo de óxido nitroso e metano em solo com eucalipto de diferentes idades no pampa. Anais do VII Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão – Universidade Federal do Pampa, Bagé- RS, 2016.

NOGUEIRA, A. K. S.; RODRIGUES, R. A. R.; SILVA, J. J. N.; BOTIN, A. A.; SILVEIRA, J. G.; MOMBACH, M. A.; ARMACOLO, N. M. & ROMEIRO, S. O. Fluxos de óxido nitroso em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta Pesq. agropec. bras., Brasília, v.51, n.9, p.1156-1162, 2016

OLIVEIRA, M. E. D. de. Estimativas de Emissões de N₂O e CH₄ na cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Piracicaba- SP (Tese de Doutorado), 2014.

PORTELA, M. G. T. Fluxo de óxido nitroso e atributos microbiológicos do solo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes níveis de palhada. Teresina-PI (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, 2015.

PRUSTY, S.; SONTAKKE, U . B. and KUNDU, S. S. Methane and nitrous oxide emission from livestock manure. African Journal Biotechnology. v.13, p.4200 4027, 2014.

ROBERTSON, G. P.; GROFFMAN, P. M. Nitrogen transformations. PAUL, E. A. (Ed.). Soil microbiology, biochemistry and ecology. 3rd ed. Oxford: Elsevier, 2007. p.341-364.

SCHENATO, R. B. Simulação de fluxos de gases de efeito estufa em sistemas de manejo do solo no sul do Brasil. Tese (Doutorado em ciência do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

SIGNOR, D.; CERRI, C.E.P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 43, n. 3, p. 322-338, 2013.

SIQUEIRA NETO, M. PICCOLO, M. C.; JUNIOR, C. C.; CERRI, C. C. & BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p.63-76, 2011.

SORDI, A.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, M. A.; PIVA, J. T.; ZANATTA, J. A.; TOMAZI, M.; ROSA, C. M.; MORAES, A. de. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. Agriculture Ecosystems and Environment, v.190, p.94-103, 2014.

THOMSON, A. J. et al. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. Philosophical Transactions of The Royal Society Biological Sciences, London, v. 367, n. 1593, p. 1157- 1168, 2012.

TOMLINSON, P.; DEANN, P. e RICE, C. Greenhouses gasses in agriculture. Kansas States University. [http:// www.ksre.ksu.edu](http://www.ksre.ksu.edu), 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, UK, 2007. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11, p. 5-6, S.

WASSMANN, R.; VLEK, P.L.G. Mitigating greenhouse gas emissions from tropical agriculture: scope and research priorities. *Environment, Development and Sustainability*, n. 6, p. 1-9, 2004.

Considerações finais

Após a finalização da presente pesquisa, considera-se que não houve um sistema de manejo que possa ser unânime para a recomendação do ponto vista ambiental. Os sistemas de manejo IPF e CEE proporcionam aumento nos teores de COT e favorece a biomassa microbiana, por proporcionar condições edáficas mais favoráveis a população microbiana. Além disso, apresentam favorecem a fauna invertebrada edáfica, promovendo aumento na riqueza de grupos e nos índices ecológicos de Shannon e Pielou. Desta forma estes sistemas de manejo podem ser considerados importantes soluções tecnológicas, sendo indicados como alternativas para a agricultura sustentável no cerrado piauiense, gerando para o produtor benefícios técnicos, ambientais e socioeconômicos. Porém, a realização de novos estudos no cerrado piauiense são necessários para melhor entendimento da evolução das condições ambientais nestes sistemas ao longo do tempo.