

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

Virgínia Oliveira Coelho

**FAUNA EDÁFICA COMO BIOINDICADORA DA QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS SOB  
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO**

Uberaba/MG

2020

Virgínia Oliveira Coelho

**Fauna edáfica como bioindicadora da qualidade do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres.  
Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Carolina Borella Marfil Anhô.

Uberaba/MG

2020

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro**

|       |   |
|-------|---|
| C621f | <p>Coelho, Virginia Oliveira<br/>Fauna edáfica como bioindicadora da qualidade do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado / Virginia Oliveira Coelho. -- 2020. 53 p. : graf., tab.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) -- Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2020<br/>Orientador: Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres<br/>Coorientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Borella Marfil Anê</p> <p>1. Animais do solo. 2. Solos - Qualidade. 3. Plantio (Cultivo de plantas). I. Torres, José Luiz Rodrigues. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.</p> <p>CDU 591.9:332.54</p> |
|-------|---|

**VIRGÍNIA OLIVEIRA COELHO**

**FAUNA EDÁFICA COMO BIOINDICADORA DA QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES  
SISTEMAS DE MANEJO NO BIOMA CERRADO**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, para obtenção do título de mestre.**

**Uberaba, 18 de novembro de 2020.**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres  
Orientador - IFTM/UFTM**

**Prof. Dr. Robson Thomaz Thuler  
Membro Titular - IFTM**

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sandra Santana de Lima  
Membro Titular - UFRRJ**

---



Documento assinado eletronicamente por José Luiz Rodrigues Torres, Usuário Externo, em 24/11/2020, às 13:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).

---



Documento assinado eletronicamente por SANDRA SANTANA DE LIMA, Usuário Externo, em 24/11/2020, às 14:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).

---



Documento assinado eletronicamente por Robson Thomaz Thuler, Usuário Externo, em 30/11/2020, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[http://sei.ufm.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 0436944 e o código CRC93B3E858.

---

*Dedico esta dissertação a minha  
família por todo o apoio  
recebido e em especial a tia  
Irmã Emiliana (in memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais e irmãos que sempre estão ao meu lado, ao meu esposo Antonio e minhas filhas, Lara e Emília, que apoiaram, acreditaram em mim e sem eles seria tudo mais difícil.

Agradeço a acolhida carinhosa de todos os colegas do Mestrado, aos amigos que fiz ao longo dessa caminhada e aos professores que desempenharam seu papel com muita dedicação e competência.

À Secretaria Municipal de Saúde, na pessoa do diretor da Diretoria de Vigilância em Saúde, Robert Boaventura de Souza, a minha gratidão por me ajudar a conciliar o meu trabalho com os meus estudos.

A realização deste projeto só foi possível com a participação dos alunos do Núcleo de Pesquisa em Manejo de Solo e Água (NUPEMASA) do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, agradeço a todos pelo compromisso e apoio total à execução do projeto.

Para a realização dessa dissertação pude contar com a colaboração da Prof. Dra. Sandra Santana de Lima, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, a qual tenho enorme admiração e tive a oportunidade de aprender muito com ela.

Ao Instituto Federal do Triângulo Mineiro, por ter disponibilizado as áreas experimentais para coleta de amostras de solo e ter montado a estrutura dos funis.

Agradeço a minha co-orientadora Prof. Dra. Ana Carolina Borella Marfil Anhô pela colaboração e confiança.

Gostaria de fazer um agradecimento muito especial ao meu orientador que acreditou em mim, que me apoiou muito durante todo esse tempo e que me proporcionou a realização de um sonho muito antigo. Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres, ou melhor, Zé, muito obrigada por tudo!

A Universidade Federal do Triângulo Mineiro e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, que com toda a infraestrutura me permitiu realizar o sonho de dar continuidade aos estudos e concluir o curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental.

A TODOS, MEU MUITO OBRIGADO!

## RESUMO

Os sistemas de manejo podem alterar a comunidade da fauna edáfica, pois são organismos sensíveis as práticas agrícolas. O objetivo deste estudo foi verificar a influência da sazonalidade e de sistemas de manejo do solo em diferentes tempos de implantação na fauna invertebrada da serapilheira e do solo em diferentes profundidades, no Cerrado, em Uberaba, MG. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x3, com diferentes sistemas de manejo: 1-Sistema de plantio direto (SPD) implantado há 6 anos (SPD6), 2-SPD há 17 anos (SPD17), 3-Sistema de plantio convencional (SPC) há 20 anos (SPC20) e 4-Mata Nativa (MN) em regeneração há 20 anos (MN20), na serapilheira e nas profundidades: 0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m, com cinco repetições para cada área. Para a amostragem da macrofauna foi utilizada a metodologia proposta por Tropical Soil Biological and Fertility Program (TSBF). As amostragens foram realizadas no período chuvoso (novembro de 2019) e no período seco (maio de 2020). A partir da determinação do número de indivíduos por metro quadrado ( $\text{ind.m}^{-2}$ ), calculou-se a riqueza total e os índices de diversidade de Shannon e de equitabilidade de Pielou. No período chuvoso, observou-se maior riqueza, maior densidade e maiores índices de Shannon e de Pielou na serapilheira dos sistemas de plantio direto quando comparado ao sistema convencional. Para o período seco, a profundidade de 0,0 a 0,10 m favoreceu a densidade, a riqueza e a diversidade da macrofauna. Portanto, a sazonalidade influenciou a macrofauna. O tempo de adoção do sistema de plantio direto também influenciou diretamente a macrofauna edáfica, onde o SPD17 é mais semelhante da MN20.

**Palavras-chave:** Fauna do solo. Indicador de qualidade. Plantio convencional. Plantio direto.

## ABSTRACT

Management systems can alter the edaphic fauna community, as they are sensitive to agricultural practices. The aim of this study was to verify the influence of seasonality and soil management systems at different times of implantation in invertebrate fauna in litter and soil at different depths, in the Cerrado, in Uberaba, MG. The design used was completely randomized, in a 4x3 factorial scheme, with different management systems: 1-No-tillage system (SPD) implanted 6 years ago (SPD6), 2-SPD 17 years ago (SPD17), 3-System of conventional planting (SPC) 20 years ago (SPC20) and 4-Native Forest (MN) regenerating 20 years ago (MN20), in litter and depths: 0 - 0.10; 0.10 - 0.20 and 0.20 - 0.30 m, with five repetitions for each area. For the sampling of macrofauna, the methodology proposed by Tropical Soil Biological and Fertility Program (TSBF) was used. Sampling was carried out in the rainy season (November 2019) and in the dry season (May 2020). From the determination of the number of individuals per square meter (ind.m<sup>-2</sup>), the total richness and the Shannon's diversity and Pielou's equitability indexes were calculated. In the rainy season, greater richness, higher density and higher Shannon and Pielou rates were observed in the litter of no-tillage systems when compared to the conventional system. For the dry period, the depth of 0.0 to 0.10 m favored the density, richness and diversity of the macrofauna. Therefore, seasonality influenced the macrofauna. The time of adoption of the no-till system also directly influenced the edaphic macrofauna, where SPD17 is more similar to MN20.

**Keywords:** Soil fauna. Quality indicator. Conventional tillage. No-tillage.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> - Delimitação das áreas no Campus do IFTM, Uberaba, MG.....  | 24 |
| <b>Figura 2</b> - Precipitação (mm) e temperatura média mensal (°C) entre janeiro a dezembro/2019 e janeiro a setembro/2020, obtidas na Estação Meteorológica do IFTM Campus Uberaba, durante a condução do experimento.....   | 22 |
| <b>Figura 3</b> - Frequência relativa dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna nos diferentes sistemas de manejo e profundidades, no período chuvoso, em Uberaba, MG.....  | 34 |
| <b>Figura 4</b> - Análise de agrupamento de similaridade de Cluster e porcentagem da distribuição vertical do número de ind.m <sup>-2</sup> dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna na serapilheira e nas diferentes profundidades do solo nos sistemas de manejo, no período chuvoso, Uberaba, MG..... | 37 |
| <b>Figura 5</b> - Frequência relativa dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna nos diferentes sistemas de manejo e profundidades, no período seco, em Uberaba, MG.....   | 38 |
| <b>Figura 6</b> - Análise de agrupamento de similaridade de Cluster e porcentagem da distribuição vertical do número de ind.m <sup>-2</sup> dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna na serapilheira e nas diferentes profundidades do solo nos sistemas de manejo, no período seco, Uberaba, MG.....    | 41 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1</b> - Principais classes e ordens da macrofauna do solo e sua classificação funcional.....  | 17 |
| <b>Tabela 2</b> -Histórico, descrição e localização das áreas de estudo.....  | 21 |
| <b>Tabela 3</b> - Características químicas do solo nos diferentes sistemas de manejo e profundidades, no município de Uberaba, MG.....  | 23 |
| <b>Tabela 4</b> - Densidade de indivíduos no perfil avaliado (0,0 a 0,30 m), expressa em metro quadrado (ind.m <sup>-2</sup> ), e índices ecológicos nos diferentes sistemas de manejo, em Uberaba, MG, no período chuvoso..... | 28 |
| <b>Tabela 5</b> - Densidade de indivíduos no perfil avaliado (0,0 a 0,30 m), expressa em metro quadrado (ind.m <sup>-2</sup> ), e índices ecológicos nos diferentes sistemas de manejo, em Uberaba, MG, no período seco.....    | 31 |
| <b>Tabela 6</b> - Densidade da macrofauna edáfica (Ind.m <sup>-2</sup> ) e seus índices ecológicos na serapilheira e nas profundidades dos diferentes sistemas de manejo, no período chuvoso, Uberaba, MG.....                  | 34 |
| <b>Tabela 7</b> - Densidade da macrofauna edáfica (Ind.m <sup>-2</sup> ) e seus índices ecológicos na serapilheira e nas profundidades dos diferentes sistemas de manejo, no período seco, Uberaba, MG.....                     | 39 |

## SUMÁRIO

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                 | 10 |
| <b>2</b> | <b>Objetivos</b> .....                                  | 11 |
| 2.1.     | Objetivo geral.....                                     | 11 |
| 2.2.     | Objetivos específicos.....                              | 11 |
| <b>3</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....                      | 12 |
| 3.1.     | Cerrado.....  | 12 |
| 3.2.     | Agroecossistemas.....                                   | 13 |
| 3.3.     | As plantas de cobertura e seus resíduos culturais ..... | 15 |
| 3.4.     | Fauna edáfica.....                                      | 16 |
| 3.5.     | Bioindicadores da qualidade do solo.....                | 19 |
| <b>4</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                        | 21 |
| 4.1.     | Caracterização da área experimental.....                | 21 |
| 4.2.     | Clima da região.....                                    | 22 |
| 4.3.     | Tipo de solo e fertilidade.....                         | 22 |
| 4.4.     | Delineamento experimental.....                          | 24 |
| 4.5.     | Amostragem da macrofauna.....                           | 24 |
| 4.6.     | Análise de dados.....                                   | 25 |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....                    | 27 |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES</b> .....                                 | 43 |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                | 44 |

## 1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas naturais preservados possuem uma biodiversidade característica com uma estrutura dinâmica, onde os organismos vivos apresentam uma estreita relação entre si e o ambiente estabelecendo uma regulação interna de funcionamento que controla o fluxo de energia, de nutrientes e de informação.

No ecossistema agrícola, essa regulação é perdida devido à simplificação do sistema, pois as alterações causadas pelas diferentes formas de manejo afetam a diversidade e a distribuição da fauna do solo à medida que alteram seu habitat e a disponibilidade de recurso alimentar, modificando as interações ecológicas intra e interespecíficas. Nesta perspectiva, os sistemas de produção agrícola podem ser considerados agroecossistemas, que diferem do sistema natural por utilizar energia auxiliar, proveniente do trabalho humano, animal, fertilizantes, pesticidas, água de irrigação, combustível para mover maquinaria (ODUM, 1983), dentre outros, que conduz à degradação do ambiente edáfico.

O sistema de produção agrícola possui a cobertura vegetal selecionada artificialmente e isso irá influenciar a diversidade da fauna edáfica que desempenha serviços ecossistêmicos como fragmentação de resíduos orgânicos, aeração, ciclagem de nutrientes, decomposição de matéria orgânica e manutenção do equilíbrio biológico do solo, que possibilita alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos no ecossistema, afetando as interações solo-planta.

Nos agroecossistemas, a diversidade da cobertura vegetal utilizada interfere na formação dos microhabitats e nichos dos organismos invertebrados do solo, portanto existe uma relação direta entre a diversidade da cobertura vegetal, dos resíduos culturais e remanescentes de sistema radicular deixados no solo e da fauna edáfica existente. Alguns organismos edáficos atuam na fragmentação dos resíduos vegetais enquanto outros mais especificamente provocam alterações na estrutura do solo.

A caracterização da fauna edáfica do solo é uma importante ferramenta que pode auxiliar na compreensão da dinâmica ecológica dos ambientes onde esses organismos estão inseridos, assim como nas alterações que ocorrem na população destes organismos devido à introdução dos diferentes sistemas de manejo nas áreas produtivas, com isso a fauna edáfica pode ser utilizada como um bioindicador da qualidade do solo, uma vez que estes organismos são capazes de responder rapidamente às modificações no ambiente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1. GERAL**

Avaliar a influência da sazonalidade e dos sistemas de manejo do solo em diferentes estágios de implantação na fauna edáfica da serapilheira e em diferentes profundidades no Cerrado.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

- . Identificar a macrofauna edáfica nos grandes grupos taxonômicos;
- . Analisar a diversidade dos grupos taxonômicos no período seco e chuvoso;
- . Avaliar a distribuição vertical dos organismos da macrofauna.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 CERRADO

A relação entre os fatores bióticos e abióticos caracterizam os diferentes ecossistemas, assim os organismos vivos interagindo com o ambiente físico em uma determinada região tem como resultado um fluxo de energia e uma ciclagem de nutrientes entre as duas partes e, dessa forma, mantem-se o equilíbrio dos ecossistemas. Estes podem ser categorizados em biomas quando a vegetação se encontra no clímax (ODUM, 1983), sendo o clima, a topografia e o solo diferenciais para definir os limites entre os biomas (RIBEIRO & WALTER, 1998; RICKLEFS, 2010).

A biodiversidade da fauna edáfica em um ecossistema influencia a sustentabilidade e o equilíbrio desse ecossistema (WINK et al., 2005). Dentre as causas que afetam essa biodiversidade estão as ações antrópicas como a degradação de áreas nativas, preparo e intensificação do uso do solo, queimadas, exploração mineral, contaminação do solo, água e atmosfera com poluentes (BARETTA, 2007).

A diversidade da cobertura vegetal em um ecossistema influencia a qualidade da serapilheira que, por sua vez, mantém a estabilidade do microclima nos nichos ecológicos formados a partir da presença da mesma, afetando a fauna edáfica (AMAZONAS et al., 2018). As mudanças na macrofauna edáfica acontecem juntamente com as mudanças na vegetação e com a sua complexidade. Além disso, a correlação positiva entre a densidade da macrofauna e a cobertura vegetal indica que esta pode ser considerada um bom parâmetro para inferir sobre a qualidade do manejo (NUNES et al., 2019).

O Cerrado apresenta uma enorme biodiversidade, sendo considerado um dos hotspots de diversidade do mundo, sendo refúgio de 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins dos trópicos. Entretanto, apesar da sua importância socioambiental, o Cerrado é o segundo bioma que mais sofreu alterações antrópicas e possui as menores áreas protegidas por lei, possui 8,21% de seu território legalmente protegido por unidades de conservação; desse total, 2,85% são unidades de conservação de proteção integral e 5,36% de unidades de conservação de uso sustentável, incluindo RPPNs (0,07%) (BRASIL, 2020). Nos últimos anos o Cerrado foi o bioma mais desmatado para ser substituído pela expansão agrícola, mesmo possuindo o solo antigo, intemperizado e pobre em nutrientes.

### 3.2 AGROECOSSISTEMAS

O ecossistema é composto por uma organização com as seguintes partes, os indivíduos, as populações, a comunidade e o ecossistema propriamente. Esses quatro níveis de organização podem ser aplicados também aos agroecossistemas (ODUM, 1983). Sendo que nestes, os reguladores biológicos podem ser divididos em três subsistemas: plantas, herbívoros e decompositores agrupados em *biota produtiva*, *biota recurso*, *biota destrutiva* (SWIFT et al., 1979; ANDERSON & INGRAM, 1993).

A biota produtiva compreende as plantas cultivadas, a biota recurso representa os organismos que contribuem positivamente para a produtividade do sistema, como a fauna edáfica. Entretanto, apesar de todo o conhecimento existente sobre esta fauna, ainda há muito a ser estudado sobre sua relação com os sistemas de plantio afim de que esse grupo possa ser diretamente manejado. A biota destrutiva compreende as pragas, os patógenos microbianos e as plantas invasoras (AQUINO, 2006; SPILLER et al, 2018).

Os ecossistemas com habitats estruturalmente mais complexos como as florestas tendem a abrigar uma fauna edáfica mais abundante e diversificada, em virtude da maior disponibilidade de nichos ecológicos, abrigo e recursos alimentares, associado ao menor risco de predação, enquanto que ambientes homogêneos e simplificados, como os monocultivos, tendem a ser mais restritivos, favorecendo alguns grupos da fauna em relação a outros (SPILLER et al., 2018).

Algumas áreas de cultivo com o solo degradado foram recuperadas, sendo os processos de sucessão ecológica em áreas de restauração florestal ou regeneração natural, bem descritos, entretanto, é escasso o conhecimento sobre a relação destes processos com a fauna edáfica, visto que para manejar a cobertura vegetal é preciso avaliar se esta alteração será benéfica para fauna do solo e quais seriam as consequências disso para a dinâmica do ecossistema (AMAZONAS et al., 2018). Pela diversidade das funções que realizam no ambiente edáfico, alguns desses invertebrados têm sido vistos como agentes da restauração de ambientes degradados (MENEZES et al., 2009).

Para aumentar a produtividade agrícola elevadas quantidades de produtos químicos são aplicadas, em especial nos grandes monocultivos, com o intuito de combater os organismos indesejados (FREITAS, 2007), e pouco se sabe sobre como o uso destes produtos interfere na biodiversidade da fauna edáfica. O uso indiscriminado destes produtos pode eliminar momentaneamente indivíduos de algum nível da cadeia trófica (ODUM, 1983), desestruturando

o sistema (BARTZ et al., 2009) e ainda exercer efeito sobre a composição da biota no ambiente por eliminar indivíduos em estádios de vida específicos, como larvas e ovos.

Estudos de manejo do solo no Cerrado foram conduzidos com o objetivo de desenvolver estratégias para reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre esse ambiente. O sistema de plantio direto (SPD) se consolidou como um sistema de produção mais sustentável para o Cerrado brasileiro, que proporciona alterações positivas nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos ao longo das fases que atravessa, entretanto, somente ao atingir a fase de manutenção é que poderá expressar todo seu potencial de benefícios ao agroecossistema (MAZETTO JUNIOR et al., 2019).

Estas fases são divididas em inicial (primeiros 5 anos), transição (5-10 anos), consolidação (10-20 anos) e de manutenção (acima de 20 anos), quando só então a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos são mais acentuadas e quantificáveis (SÁ et al., 2004). Contudo, é importante considerar que o tempo de resposta ao manejo depende do atributo avaliado, que podem responder em menor intervalo de tempo.

Dentre os inúmeros benefícios promovidos pelo aporte de resíduos vegetais na superfície e dos remanescentes de sistema radicular na sub superfície ao longo destas fases, pode-se destacar a melhoria dos atributos físicos e químicos (TORRES et al., 2015; SILVA et al., 2020), nas modificações e distribuição da MOS em seus compartimentos (ARAÚJO et al., 2018; TORRES et al., 2019) e no aumento e diversidade da fauna edáfica (YAMADA et al., 2007; FERREIRA et al., 2019), que resultam na melhoria da qualidade do solo (LIMA et al., 2020).

As altas temperaturas e o manejo inadequado do solo, como o plantio convencional e uso de monocultivo, podem levar a uma diminuição dos estoques de carbono de origem orgânica, pois afetam as taxas metabólicas dos microorganismos nos processos de decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo. Porém, observou-se que no sistema de plantio direto ocorreu mais acúmulo de carbono e nitrogênio e, o não revolvimento do solo, melhorou a porosidade do solo o que favoreceu a distribuição da fauna edáfica e a sua diversidade, dessa forma ocorreu um aumento dos inimigos naturais de pragas e doenças (ANGELINI et al, 2012).

Em seu estudo, Liiri et al. (2012) compararam os efeitos da complexidade funcional dos organismos do solo em reter nitrogênio, carbono e outros produtos e se esses efeitos eram influenciados pelo tipo de solo. Os resultados deste estudo mostraram que em relação à macroestrutura do solo e a diversidade da fauna edáfica as consequências do uso da terra permanecem e afetam os processos do solo mesmo após a interrupção das práticas agrícolas,

portanto, importantes serviços ecossistêmicos podem ser perdidos, demorando muito tempo para serem recuperados após tais práticas serem cessadas, pois a resiliência de alguns processos do solo é muito lenta.

O plantio direto e o convencional proporcionam efeitos diferentes na estrutura e na função da cadeia alimentar dos decompositores mostrando que o funcionamento da cadeia é governado por meio do recurso-base que seria a matéria orgânica, assim uma alteração nesse recurso-base promove um efeito cascata em toda a cadeia trófica (HENDRIX et al., 1986; AQUINO, 2006).

As mudanças que ocorrem no ambiente edáfico, relacionadas aos sistemas de manejo adotados, podem ser qualificadas e quantificadas através dos indicadores de qualidade do solo (BIANCHI et al., 2017). Neste contexto, a fauna invertebrada do solo é considerada um destes indicadores, pois o desenvolvimento da comunidade destes organismos é sensível às práticas de manejo, tipo de cobertura vegetal e às variações sazonais (AQUINO et al., 2006; SANTOS et al., 2008; BATISTA et al., 2014; LIMA et al., 2019).

### **3.3 AS PLANTAS DE COBERTURA E SEUS RESÍDUOS CULTURAIS**

O Cerrado é um bioma que tem influência direta das altas temperaturas, onde predominam os Latossolos, que sofrem um processo de forte intemperização desde a sua formação, que de forma geral são ácidos, pobres em fertilidade, com forte adsorção de fosforo, mesmo assim, tem sido a fronteira do país nestas últimas décadas, com isso tem perdido grande parte da sua vegetação natural, dando lugar a exploração agrícola (TORRES et al., 2019).

As práticas de conservação do solo do Cerrado vêm sendo amplamente difundidas, sempre com o objetivo de melhorar a qualidade física, química e biológica destes solos e diminuir os problemas com as erosões frequentes, dentre as práticas mais utilizadas, a utilização do sistema de plantio direto tem se destacado como aquele que apresenta maior sustentabilidade e melhor adaptado para a região (BROWN et al., 2009; MAZETTO JUNIOR et al., 2019; SILVA et al., 2020).

O sistema de plantio direto tem três premissas básicas: o mínimo revolvimento do solo para a semeadura, a manutenção dos resíduos na superfície e um eficiente sistema de rotação de culturas, com isso ocorre um aporte constante de resíduos vegetais na camada superficial do solo e remanescentes de sistema radicular na subsuperfície, quando todo este material orgânico aportado entrar em processo de decomposição e mineralização, proporcionara alterações

positivas nos seus atributos físicos, químicos e biológicos (DEMARCHI et al., 2011; GUARESCHI et al., 2012).

De acordo com Silva et al. (1999) e Ferreira et al. (2000) para que as plantas de cobertura façam parte de um sistema de produção é importante que o sistema radicular seja profundo para facilitar a reciclagem de nutrientes; tenha uma elevada produção de massa seca, tanto da parte aérea quanto na radicular; tenha uma grande velocidade de crescimento e de cobertura do solo; seja rústica e agressiva; possua baixo custo de sementes e apresente facilidade na produção das mesmas. Também é interessante que as plantas de cobertura possuam efeitos alelopáticos e/ou supressores de plantas daninhas (EMBRAPA, 2019).

Este aporte de material orgânico na superfície do solo dará origem a serapilheira, que é o local onde tem início do processo de transformação deste material orgânico, onde estão presentes os organismos responsáveis pela tarefa de iniciar a fragmentação das cadeias carbônicas, sendo o habitat destes organismos dentro do agroecossistema e um condicionante para a fertilidade do solo (MERLIM, 2005; MARQUES et al., 2014).

### **3.4 FAUNA EDÁFICA**

A fauna edáfica comporta organismos invertebrados que vivem algumas fases de seu desenvolvimento no solo ou na serapilheira, que pode ser classificada de acordo com o diâmetro do corpo, sendo caracterizados como microfauna os invertebrados com diâmetro menor 0,2 mm, que englobam protozoários, nematoides e rotíferas. Na mesofauna o diâmetro varia de 0,2 a 2,0 mm, representada por ácaros, colembolas, alguns grupos de miriápodes, alguns oligoquetos e crustáceos, enquanto que a macrofauna apresenta diâmetro maior que 2,0 mm, onde estão inseridos os cupins (Isoptera), as aranhas (Araneae), piolho-de-cobra (Diplopoda), centopéia (Chilopoda), formigas (Hymenoptera), minhocas (Oligochaeta) e moluscos (Mollusca) (SWIFT et al., 1979; AQUINO, 2005;; LIMA, 2010; BARETTA et al., 2011; MARQUES et al. 2014).

A macrofauna inclui mais de 20 grupos taxonômicos: minhocas (Haplotaxida), cupins (Isoptera), formigas (Hymenoptera: Formicidae) e formigas-leão (Neuroptera), centopéias ou lacraias (Chilopoda), milipéias ou piolhos de cobra (Diplopoda), aranhas (Araneae), opilhões (Opiliones), larvas e adultos de besouros (Coleoptera), grilos (Orthoptera), cigarras (Homoptera), caracóis e lesmas (Gastropoda), escorpiões (Scorpiones), pseudo-escorpiões (Pseudoscorpiones), baratas (Blattaria), tatuzinhos (Isopoda), tesourinhas (Dermaptera), larvas de moscas (Diptera) e de mariposas (Lepidoptera), traças (Thysanura). Cada grupo taxonômico

possui sua classificação funcional, ou seja, o papel que desempenha no ecossistema (Tabela 1) (BROWN et al., 2015).

Os estudos sobre os invertebrados na dinâmica do solo têm contribuído para o melhor entendimento de sua importância para a manutenção da capacidade produtiva dos sistemas agrícolas (LAVELLE et al., 1997). Estes invertebrados são um recurso a ser manejado através da identificação da melhor forma de otimizar as atividades desta fauna, ou seja, enfatizar nos grupos de invertebrados de acordo com o objetivo a ser alcançado dentro da sua produção e, não somente, aumentar o número de espécies (AQUINO, 2006; BROWN et al., 2009).

A atividade desses organismos, bem como suas especificidades, é fundamental para a sustentabilidade dos ecossistemas, naturais ou manejados, entretanto, as práticas agronômicas como o manejo do solo (ARAUJO et al., 2018), adubação, uso de agrotóxicos, monoculturas, queimadas (ALVES et al., 2016), entre outros, podem atingir fortemente os organismos do solo, modificando consideravelmente a abundância e a diversidade da comunidade edáfica (CATANOZI, 2010).

Assim, a interação dos invertebrados com as diferentes formas de manejar e fazer uso do solo é um importante parâmetro para a avaliação da sua qualidade, pois a abundância, a riqueza e a diversidade dos organismos são dependentes das práticas de manejo, intensidade de uso do solo, modificações no microclima e no tipo de cobertura vegetal (ABREU et al., 2014; MARQUES et al., 2014; SIQUEIRA et al., 2016).

Tabela 1. Principais classes ou ordens da macrofauna do solo e sua classificação funcional.

| Filo, Ordem e Classe<br>(nome comum)  | Espécies  |                     | Grupo funcional |    |    |    |
|---|-----------|---------------------|-----------------|----|----|----|
|   | Mundo     | Brasil <sup>a</sup> | GB              | DD | FP | PP |
| <b>Hexapoda</b>   |           |                     |                 |    |    |    |
| Coleoptera (besouros)   | 350.000cd | 30.000cd            | x               | x  | x  | x  |
| Neuroptera (formiga - leão)   | 2.000     | 359                 |                 |    |    | x  |
| Hemiptera (percevejos e cigarras)   | 80.000c   | 10.191c             |                 | x  | x  | x  |
| Orthoptera (grilos)   | 23.000c   | 1.480c              |                 | x  | x  |    |
| Diptera (moscas)  | 125.000c  | 8.700c              |                 | x  | x  | x  |
| Archaeognata/Zygeontoma (traças)  | 350c      | 25c                 |                 | x  | x  |    |
| Blattaria (baratas)   | 4.600c    | 644c                |                 | x  | x  |    |
| Psocoptera  | 5.500c    | 425c                |                 | x  | x  |    |
| Dermaptera (tesourinhas)  | 1.800c    | 145c                |                 | x  | x  | x  |
| Isoptera (cupins)   | 2.800c    | 290c                | x               | x  | x  |    |
| Hymenoptera: Formicidae (formigas)  | 15.776c   | 2.750c              |                 | x  | x  | x  |
| Hymenoptera: Vespidae e Apidae<br>(vespas, marimbondos e abelhas,<br>mamangaba, zangão) | 28.000c   | 4.068c              |                 |    |    | x  |
| Lepidoptera (mariposas, borboletas)   | 155.181e  | 26.016d             |                 |    | x  | x  |
| <b>Myriapoda</b>  | 1.259c    | 119c                |                 |    |    |    |

|  |         |        |   |   |   |   |
|--|---------|--------|---|---|---|---|
| Diplopoda (milipéias, gongôlos)                                    | 10.000c | 300c   |   | x | x |   |
| Chilopoda (centopéias)   | 2.500c  | 150c   | x |   |   | x |
| <b>Chelicerata</b> (aracnídeos)                                    |         |        |   |   |   |   |
| Scorpionida (escorpiões)   | 38.884c | 2.587c |   |   |   | x |
| Aranae (aranhas)   | 38.884c | 2.587c |   |   | x | x |
| Opiliona (opiliões)  | 5.500c  | 951c   |   |   |   | x |
| Palpigradi, Ambyplygi, Ricinulei,<br>Solifuga, Schizomida, Uropygi | 1.746c  | 47c    |   |   |   | x |
| <b>Annelida</b>  |         |        |   |   |   |   |
| Oligochaeta (minhocas)   | 3.800c  | 306c   | x | x |   |   |
| <b>Malacostraca</b>  |         |        |   |   |   |   |
| Isopoda (tatuzinhos)   | 4.250b  | 135    |   | x | x |   |
| Amphipoda: Talitridae  | 250b    | 4      |   | x |   |   |
| <b>Molusca</b>   |         |        |   |   |   |   |
| Gastropoda (caracóis e caramujos)                                  | 30.000  | 700    |   | x | x |   |
| Gastropoda (lesmas)  | 90      | 35     |   | x | x |   |

a = quando a estimativa era incerta, selecionou-se o número menor e utilizou-se o signo; b = o número de espécies indicado inclui espécies terrestres e aquáticas; c = o número de espécies indicado inclui aquelas que vivem tanto no solo, na serapilheira e acima do solo do número inclui as espécies de todas as famílias; as principais famílias com fase de vida associada ao solo ou serapilheira se encontram detalhadas na sequência. d = O número citado é para todas as espécies de Lepidoptera no mundo e no Brasil. Porém, a grande maioria é ativa somente acima do solo e apenas uma pequena proporção das espécies de Lepidoptera possui uma fase do ciclo de vida associada ao solo ou liteira. GB = Géofago / Bioturbador; DD = Detritívoro / Decompositor; FP = Fitófago / Praga; PP = Predador / Parasita.

Fonte: Borwn et al. (2015) modificado.

Os invertebrados podem ser classificados em três grupos funcionais: engenheiros do ecossistema, decompositores e micropredadores, dependendo do seu tamanho, natureza da estrutura que criam no solo e o principal tipo de relação que desenvolvem com os microrganismos (LAVELLE et al., 1994).

Os engenheiros do solo, Oligochaeta, Formicidae e Isoptera, são assim definidos devido a sua contribuição para a disponibilidade dos recursos e da sua distribuição espacial no solo, agindo por meios físicos e processos bioquímicos na criação de habitats, na construção de estruturas biogênicas e galerias, que podem persistir por longo período de tempo e que afetam profundamente o ambiente para os organismos menores (AQUINO, 2006; LAVELLE et al, 2016; ORGIAZZI et al., 2016; AMAZONAS et al., 2018).

Os decompositores da serapilheira e os micropredadores são os micros e macroinvertebrados que utilizam a serapilheira como alimento, transformando-a em estruturas orgânicas e que regulam a atividade microbiana. Esse grupo inclui as minhocas epigeicas, as minhocas da família Enchytraeidae e os cupins xilófagos (ORGIAZZI et al., 2016). Os micropredadores são, principalmente, protozoários e nematoides que se alimentam dos microrganismos, vivem no filme de água presente no solo e não desenvolvem relações mutualísticas com a microflora. A atividade desses invertebrados tem importante papel na

regulação da biomassa de microrganismos, mantendo a diversidade por meio da prevenção da dominância de grupos específicos (AQUINO, 2006; BROWN et al., 2006).

Dentre as modificações físicas que ocorrem no solo, a compactação é uma das que causam mais danos, pois altera diretamente os indivíduos que habitam os poros do solo, reduzindo-lhes a capacidade de criar suas galerias. Assim, a locomoção destes indivíduos é dependente da porosidade, sendo reduzida pela compactação do solo (MOÇO et al., 2005; BARETTA et al., 2011).

De acordo com Lavelle e Spain (2001), a temperatura é o principal fator que atua a regulação metabólica nos indivíduos da fauna do solo e, juntamente com a umidade, determina a distribuição espacial destes e os períodos de maior atividade. Lima et al. (2010), observaram que a maior densidade de indivíduos da macrofauna edáfica foi amostrada no período chuvoso corroborando com a sensibilidade deste grupo de organismos às condições climáticas.

### **3.5 BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO**

Os indicadores biológicos tendem a serem mais sensíveis às interferências antrópicas no meio ambiente que os indicadores físicos e químicos, e, por isso, tem sido utilizados frequentemente para indicar a qualidade ambiental, seja a qualidade da água através dos invertebrados bentônicos ou a qualidade do ar através dos fungos (MARQUES et al., 2014). Para avaliação da qualidade do solo, a fauna edáfica vem sendo utilizada como bioindicadora, pois a composição da sua comunidade e a sua abundância são indicadores da biodiversidade do solo e da intensidade das atividades biológicas presentes no local. (BARETTA et al., 2006; VELÁSQUEZ et al., 2007).

De acordo com Brown et al. (2015) a fauna edáfica é sensível às mudanças ocorridas no solo por ações antrópicas ou naturais, possibilitando a utilização destes organismos como bioindicadores da qualidade do solo, visto que essas mudanças afetam a sua distribuição no solo de acordo com a disponibilidade de alimento, interferido em suas relações intra e interespecíficas.

A fauna edáfica e a serapilheira possuem alta diversidade em ambientes em equilíbrio. Devido aos processos que ocorrem no sistema serapilheira-solo, como decomposição e ciclagem de nutrientes, e diante da sensibilidade deste sistema às alterações ambientais, a fauna do solo e a serapilheira podem ser considerados bons bioindicadores da qualidade do solo (CORREIA & PINHEIRO et al., 1999; KNOEPP et al., 2000).

As funções que os bioindicadores realizam no solo foram listadas por Baretta et al. (2011): promovem a fragmentação da serapilheira, que aumenta a área de superfície exposta ao ataque de micro-organismos; melhoram a distribuição da matéria orgânica e nutrientes tanto vertical quanto horizontal da superfície para as camadas mais profundas (minhocas, besouros); constroem galerias, que podem ser feitas pelas minhocas, larvas de insetos, térmitas e formigas, formando canais, que servem para facilitar a penetração das raízes, a aeração e a capacidade de infiltração de água; melhoram a estrutura do solo pelo revolvimento e pela deposição dos seus excrementos, aumentando a estabilidade de agregados à água e ao vento; digerem a celulose, lignina e hemicelulose (colêmbolos, térmitas, ácaros); permitem o controle biológico; e degradam substâncias tóxicas no solo.

Dentro da macrofauna edáfica, os insetos são considerados os mais importantes bioindicadores da qualidade e da degradação ambiental, sendo necessário conhecer as especificidades de cada grupo, visto que possuem funções diferentes nos processos presentes no solo e sensibilidade diferenciada entre si para as alterações ambientais, portanto respondem como indicadores de qualidade do solo de formas diferentes (WINK et al., 2005). Assim como a grande variedade de organismos que vivem no sistema serapilheira-solo que também são bioindicadores, reagindo diferentemente às mudanças ocorridas no ambiente, portanto também sendo importante conhecer as interações destes com o meio ambiente (KNOEPP et al., 2000; ESPÍRITO-SANTO-FILHO, 2005).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi desenvolvido nas áreas experimentais do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba-MG, localizado entre as coordenadas 19°39'10,17" de Latitude Sul e 47°58'15,65" de Longitude Oeste, com altitude variando entre de 790 e 819 m (Figura 1), sob diferentes sistemas de manejo (Tabela 2). As amostras coletadas para quantificação da macrofauna edáfica foram realizadas em dois períodos, a primeira em novembro de 2019 (período chuvoso), antes do plantio da safra de verão e a segunda em maio de 2020 (período seco), dois meses após a colheitas da safra cultivada, sempre até as nove horas da manhã.

Figura 1. Delimitação das áreas no Campus do IFTM, Uberaba, MG.



Fonte: Google Maps, 2019.

Tabela 2. Histórico, descrição e localização das áreas de estudo.

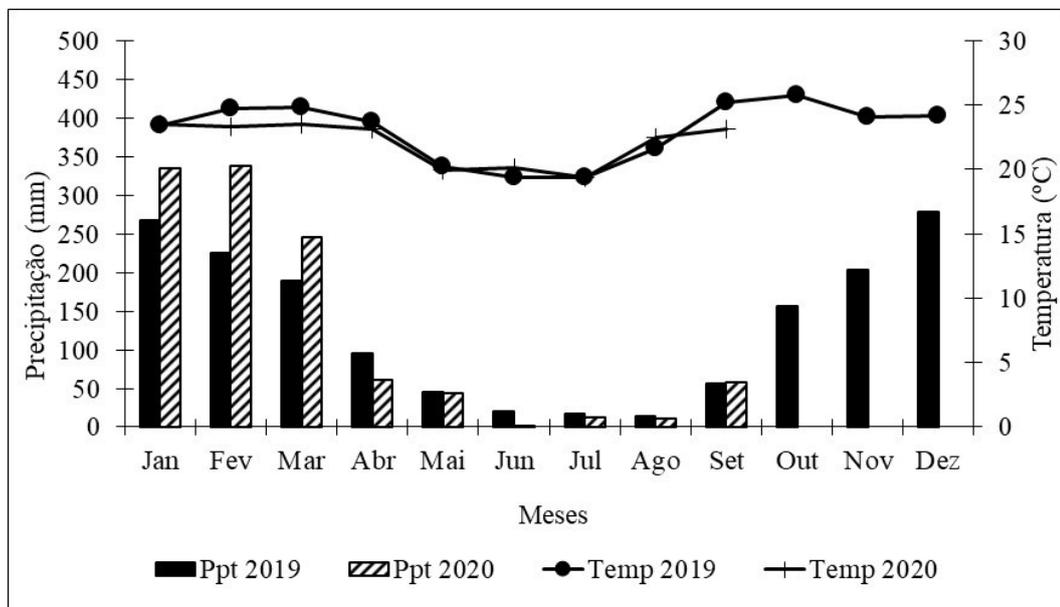
| Sistema | Descrição das áreas  |
|---------|--|
| SPD6    | Área total de 0,21 ha, 797 m de altitude, entre a latitude 19°39'22,69" (S) e longitude 47°57'25,86" (O), área em transição, sob o sistema de plantio direto (SPD) há 6 anos (SPD6). |

|       |  |
|-------|--|
| SPD17 | Área total de 0,21 ha, 798 m de altitude, entre a latitude 19°39'21,81" (S) e longitude 47°57'26,82" (O), área em fase de consolidação, sob SPD há 17 anos (SPD17).  |
| SPC20 | Área total de 6,75 ha, 819 m de altitude, entre a latitude 19°39'10,17" (S) e longitude 47°58'15,65" (O), área sob pivô central com mais de 20 anos sob sistema de plantio convencional (SPC20).                                 |
| MN20  | Área total de 10,20 ha, 790 m de altitude, de latitude 19°39'38,89" (S) e longitude 47°57'45,06" (O), área de mata nativa com vinte anos (MN20) em processo de regeneração natural, reservada, sem qualquer atividade antrópica. |

## 4.2 CLIMA DA REGIÃO

O clima da região é classificado como Aw, tropical quente, segundo classificação Köppen atualizada (BECK et al., 2018), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando inverno frio e seco, com médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar de 1600 mm, 22,6 °C e 68 %, respectivamente. Durante o período de avaliação (Nov/Dez) foi registrada precipitação acumulada de 416,1 mm (Figura 2).

Figura 2. Precipitação (mm) e temperatura média mensal (°C) entre janeiro a dezembro/2019 e janeiro a setembro/2020, obtidas na Estação Meteorológica do IFTM Campus Uberaba, durante a condução do experimento.



### 4.3 TIPO DE SOLO E FERTILIDADE

Os solos das áreas experimentais foram classificados como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (SANTOS et al., 2018), textura média arenosa. Toda a área experimental estava sendo cultivada em sistema de plantio convencional (SPC) até o momento da implantação do sistema de plantio direto (SPD), que foi introduzido em épocas diferentes. Estas áreas em setembro de 2019 apresentam camada de 0 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m e 0,20 a 0,30 m as características físicas de 220, 720 e 60 g kg<sup>-1</sup> de argila, areia e silte, respectivamente e as químicas descritas na tabela 3.

Tabela 3. Características químicas do solo nos diferentes sistemas de manejo e profundidades, no município de Uberaba, MG.

| Sistema       | pH               | Ca <sup>2+</sup>                              | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> | K <sup>+</sup> | P                   | MO                 |
|---------------|------------------|---|------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------------|--------------------|
|               | H <sub>2</sub> O | .....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ..... |                  |                 |                  |                | mg kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> |
| 0 – 0,10 m    |                  |   |                  |                 |                  |                |                     |                    |
| SPC20         | 5,0              | 1,63  | 1,41             | 0,03            | 0,27             | 0,17           | 26,92               | 14,22              |
| SPD6          | 5,0              | 1,18  | 1,28             | 0,03            | 0,425            | 0,17           | 13,34               | 12,65              |
| SPD17         | 4,9              | 1,37  | 1,05             | 0,04            | 0,345            | 0,21           | 9,84                | 12,97              |
| MN20          | 4,6              | 0,62  | 1,04             | 0,05            | 0,55             | 0,21           | 1,20                | 42,78              |
| 0,10 – 0,20 m |                  |   |                  |                 |                  |                |                     |                    |
| SPC20         | 4,3              | 1,32  | 0,97             | 0,03            | 0,32             | 0,07           | 9,31                | 10,65              |
| SPD6          | 5,0              | 0,65  | 1,22             | 0,03            | 0,50             | 0,12           | 9,52                | 10,36              |
| SPD17         | 5,1              | 0,87  | 1,25             | 0,04            | 0,27             | 0,14           | 9,29                | 11,71              |
| MN20          | 3,9              | 0,65  | 0,30             | 0,05            | 0,32             | 0,12           | 0,76                | 30,93              |
| 0,20 – 0,40 m |                  |   |                  |                 |                  |                |                     |                    |
| SPC20         | 4,2              | 1,22  | 1,15             | 0,03            | 0,40             | 0,06           | 2,45                | 8,79               |
| SPD6          | 5,0              | 0,42  | 0,97             | 0,04            | 0,27             | 0,10           | 1,36                | 9,10               |
| SPD17         | 4,0              | 0,62  | 0,97             | 0,03            | 0,43             | 0,11           | 2,10                | 10,02              |
| MN20          | 4,0              | 0,75  | 0,30             | 0,04            | 0,43             | 0,09           | 0,58                | 28,93              |

SPC20 = Sistema de plantio convencional consolidado há vinte anos; SPD6 = Sistema de plantio direto implantado há seis anos; SPD17 = Sistema de plantio direto implantado há dezessete anos; MN20 = Mata Nativa em regeneração há 20 anos.

Logo após a determinação da fertilidade do solo através da análise química, foi feita a calagem da área, aplicando-se 550 kg ha<sup>-1</sup> de calcário com a seguinte composição química:

36,4% de óxido de cálcio, 44% de óxido de magnésio, 99,87% de poder de neutralização (PN) e 90,28% de poder relativo de neutralização total (PRNT), para elevar a saturação de base a 70%.

#### 4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 3, onde foram avaliadas áreas conduzidas com quatro diferentes sistemas de manejo: 1 – Sistema de plantio direto (SPD) com seis anos (SPD6), 2 – SPD com dezessete anos (SPD17), 3 – Sistema de plantio convencional consolidado há vinte anos (SPC20) e 4 – Mata Nativa (fragmento de Cerrado em regeneração natural há 20 anos (MN20)). Em três profundidades: 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 a 0,30 m. Para cada área de estudo foram coletadas cinco repetições. Avaliou-se a serapilheira de cada área com o mesmo número de repetições.

Todas as áreas experimentais, com exceção da mata nativa, estavam sendo conduzidas em sistema de plantio convencional (SPC) até o ano 2000, quando foram introduzidos os tratamentos. Separou-se uma área com SPC por 20 anos (SPC20) e outras duas, onde foi introduzido o sistema de plantio direto (SPD) em dois momentos, um há 17 anos (SDP17) e outro há 6 anos (SPD6), idênticos, diferindo apenas em tempo de condução do sistema.

Na mata nativa (MN) havia sinais de degradação no ano de 2000, pois eventualmente havia a presença de bovinos na área. No mesmo momento da introdução das parcelas experimentais, esta área foi cercada a fim de impedir a entrada de bovinos e está em processo de regeneração natural desde o ano de 2000.

Nestas áreas em SPD desde o ano de 2000 ocorreram vários ciclos com milheto, braquiária, crotalária e misturas destas três plantas para produção de palhada, antecedendo o cultivo de culturas anuais (soja e milho), entretanto, as amostras foram coletadas somente nas áreas onde havia sido cultivado o milheto, onde havia resíduos culturais depositados sobre o solo.

Nestas áreas, de forma geral, a adubação das culturas de interesse econômico é realizada conforme recomendações de Ribeiro et al. (1999), para o milho tem-se aplicado 400 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 08-28-16 no momento da semeadura (adubação de base), com 140 kg ha<sup>-1</sup> de N e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K em cobertura, parcelados aos 20 e 40 dias após plantio.

#### 4.5 AMOSTRAGEM DA MACROFAUNA

As coletas foram realizadas utilizando a metodologia de monólitos de solo proposta pelo programa Tropical Soil Biological and Fertility (TSBF), descrita por Anderson & Ingram (1993), adaptada por Aquino (2001). Em cada área de estudo foram coletadas cinco repetições, sendo a área amostral delimitada por um gabarito metálico de 0,25 x 0,25 x 0,30 m. Inicialmente, a serapilheira foi coletada, em seguida as amostras de solo nas profundidades de 0,0 - 0,10, 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m, sempre no período da manhã, entre 8:00 e 9:00 horas.

A serapilheira e as amostras de solo foram acondicionadas, separadamente, em sacos plásticos identificados e devidamente fechados, posteriormente foram levados ao laboratório de solos do IFTM, colocadas em bandejas, a seguir foram feitas a coleta manual dos indivíduos da macrofauna com o auxílio de pinças. Estes indivíduos foram identificados e depois acondicionados em frascos com solução de álcool 70%.

Após a coleta manual, as amostras de solo foram colocadas nos Funis de Berlese-Tullgren recomendado por Rodrigues et al. (2008), modificado para a extração da meso e macrofauna do solo, onde foi colocado a amostra total coletada com o gabarito metálico nos 0,10 m de profundidade, que continha volume total de 0,01 cm<sup>3</sup> de solo (0,25 x 0,25 x 0,10 m). As amostras permaneceram nos funis por 6 dias, conforme sugerido por Freire et al. (2015).

Todos os organismos triados foram levados para o Laboratório de Entomologia da Universidade Federal do Triângulo Mineiro para a identificação, separação e contagem ao nível de classe e ordem, segundo Borror & DeLong (1988) e Pereira et al. (2018).

#### 4.6 ANÁLISE DE DADOS

A densidade das ordens identificadas foi expressa por indivíduos por metro quadrado (ind.m<sup>-2</sup>). Para a riqueza total foi considerado o total de ordens identificadas nas repetições. Os grupos que foram quantificados com menos de 5% de frequência foram agrupados no grupo denominado “Outros”. Foi calculado o Índice de diversidade de Shannon (H) e, para a equitabilidade, o Índice de Pielou (J), de acordo com as seguintes equações:

$$\text{Índice de Shannon (H)} = - \sum p_i \cdot \text{Log } p_i \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

$p_i = n_i/N$ , onde:  $n_i$  = Densidade de cada ordem;  $N$  = Somatória da densidade de todas as ordens.

$$\text{Índice de Pielou (J)} = H \cdot \text{Log } S^{-1} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:  $H$  = índice de Shannon;  $S$  = Número total de ordens presentes na área (Riqueza total).

Foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal – Wallis a 5% de significância para comparar os grupos da macrofauna (R CORE TEAM, 2019) e para os dados da serapilheira e solo nas profundidades 0,0 - 0,10, 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m, foi realizado a análise de agrupamento de similaridade de Cluster para a análise da distribuição vertical da macrofauna .

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número total de indivíduos contabilizados para o período chuvoso foi de 20.307 ind.m<sup>-2</sup>, sendo coletados 1.245 ind.m<sup>-2</sup> na área no sistema de plantio convencional consolidado há vinte anos (SPC20), 2.515 ind.m<sup>-2</sup> no SPD há dezessete anos (SPD17), 11.030 ind.m<sup>-2</sup> no sistema de plantio direto (SPD) há seis anos (SPD6) e 5.517 ind.m<sup>-2</sup> na mata nativa há 20 anos (MN20), distribuídos em 26 grupos taxonômicos, onde foram destacados os 12 grupos que apresentaram maior densidade e o restante foi agrupado em Outros (Tabela 4).

Dentre estes 12 grupos, os que mais se destacaram em termos de densidade nos diferentes sistemas de manejo foram Coleoptera, Diptera, Formicidae e Hemiptera, enquanto Isoptera foi observado em elevada densidade somente na MN20.

O grupo Diptera foi o que apresentou maior densidade neste estudo, com população verificada em 5776 ind.m<sup>-2</sup> na área com SPD6, significativamente superior quando comparado aos outros sistemas de manejo. Neste SPD6 também se observou a maior densidade significativa para Coleoptera (1667 ind.m<sup>-2</sup>), Hymenoptera (253 ind.m<sup>-2</sup>) e Hemiptera (1162 ind.m<sup>-2</sup>).

Nas áreas em SPD6, SPD17 e a MN20 foram verificadas as maiores densidades do grupo Formicidae, 1146, 1142 e 1040 ind.m<sup>-2</sup>, respectivamente, sendo estes valores estatisticamente iguais e superiores aos 173 ind.m<sup>-2</sup> do SPC20. As áreas em SPD6, SPD17 e a MN20 apresentam maior aporte de resíduos vegetais na superfície do solo quando comparados ao SPC20, por isso há uma maior densidade deste grupo nestas áreas, visto que Formicidae é importante na fragmentação, movimentação e transformação dos resíduos vegetais do solo (SOUZA et al., 2015). Resultados semelhantes foram verificados por Ferreira et al. (2019) em áreas sob SPD com o mesmo tempo de implantação.

Tabela 4. Densidade de indivíduos no perfil avaliado (0,0 a 0,30 m), expressa em metro quadrado (ind.m<sup>-2</sup>), e índices ecológicos nos diferentes sistemas de manejo, em Uberaba, MG, no período chuvoso.

| Grupos           | SPC20                          | SPD6         | SPD17      | MN20        |
|------------------|--------------------------------|--------------|------------|-------------|
|                  | .....ind m <sup>-2</sup> ..... |              |            |             |
| Araneae          | 16±7 a                         | 22±115 a     | 9±12 a     | 74±24 a     |
| Coleoptera       | 269±47 c                       | 1667±230 a   | 211±54 c   | 714±105 b   |
| Diplopoda        | 0±0 b                          | 3±3 a        | 10±6 a     | 38±31 a     |
| Diptera          | 179±62 c                       | 5776±919 a   | 246±8 c    | 1274±213 b  |
| Formicidae       | 173±92 b                       | 1146±216 a   | 1142±342 a | 1040±253 a  |
| Hemiptera        | 387±184 b                      | 1162±282 a   | 352±171 b  | 179±32 b    |
| Hymenoptera      | 6±4 c                          | 253±53 a     | 10±6 c     | 38±8 b      |
| Isoptera         | 10±6 c                         | 54±19 b      | 109±31 a   | 1664±1019 a |
| Larva Coleoptera | 19±15 a                        | 131±43 a     | 125±39 a   | 86±24 a     |
| Oligochaeta      | 58±21 a                        | 96±66 a      | 106±40 a   | 99±41 a     |
| Psocoptera       | 3±3 d                          | 413±128 a    | 38±11 b    | 16±5 c      |
| Thysanoptera     | 16±9 c                         | 125±28 a     | 16±10 c    | 26±6 b      |
| Outros           | 109±109 c                      | 182±90 b     | 122±60 c   | 269±123 a   |
| Total            | 1245±559 a                     | 11030±2089 a | 2515±861 b | 5517±1885 b |
| Riqueza Total    | 14                             | 22           | 19         | 25          |
| Shannon          | 2,72                           | 2,30         | 2,73       | 2,80        |
| Pielou           | 0,72                           | 0,52         | 0,64       | 0,60        |

\* = Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste Kruskal Wallis a 5 %. SPC20 = Sistema de plantio convencional consolidado há vinte anos; SPD6 = Sistema de plantio direto implantado há seis anos; SPD17 = Sistema de plantio direto implantado há dezessete anos; MN20 = Mata Nativa em regeneração há 20 anos. \*Outros: Blattodea, Chilopoda, Dermaptera, Gastropoda, Heteroptera, Hirudinae, Homoptera, Isopoda, Larva de Diptera, Larva de Lepidoptera, Lepidoptera, Neuroptera, Orthoptera, Thysanura.e Scorpionida.

O grupo Isoptera foi o mais abundante na MN20, 1664 ind.m<sup>-2</sup>, sendo que esta área representa a referência por apresentar maior heterogeneidade em relação à vegetação, que implica em ter uma serapilheira mais diversa, assim como um maior sistema radicular, que favorece a maior ocorrência de térmitas ou cupins na área. Em estudo semelhante, Santos et al. (2017), Araújo et al. (2018) e Ferreira et al. (2019), também observaram alta densidade de Isoptera em suas áreas de referência, quando comparadas às outras áreas em estudo.

No SPC20, se observou a maior densidade para o grupo Hemiptera, 387 ind.m<sup>-2</sup>, porém sua densidade foi significativa para o SPD6, 1162 ind.m<sup>-2</sup>. Santos et al. (2020), também observou o grupo Hemiptera com a maior densidade para o sistema de plantio convencional.

Esse grupo possui organismos classificados em rizófagos, fitófagos e predadores. A elevada densidade de Coleoptera, Larva de Coleoptera, Diptera, Formicidae, Hymenoptera, Hemiptera, Psocoptera e Thysanoptera em SPD6, que pode estar relacionado ao aumento dos níveis de matéria orgânica que começa ocorrer no SPD ao entrar na fase de transição do sistema (Tabela 3) e pela oferta de novos micronichos formados pela presença da serapilheira permitindo a colonização desta área por estes organismos. Outro fator importante é que esta área se localiza ao lado do cultivo de árvores frutíferas, que pode ter influenciado nestes valores de densidade maiores que nas outras áreas, pois o total de organismos amostrados no SDP6 corresponde a 54% do total amostrado.

Outros grupos também foram identificados nas amostras, dentre eles, Araneae e Diplopoda com maiores densidades na MN20, de 74 e 38 ind.m<sup>-2</sup>, respectivamente, sendo que Araneae são organismos predadores e Diplopoda são detritívoros, enquanto Oligochaeta, em maior abundância no SPD17 (106 ind.m<sup>-2</sup>), são geófagos e detritívoros. Os grupos taxonômicos que foram inseridos no grupo definido como Outros, não foram observados em todas as áreas e foram amostrados em baixas densidades, entretanto possuem sua função como predadores, decompositores, fitófagos e detritívoros na da cadeia alimentar e nos serviços ecossistêmicos, conforme destacado por Marques et al. (2014).

Ao analisar os índices calculados a partir da densidade populacional para o período chuvoso, observou-se que a área em SPD6, SPD17 e MN20 apresentaram valores de riqueza total superiores ao SPC20. A área em SPD6 apresentou os menores índices de Shannon e de Pielou, quando comparado as outras áreas avaliadas, entretanto foi a área que apresentou a maior densidade de indivíduos, indicando que neste sistema não houve uma distribuição uniforme dos grupos taxonômicos, como Diptera que representa 52% dos organismos amostrados neste sistema.

No SPD17 observou-se índice de Shannon semelhante ao SPC20 e menor índice de Pielou em relação a este sistema, pois no SPD17 houve o predomínio do grupo Formicidae, enquanto no SPC20 os organismos estão bem distribuídos pelos grupos identificados. Os menores valores apresentados no SPC20 de densidade total e riqueza total podem ser explicados pela prática de manejo adotada, pois no plantio convencional não há presença de serapilheira, assim há menor disponibilidade de alimento e condições edafoclimáticas limitantes ao

estabelecimento dos organismos, ficando a colonização restrita a poucos grupos taxonômicos, conforme destacado por Lima et al. (2019).

Os estudos de Aquino et al. (2008) e Crepaldi et al. (2014) destacam que à medida que aumenta o conteúdo de matéria orgânica no solo, crescem os valores de diversidade, que provavelmente ocorre em função da maior disponibilidade de resíduos vegetais das plantas cultivadas e da rotação de culturas.

De acordo com Ferreira et al. (2019), quando se observa maior riqueza total nas áreas sob SPD, isto está relacionado a maior oferta de recursos alimentares, com diferentes qualidades e presença de microhabitats formados em função da maior quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo, que eleva a quantidade de indivíduos e riqueza total de grupos.

Para o período seco, o número total de indivíduos contabilizados foi de 4628 ind.m<sup>-2</sup>, sendo coletados 653 ind.m<sup>-2</sup> no SPC20, 1578 ind.m<sup>-2</sup> no SPD17, 864 ind.m<sup>-2</sup> no SPD6 e 1533 ind.m<sup>-2</sup> na MN20, distribuídos em 19 grupos taxonômicos, onde permaneceram em destaque os mesmos 12 grupos do período chuvoso e o restante foi agrupado em Outros (Tabela 5).

Dentre estes 12 grupos, os que mais se destacaram em todas as áreas foram Formicidae e Coleoptera, que apresentaram as densidades de indivíduos de 195, 246, 733 e 531 ind.m<sup>-2</sup> e 122, 150, 362 e 86 ind.m<sup>-2</sup>, nas áreas em SPC20, SPD6, SPD17 e na MN20, respectivamente, valores estes estatisticamente iguais entre si em cada ordem.

Segundo Oliveira et al. (2014), Spiller et al. (2018) e Kitamura et al. (2020), os coleópteros são bons indicadores ambientais, pois apresentam elevada diversidade, ocupando diferentes níveis tróficos, possuem especificidades próprias dentro dos seus nichos ecológicos, o que proporciona maior sensibilidade diante às mudanças ambientais devido ao manejo utilizado. Também são fitófagos, saprófagos e predadores, sendo reguladores de populações de insetos (SANTOS et al., 2017).

De acordo com Korasaki et al. (2013), o grupo Formicidae constituem o grupo dominante na maioria dos ecossistemas terrestres, em número de indivíduos, biomassa e funções ecológicas, sendo também considerados bons indicadores, em virtude de apresentarem abundância e riqueza de espécies, além da ampla distribuição geográfica, podem ser amostrados e identificados com facilidade e são sensíveis a mudanças no ambiente. Bianchi et al. (2017) e Lima et al. (2020), observaram um predomínio do grupo Formicidae em seus estudos para o período de estiagem com aumento do forrageio, pois, este grupo tolera altas temperaturas.

A importância das formigas vem sendo destacada em vários estudos para a avaliação da biodiversidade, da conservação dos ecossistemas e da relação com outros invertebrados para o favorecimento da qualidade do solo, visto que constroem ninhos no solo, transportando grande

quantidade de partículas para a superfície, contribuindo com a aeração e a drenagem, adicionalmente, ainda fragmenta e mistura material orgânico com o solo, contribuindo com a ciclagem de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2014).

Tabela 5. Densidade de indivíduos no perfil avaliado (0,0 a 0,30 m), expressa em metro quadrado ( $\text{ind.m}^{-2}$ ), e índices ecológicos nos diferentes sistemas de manejo, em Uberaba, MG, no período seco.

| Grupos           | SPC20                           | SPD6        | SPD17        | MN20         |
|------------------|---------------------------------|-------------|--------------|--------------|
|                  | ..... $\text{ind m}^{-2}$ ..... |             |              |              |
| Araneae          | 3 ± 3 b*                        | 16 ± 9 ab*  | 19 ± 9 ab*   | 35 + 8 a*    |
| Coleoptera       | 122 ± 52 a                      | 150 ± 30 a  | 362 ± 101 a  | 86 + 21 a    |
| Diplopoda        | 3 ± 3 a                         | 0 ± 0 a     | 3 ± 3 a      | 0 + 0 a      |
| Diptera          | 192 ± 99 a                      | 0 ± 0 b     | 35 ± 12 ab   | 19 + 16 ab   |
| Formicidae       | 195 ± 110 a                     | 246 ± 62 a  | 733 ± 254 a  | 531 + 368 a  |
| Hemiptera        | 0 ± 0 b                         | 90 ± 42 ab  | 352 ± 140 a  | 29 + 21 b    |
| Hymenoptera      | 32 ± 18 a                       | 6 ± 4 a     | 13 ± 6 a     | 6 + 4 a      |
| Isoptera         | 10 ± 10 b                       | 3 ± 3 ab    | 3 ± 3 ab     | 656 + 282 a  |
| L. de Coleoptera | 29 ± 13 ab                      | 106 ± 47 a  | 10 ± 4 b     | 54 + 15 ab   |
| Oligochaeta      | 0 ± 0 ab                        | 26 + 13 b   | 0 ± 0 ab     | 58 + 24 a    |
| Psocoptera       | 19 ± 6 a                        | 3 + 3 ab    | 6 ± 4 ab     | 0 + 0 b      |
| Thysanoptera     | 32 ± 24 a                       | 0 + 0 a     | 3 ± 3 a      | 0 + 0 a      |
| *Outros          | 16 ± 9 b                        | 218 + 89 a  | 38 ± 6 a     | 58 + 23 a    |
| Total            | 653 ± 140 a                     | 864 + 141 a | 1578 + 260 a | 1533 + 576 a |
| Riqueza Total    | 11                              | 15          | 16           | 13           |
| Shannon          | 2,56                            | 2,54        | 1,87         | 2,16         |
| Pielou           | 0,74                            | 0,65        | 0,47         | 0,58         |

\* = Valores seguidos por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste Kruskal Wallis a 5 %. SPC20 = Sistema de plantio convencional consolidado há vinte anos; SPD6 = Sistema de plantio direto implantado há seis anos; SPD17 = Sistema de plantio direto implantado há dezessete anos; MN20 = Mata Nativa em regeneração há 20 anos. \*Outros: Blattodea, Chilopoda, Heteroptera, Larva de Diptera, Larva de Lepidoptera, Thysanura.e Scorpionida.

Na MN20, a ordem Isoptera teve destaque, apresentando  $656 \text{ ind.m}^{-2}$ , enquanto a ordem Diptera se destacou no SPC20, com  $192 \text{ ind.m}^{-2}$ , significativamente superior quando comparado aos valores observados nas outras áreas. Os cupins são os representantes da ordem Isoptera, eles são geófagos, detritívoros e fitófagos (BROWN et al., 2015) e, provavelmente, se

destacaram na área de referência pelo maior aporte de resíduos vegetais na serapilheira, maior heterogeneidade da cobertura vegetal e do sistema radicular, mantendo o padrão do período chuvoso.

O grupo Diptera são insetos fitófagos, decompositores, polinizadores e predadores, que apresentam um importante papel na decomposição da matéria orgânica e no controle biológico (ANDERSON, 2015). Algumas famílias de Diptera mais sensíveis a impactos ambientais são exigentes quanto à presença de serapilheira e umidade, o que os torna bons indicadores biológicos (OLIVEIRA et al., 2014; ARAÚJO et al., 2018; NUNES et al., 2019). Essa dependência de umidade explica a baixa densidade desse grupo no período seco.

A maior densidade de indivíduos do grupo Oligochaeta foi observado na MN20, superior às outras áreas, provavelmente devido a maior quantidade de matéria orgânica em todas as profundidades (Tabela 3). Larvas de Coleoptera foram observadas em todas as áreas com maior densidade em SPD6 (106 ind.m<sup>-2</sup>), o grupo Araneae na MN20 e Diplopoda no SPD17 e SPC20.

Os grupos Formicidae, Isoptera e Oligochaeta, são reconhecidos como engenheiros do ecossistema (LAVELLE et al., 1997) em virtude de possuírem um papel funcional na decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica, Formicidae e Isoptera também contribuem para a porosidade e infiltração da água no solo, devido as suas atividades na construção de galerias e ninhos no solo, assim como Oligochaeta, que esteve presente em todas as áreas no período chuvoso e no SPD6 e MN20 no período seco, resultado semelhante a Santos et al., 2017 e Araújo et al., 2018. Segundo Brown et al. (2015) estes grupos atuam na transformação da serapilheira, contribuem com serviços ecossistêmicos de suporte e regulação, pois tem funções de significativa importância na ecologia do bioma.

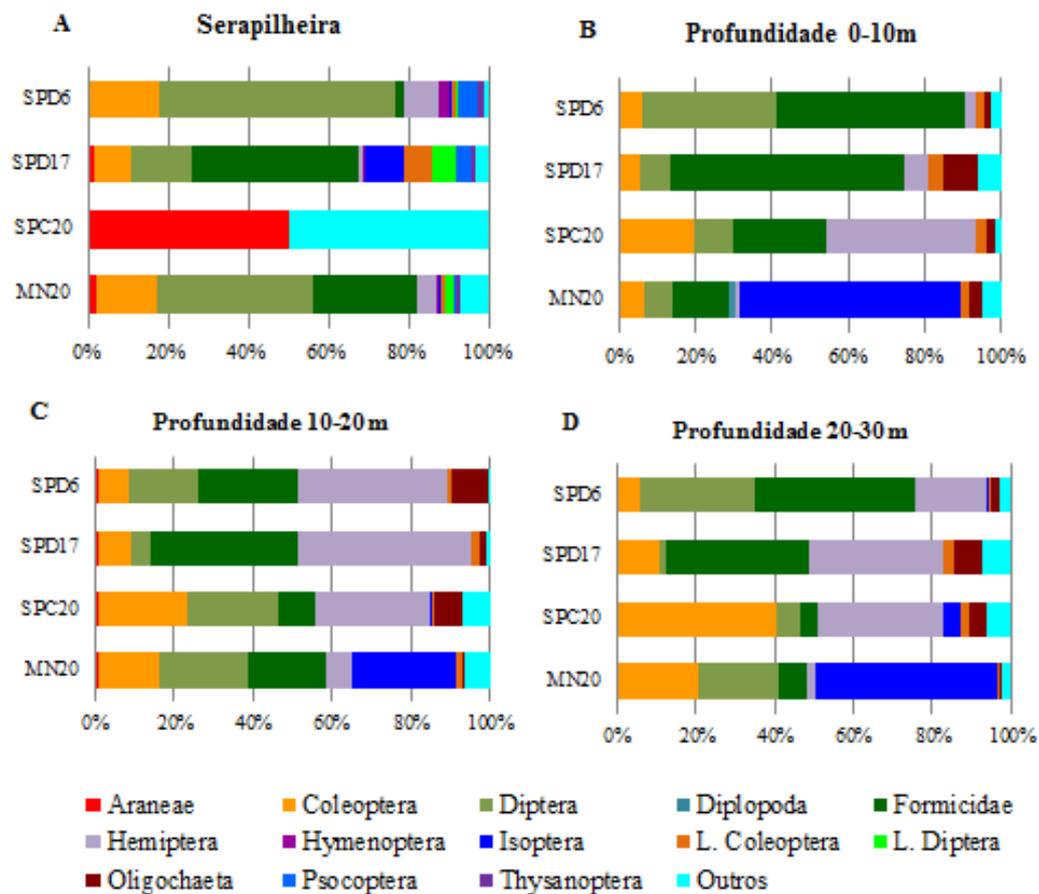
Nos sistemas agrícolas, a maior riqueza e densidades foram observadas nos sistemas de plantio direto, isso mostra que mesmo com a influência da sazonalidade na macrofauna, a presença da serapilheira favorece a permanência de grupos dominantes no solo. Santos et al. (2020) em seu estudo sobre o efeito das plantas de cobertura nos sistemas de plantio relataram que os grupos Coleoptera, Hemiptera, Diptera e Isoptera foram os grupos mais importantes, sendo que o sistema de plantio direto proporcionou maiores riquezas e densidades que o convencional, principalmente para Coleoptera adulto, resultados semelhantes ao presente estudo.

Observou-se a maior riqueza total e os menores índices de Shannon e de Pielou para o SPD17, seguido pelo SPD6 e MN20, onde houve predomínio de Formicidae, Coleoptera e Hemiptera em elevadas densidades. A maior densidade e a maior riqueza total no SPD17 pode

ser justificada pela fase de consolidação em que se encontra o sistema, ou seja, apresenta maior aporte de resíduos vegetais e menor compactação do solo, características que favorecem a fauna edáfica.

Ao analisar a frequência relativa na serapilheira (Figura 3A) das áreas em estudo no período chuvoso, observou-se a maior ocorrência do grupo Diptera (59,2%) no SPD6, do grupo Formicidae (41,5%) no SPD17, do grupo Araneae (50%) no SPC20 e a maior ocorrência de Diptera (39%) na MN20. A elevada frequência de Diptera na serapilheira do SPD6 e da MN20 corrobora com os estudos de Lima et al. (2019) que observaram em sua área conservada um maior percentual deste grupo. Assim como nos estudos de Camara et al. (2019) sobre o impacto da remoção da serapilheira na fauna edáfica, verificou-se que Diptera sofreu inibição de sua abundância, isso mostra a dependência desse grupo à presença da serapilheira. O grupo Araneae com maior frequência no SPC20 contradiz o trabalho de Silva et al. (2020a), que observou esse grupo em ambientes mais conservados.

Figura 3. Frequência relativa dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna nos diferentes sistemas de manejo e profundidades, no período chuvoso, em Uberaba, MG.



A densidade e a riqueza total na serapilheira foram maiores no SPD6, seguido pela MN20 e SPD17, quando comparado ao SPC20 (Tabela 06). Observou-se o maior índice de Shannon e maior índice de Pielou no SPD17, apesar do grupo Formicidae ter uma frequência maior nesta área, observou-se que os outros grupos estão bem distribuídos. O menor índice de Shannon e de Pielou foi no SPD6 por causa da alta frequência do grupo Diptera.

Tabela 6. Densidade da macrofauna edáfica (Ind.m<sup>-2</sup>) e índices ecológicos na serapilheira e nas profundidades dos diferentes sistemas de manejo, no período chuvoso, Uberaba, MG.

| Sistema      | Ind.m <sup>-2</sup> | Riqueza total | Shannon | Pielou |
|--------------|---------------------|---------------|---------|--------|
| Serapilheira |                     |               |         |        |
| SPD6         | 8605 ± 1915         | 19            | 2,04    | 0,48   |
| SPD17        | 1117 ± 406          | 15            | 2,77    | 0,71   |
| SPC20        | 6 ± 6               | 2             | 1,00    | 1,00   |
| MN20         | 2179 ± 554          | 18            | 2,59    | 0,62   |

| 0,0 - 0,10 m  |             |    |      |      |
|---------------|-------------|----|------|------|
| SPD6          | 708 ± 315   | 10 | 1,87 | 0,56 |
| SPD17         | 649 ± 305   | 13 | 2,09 | 0,57 |
| SPC20         | 582 ± 395   | 9  | 2,48 | 0,78 |
| MN20          | 1994 ± 1488 | 18 | 2,22 | 0,53 |
| 0,10 - 0,20 m |             |    |      |      |
| SPD6          | 640 ± 298   | 8  | 2,24 | 0,75 |
| SPD17         | 509 ± 240   | 13 | 2,65 | 0,72 |
| SPC20         | 403 ± 242   | 8  | 1,90 | 0,63 |
| MN20          | 678 ± 393   | 13 | 2,70 | 0,73 |
| 0,20 - 0,30 m |             |    |      |      |
| SPD6          | 1082 ± 588  | 14 | 2,14 | 0,56 |
| SPD17         | 346 ± 213   | 9  | 2,21 | 0,70 |
| SPC20         | 147 ± 85    | 9  | 2,26 | 0,71 |
| MN20          | 669 ± 381   | 11 | 2,08 | 0,60 |

SPC20 = Sistema de plantio convencional consolidado há vinte anos; SPD6 = Sistema de plantio direto implantado há seis anos; SPD17 = Sistema de plantio direto implantado há dezessete anos; MN20 = Mata Nativa em regeneração há 20 anos.

Na profundidade de 0,0 - 0,10 m (Figura 3B) o grupo Formicidae foi observado em maior frequência no SPD17 (61,6%) e SPD6 (49,1%), Hemiptera (32,9%) para o SPC20 e Isoptera (58,1%) para a MN20. Também foi observado a presença de Coleoptera (adulto e larva) e Oligochaeta em todas as áreas. No estudo de Martins et al. (2020), também se verificou a maior ocorrência do grupo Formicidae para essa profundidade e recomendou-se o uso do método TSBF para sua melhor amostragem. No SPD6 e SPD17 se observa o predomínio do grupo Formicidae inferindo nos índices um valor mais baixo que do SPC20, onde a frequência maior foi de 32% em Hemiptera. Um baixo índice de Shannon e de Pielou também foi observado para a área de referência quando comparada ao SPC20, isso ocorreu devido à alta frequência de Isoptera (58,1%).

Na profundidade de 0,10 - 0,20 m (Figura 3C), o grupo Hemiptera foi o que apresentou maior frequência para SPD17 (43,7%), SPD6 (38,0%) e SPC20 (28,9%), enquanto Isoptera ocorreu em maior frequência na MN20 (26,4%). Observou-se maior frequência do grupo Formicidae nos sistemas de plantio direto do que no SPC20, sendo 37% no SPD17, 25% no SPD 6 e 9% no SPC20. Destaca-se, também, a presença de Oligochaeta nos 3 sistemas de plantio e, Coleoptera e Araneae, em todas as áreas. Observou-se ainda, o mesmo valor de

riqueza total entre o SPD17 e MN20, assim como entre o SPD6 e SPC20. Nesta profundidade a menor densidade e menores valores dos índices de Shannon e de Pielou foram no SPC20, isso pode ser pela baixa oferta de recursos alimentares no sistema de plantio convencional pelo e revolvimento do solo, visto que o SPD6 apresenta a mesma riqueza, mas maior densidade.

Na profundidade de 0,20 - 0,30 m (Figura 3D), a maior frequência foi verificada no grupo Isoptera na área MN20 (46,2%), Formicidae no SPD6 (41,0%) e SPD17 (36,0%), Coleoptera no SPC20 (41,3%). Além disso, foram observados os maiores valores de densidade e riqueza total no SPD6 e na MN20 e o mesmo valor de riqueza total entre o SPD17 e SPC20. Os maiores valores de índice de Shannon nos sistemas de plantio, bem como, os menores valores para o índice de Pielou no SPD6 e na MN20, provavelmente estão relacionados a maior frequência de Isoptera e Formicidae, respectivamente.

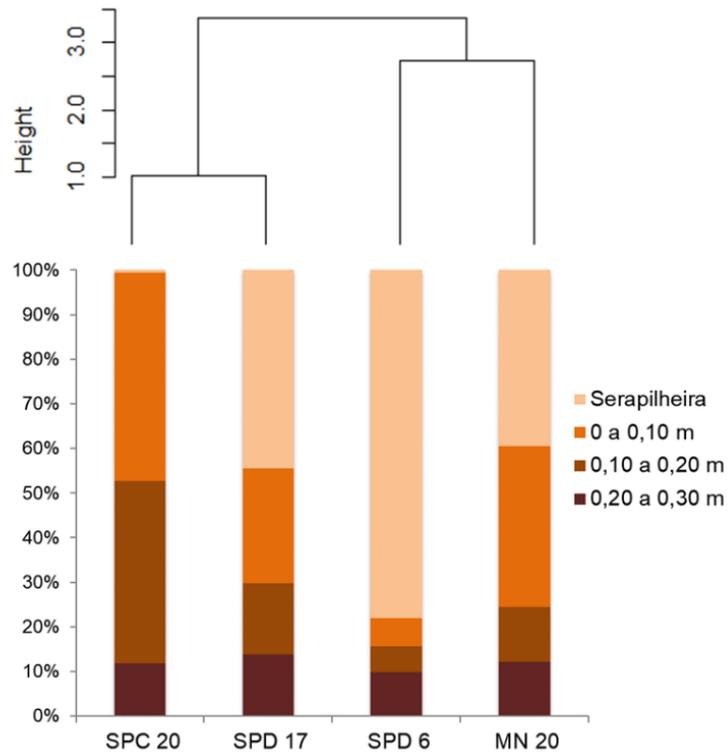
Verificou-se uma elevada frequência para o grupo Hemiptera nas profundidades de 0,10 - 0,30 m nas áreas agrícolas. Este grupo é composto por organismos rizófagos, fitófagos e predadores e no presente estudo foi frequente o percevejo-castanho, Hemiptera rizófago.

Em seus estudos, Lavelle et al. (2006) e Baretta et al. (2011), destacaram entre outros fatores que a temperatura é determinante para a macrofauna do solo e influencia em sua dinâmica populacional, que as melhores condições de umidade do solo, temperatura e estágio de decomposição da cobertura morta, podem favorecer o aumento de densidade de vários grupos, dentre eles o Formicidae, Oligochaeta e Hemiptera, assim como neste estudo, favoreceram também o grupo Diptera e Coleoptera.

Na análise do agrupamento da similaridade de Cluster (Figura 4), observou-se a formação de dois grupos, o SPD17 com maior similaridade com o SPC20 e o SPD6 com maior similaridade com a MN20. A maior similaridade entre o SPD17 e o SPC20 ocorreu devido ao número de indivíduos nas profundidades, já que o SPC20 praticamente não apresentou organismos na serapilheira.

Ao analisar a distribuição vertical do número de ind.m<sup>-2</sup> dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna, no período chuvoso, observa-se na serapilheira uma maior distribuição dos organismos no SPD6, seguido pelo SPD17 que mostraram uma distribuição na serapilheira muito próxima da MN20. No SPC20, a distribuição dos organismos na serapilheira é praticamente inexistente, pois o plantio convencional tem como característica a ausência da palhada. Como a umidade é um fator limitante da macrofauna, logo o período chuvoso pode favorecer uma densidade maior de organismos na serapilheira.

Figura 4. Análise de agrupamento de similaridade de Cluster e porcentagem da distribuição vertical do número de ind.m<sup>-2</sup> dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna na serapilheira e nas diferentes profundidades do solo nos sistemas de manejo, no período chuvoso, Uberaba, MG.



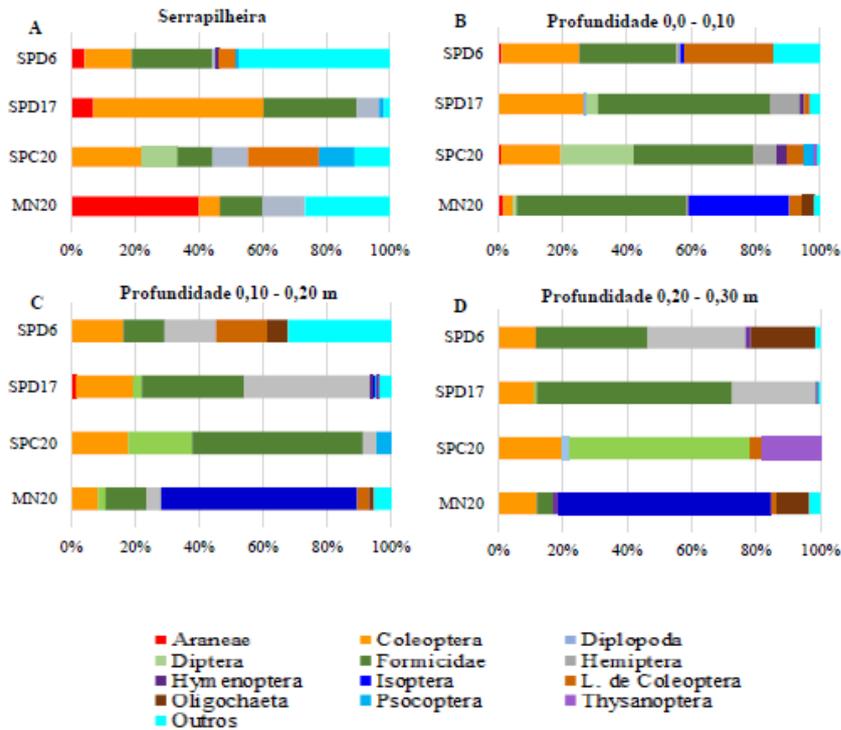
Nas profundidades de 0,0 - 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, a distribuição vertical da macrofauna é menor no SPD6, maior no SPC20 e semelhantes no SPD17 e MN20. No SPC20 o aporte de resíduos vegetais é menor que nas outras áreas e como o solo encontra-se com maior umidade, os organismos nesta área se encontram mais distribuídos nessas profundidades. Para a profundidade de 0,20 – 0,30, se observa uma distribuição semelhante em todas as áreas.

Nestas áreas agrícolas, as principais culturas cultivadas que antecederam as coletas eram gramíneas, o que pode ter favorecido a predominância destes grupos no local, pois os resíduos destas plantas permanecem por mais tempo sobre a superfície do solo em diferentes estágios de fragmentação e decomposição, corroborando com Rodrigues et al. (2016), Almeida et al. (2017) e Santos et al. (2020).

Ao analisar a frequência relativa na serapilheira (Figura 5A) das áreas em estudo no período seco, observou-se a maior ocorrência do grupo Formicidae (25%) no SPD6, do grupo Coleoptera (53%) no SPD17; as maiores ocorrências no SPC20 foram para Larva de Coleoptera (22%) e Coleoptera (22%) e do grupo Araneae (40%), na MN20. A presença de Coleoptera em

elevada frequência no SPD17 e no SPC20 mostra como este grupo é diverso na ocupação de nichos.

Figura 5. Frequência relativa dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna ecológica nos diferentes sistemas de manejo e profundidades, no período seco, em Uberaba, MG.



Verificou-se, na serapilheira do período seco, maiores densidades e riqueza para o SPD6, o índice de Shannon foi o mesmo que na MN20 e o índice de Pielou próximo ao SPD17, sendo os menores valores, corroborando com a maior frequência de Outros (47%) no SPD6 e de Coleoptera no SPD17 (Tabela 07). O SPC20 teve um alto índice de Pielou com os organismos bem distribuídos nos 7 grupos identificados, porém a densidade foi baixa quando comparada com as outras áreas, assim como a MN20 que também apresentou uma baixa densidade e um alto índice de Pielou, mesmo com o predomínio do grupo Araneae.

Tabela 7. Densidade da macrofauna edáfica (Ind.m<sup>-2</sup>) e índices ecológicos na serapilheira e nas profundidades dos diferentes sistemas de manejo, no período seco, Uberaba, MG.

| Sistema       | Ind.m <sup>-2</sup> | Riqueza Total | Shannon | Pielou |
|---------------|---------------------|---------------|---------|--------|
| Serapilheira  |                     |               |         |        |
| SPD6          | 304 + 181           | 10            | 2,29    | 0,69   |
| SPD17         | 186 + 111           | 6             | 1,74    | 0,67   |
| SPC20         | 29 + 24             | 7             | 2,73    | 0,97   |
| MN20          | 48 + 26             | 6             | 2,29    | 0,89   |
| 0,0 – 0,10 m  |                     |               |         |        |
| SPD6          | 266 + 121           | 12            | 2,49    | 0,69   |
| SPD17         | 512 + 190           | 10            | 1,93    | 0,58   |
| SPC20         | 310 + 231           | 10            | 2,48    | 0,75   |
| MN20          | 874 + 656           | 11            | 1,88    | 0,54   |
| 0,10 – 0,20 m |                     |               |         |        |
| SPD6          | 99 + 75             | 7             | 2,59    | 0,92   |
| SPD17         | 451 + 270           | 12            | 2,15    | 0,6    |
| SPC20         | 154 + 124           | 6             | 2,02    | 0,78   |
| MN20          | 422 + 316           | 9             | 1,97    | 0,62   |
| 0,20 – 0,30 m |                     |               |         |        |
| SPD6          | 221 + 105           | 6             | 2,06    | 0,8    |
| SPD17         | 432 + 349           | 6             | 1,45    | 0,56   |
| SPC20         | 160 + 121           | 5             | 1,68    | 0,72   |
| MN20          | 189 + 119           | 8             | 1,71    | 0,87   |

SPC20 = Sistema de plantio convencional consolidado há vinte anos; SPD6 = Sistema de plantio direto implantado há seis anos; SPD17 = Sistema de plantio direto implantado há dezessete anos; MN20 = Mata Nativa em regeneração há 20 anos.

No período seco a profundidade de 0,0 a 0,10 m (Figura 5B) se destaca a maior frequência para o grupo Formicidae em todas as áreas, no SPD6 (30%), no SPD17 (53%), no SPC20 (37%) e na MN20 (53%). Nesta profundidade foram verificados os maiores valores de densidade e riqueza total no estudo, isso pode ser justificado devido à baixa umidade que pode ter ocasionado a descida dos organismos da serapilheira para o solo. No SPD17 foi onde observou-se a maior densidade e os menores índices de Shannon e de Pielou, esses valores estão relacionados com a maior frequência da área sendo do grupo Formicidae (53%). Este grupo também apresentou a mesma frequência na MN20 inferindo também a esta área baixos índices devido o predomínio de Formicidae.

Para a profundidade de 0,10 a 0,20 m (Figura 5C), o SPD6 mostra uma boa distribuição dos organismos nos grupos Coleoptera (16%), Formicidae (13%), Hemiptera (16%), Larva de Coleoptera (16%) e Oligochaeta (6%). No SPD17 a maior frequência foi do grupo Hemiptera

(40%), no SPC20 foi do grupo Formicidae (53%) e na MN20, se observou uma elevada frequência de Isoptera (61%).

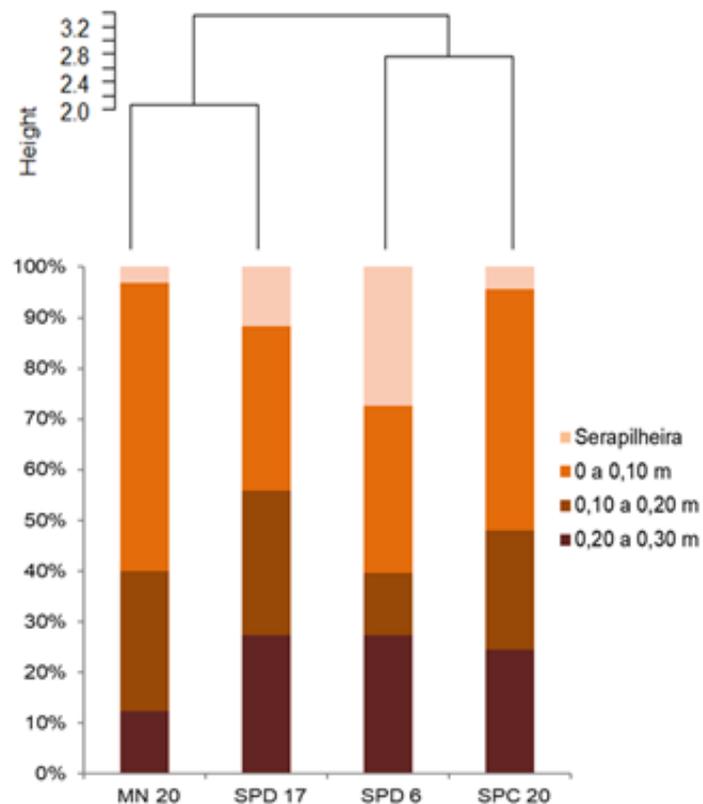
Nessa profundidade, o SPD17 apresentou a maior densidade e riqueza total, seguido da MN20, sendo a menor riqueza no SPC20. Observou-se os maiores índices de Shannon e de Pielou no SPD6, corroborando a distribuição da frequência dos grupos presentes nesta área, mas a menor densidade-, assim como, uma baixa riqueza quando comparado com as outras áreas. O índice de Pielou no SPD17 e na MN20 foram menores que nas outras áreas corroborando com as maiores frequências do grupo Hemiptera no SPD17 e do grupo Isoptera na MN20.

Para a profundidade de 0,20 a 0,30 m (Figura 5D), houve maior frequência de Formicidae (35%) no SPD6 e no SPD17 (61%), de Isoptera (66%) na MN20 e de Diptera (56%) no SPC20. Nessa profundidade observou-se as menores riquezas, sendo a menor no SPC20, os mesmos valores nos SPD6 e SPD17 e a maior na MN20. Nos sistemas de plantio se observa a maior densidade no SPD17 e os menores índices de Shannon e de Pielou corroborando a elevada frequência do grupo Formicidae.

Em todas as profundidades, destaca-se a presença de Formicidae e Coleoptera (adulto e larva) indicando que estes organismos são mais tolerantes a baixa umidade. Em seus estudos, Bianchi et al. (2017) e Lima et al. (2020) observaram o predomínio do grupo Formicidae para a época seca e Pompeo et al. (2016) relata em seu estudo que o grupo Coleoptera é influenciado pela sazonalidade e sugere mais estudos para elucidar o potencial do grupo como bioindicadores.

Na análise do agrupamento da similaridade de Cluster (Figura 6), observou-se a formação de dois grupos, o SPD17 com maior similaridade com MN20 e o segundo grupo entre SPD6 e SPC20, isso pode ser justificado pela densidade e riqueza dos grupos taxonômicos ao longo das profundidades.

Figura 6. Análise de agrupamento de similaridade de Cluster e porcentagem da distribuição vertical do número de ind.m<sup>-2</sup> dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna naserapilheira e nas diferentes profundidades do solo nos sistemas de manejo, no período seco, Uberaba, MG.



A similaridade mostra como o SPD17, em fase de consolidação, diante da baixa umidade favorece a distribuição dos organismos, pois, seguindo o processo de sucessão, seria o momento em que se estabeleceriam as populações da comunidade edáfica. Com a baixa umidade, o SPD17 mostrou a permanência de populações e similaridade à área de referência, assim como maior diversidade. A próxima fase do SPD é a fase de manutenção após 20 anos, ainda correlacionando com a sucessão ecológica, seria o clímax em um agroecossistema. De acordo com Pessotto et al. (2020) as diferentes formas de manejar o solo interferem na fauna edáfica e este trabalho mostra que o sistema de plantio direto favoreceu a diversidade da macrofauna edáfica tanto no período chuvoso quanto no período seco.

Ao analisar a distribuição vertical do número de ind.m<sup>-2</sup> dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna, no período seco, observou-se na serapilheira uma maior distribuição dos organismos no SPD6, corroborando com a sua maior riqueza e abundância. Isso se deve, provavelmente, porque este sistema está em fase de transição e em seu processo

de sucessão ecológica com a formação de um sistema mais complexo com a melhoria das condições ambientais (SILVA et al., 2020a).

Na profundidade de 0,0 - 0,10 m, observa-se a maior distribuição vertical da macrofauna, sendo maiores na MN20 e no SPC20 e os SPD6 e SPD17 apresentaram uma porcentagem de distribuição vertical semelhante nessa profundidade. Com a baixa umidade da época, observou-se que os organismos desceram dentro do perfil das profundidades, pois o estudo mostrou uma porcentagem de distribuição vertical maior da macrofauna na profundidade de 0,20 a 0,30 m que na 0,10 a 0,20 m nos sistemas agrícolas. A distribuição dos organismos foi maior nas profundidades que na serapilheira corroborando com padrão esperado devido à baixa umidade.

## 6 CONCLUSÃO

A manutenção da palhada sobre a superfície do solo no sistema de plantio direto comprovou que essa forma de manejo favorece a macrofauna do solo, em relação ao sistema de manejo convencional.

A sazonalidade influenciou a distribuição vertical dos organismos edáficos.

O tempo de adoção do sistema de plantio direto influenciou diretamente a macrofauna edáfica, que aumentou sua diversidade à medida que se aproximou do final da fase de consolidação do sistema.

## 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**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 409-416. Disponível em: [www.agro.ufg.br/pat](http://www.agro.ufg.br/pat); out./dez. 2014. Acesso em: 16 dez. 2020.
- ALMEIDA, H. S.; SILVA, R. F.; GROLLI, A. L.; SCHEID, D. L. Ocorrência e diversidade da fauna edáfica sob diferentes sistemas de uso do solo. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 15-23, 2017.
- ALVES, F. I. V.; LIMA, A. R. V.; FIALHO, J. S. Fauna edáfica em agroecossistema semiárido com 17 anos de pousio. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 13, n. 24, p. 1226, 2016.
- AMAZONAS, N. T.; VIANI, R. A. G.; REGO, M. G. A.; CAMARGO, F. F.; FUJIHARA, R. T.; VALSECHI, O. A. Soil macrofauna density and diversity across a chronosequence of tropical forest restoration in Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 3, p. 449-456, 2018.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. (ed.). **Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods**. Soil Science. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford University Press 1993.
- ANDERSON, M. C. T. H. Ordem Diptera. **Resista Idea@-SEA**, v. 63, p. 1-22, 2015.
- ANGELINI, G.A.R., LOSS, A., PEREIRA, M.G., TORRES, J.L.R., & SAGGIN JUNIOR, O.J. Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 33, p. 117-132, 2012.
- AQUINO, A. M.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M.; CORREIA, M. E. F.; GUIMARÃES, M. de 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. 91-97, 2008.
- AQUINO, A. M. **Manual para macrofauna do solo**. Seropédica: Embrapa, Agrobiologia, 2001. 21p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 130).
- AQUINO, A. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; QUEIROZ, J. M. Recomendações para Coleta de Artrópodes Terrestres por Armadilhas de Queda (“Pitfall-Traps”). **Circular Técnica 18**, Agrobiologia Seropédica, RJ, 2006.
- ARAÚJO, E. C. G.; SILVA, T. C.; LIMA, T. V.; SANTOS, N. A. T.; BORGES, C. H. A. Macrofauna como bioindicadora de qualidade do solo para agricultura convencional e agroflorestal. **Agropecuária Científica do Semi-Árido**, v. 14, n. 2, p. 108-116, 2018.
- BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo**. 2007. 158p. (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2007.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; BERTOL, I.; ALVES, M. V.; MANFOIS, A. F.; BARETTA, C. R. D. M. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no

planalto sul catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 2, p. 108-117, 2006.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I. & ALVES, M.V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos Ciências do Solo**, v. 7, p. 119-170, 2011.

BARTZ, M. L.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworms from Mato Grosso, Brazil, and new records of species from the state. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 934-939, 2009a.

BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, p. 797-809, 2014.

BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 1, p. 1-12, 2018.

BIANCHI, M. O.; SCORIZA, R. N.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; CORREIA, M. E. F.; SILVA, E. M. R. Macrofauna edáfica como indicadora em revegetação com leguminosas arbóreas. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 1-8, 2017.

BORROR, D.; DELONG, D. M. **Introdução ao estudo dos insetos**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1988. 653 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Bioma: Cerrado**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: 10 out. 2020.

BROWN, G. G.; FRAGOSO, C.; BAROIS, I.; ROJAS, P.; PATRÓN, J. C.; BUENO, J.; MORENO, A. G.; LAVELLE, P.; ORDAZ, V.; RODRÍGUEZ, C. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. **Acta Zoológica Mexicana** (nueva serie), n. especial 1, p. 79-110, 2001.

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.

BROWN, G.G.; NIVA, C.C.; ZAGATTO, M.R.G.; FERREIRA, S. de A.; NADOLNY, H.S.; CARDOSO, G.B.X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. de A.; PASINI, A.; BARTZ, M.L.C.; SAUTTER, K.D.; THOMAZINI, M.J.; BARETTA, D.; SILVA, E. da; ANTONIOLLI, Z.I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P.M.; SOUSA, J.P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. *In*: PARRON, L.M.; GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E.B. de; BROWN, G.G.; PRADO, R.B. (ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. p. 121-154.

BROWN, G. G.; RÖMBKE, J.; HÖFER, H.; VERHAAGH, M.; SAUTTER, K.D.; SANTANA, L. Q. Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. *In*: GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, J.M.; MARCIANO, C.R.; CARNEIRO, J. G. A. (ed.) **Sistema Agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 2006. p. 217 – 242.

CAMARA, R.; SILVA, V. D.; CORREIA, M. E. F.; VILLELA, D. M. Litter removal impact on an edaphic arthropod community in abandoned *Corymbia citriodora* plantations. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 14-26, jan./mar., 2019.

CATANOZI, G. **Análise espacial da macrofauna edáfica sob diferentes condições ambientais dos trópicos úmidos**. 141 p. Tese (Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2010.

CORREIA, M. E. F.; PINHEIRO, L. B. A. Monitoramento da fauna de solo sob diferentes coberturas vegetais em um sistema integrado de produção agrícola. **Circular técnica 3**, Seropédica, RJ, EMBRAPA Agrobiologia. 15p. 1999.

CREPALDI, R. A.; PORTILHO, I. I. R.; SILVESTRE, R.; MERCANTE, F. M. Formigas como bioindicadores da qualidade do solo em sistema integrado lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 44, p. 781-787, 2014.

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 2, p. 7–29, 2011.

EMBRAPA. Recomendações técnicas para o uso de plantas de cobertura na proteção do solo no período da seca na Região dos Cerrados. **Circular Técnica 42**, Planaltina, DF, dez. 2019.

ESPÍRITO-SANTO FILHO, K. **Efeito de distúrbios ambientais sobre a fauna de cupins (Insecta: Isoptera) e seu papel como bioindicador**. 2005, (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Rio Claro, 2005.

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

FERREIRA, T. N.; SCHWARZ, R. A.; STRECK, E. V. **Solos: manejo integrado e ecológico: elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 95 p.

FREIRE, L. R.; ARAÚJO, E. S.; BERBARA, R. L. L. Tempo de captura de organismos da mesofauna do solo e seus reflexos na interpretação de índices da comunidade edáfica. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 39, p. 1282-1291, 2015.

FREITAS, M. P. **Flutuação populacional de oligochaeta edáfica em hortas sob sistemas convencional e orgânico no município de Canoinhas/SC**. 2007. 61 p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. 61p.

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 Ciência e Solo**, v. 36, p. 909-920. 2012.

HENDRIX, P. F.; PARMELEE, R. W.; CROSSLEY J. R., D. A.; COLEMAN, D. C.; ODUM, E. P.; GROFFMAN, P. M. Detritus Food Webs in Conventional and No-Tillage Agroecosystems. **BioScience**, v. 36, n. 6, p. 374-380, 1986.

KITAMURA, A. E.; TAVARES, R. L. M.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S. Soil macrofauna as bioindicator of the recovery of degraded Cerrado soil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 8, p. 1-8, 2020.

KNOEPP, J. D.; COLEMAN, D. C.; CROSSEY JR., D. A; CLARK, J. S. Biological indices of Soil quality: an ecosystem case study of their use. **Forest Ecology and Management**, v. 138, p. 357- 368, 2000.

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

LAVELLE, P.; SPAIN, A. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 654p.

LAVELLE, P., SPAIN, A., BLOUIN, M., BROWN, G., DECAËNS T., GRIMALDI, M., JIMÉNEZ, J. J., MCKEY, D., MATHIEU, J., VELASQUEZ, E. & ZANGERLÉ, A. Ecosystem Engineers in a Self-organized Soil: A Review of Concepts and Future Research Questions. **Soil Science**, v. 181, n. 3/4, p. 91-109. 2016.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, OW.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v. 33, p. 159-193, 1997.

LAVELLE, P.; DANGERFIELD, J. M.; FRAGOSO, C.; LOPEZHERNANDEZ, D.; ESCHENBRENNER, V.; BRUSSARD, L.; PASHANASI, B. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. *In*: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. Chichester: John Wiley, 1994. p. 137-169.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROTA, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSIC, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, Jersey, v. 42, n. 1, p. 3-15, 2006.

LAVELLE, P.; PEREIRA, M.G.; CABREIRA, W.V.; LIMA, S.S.; ROCHA, J.E.; SANTOS, R.N.; SILVA, R.G. **Manual de coleta e identificação da fauna edáfica**. Seropédica, RJ: (s.n.), 2018.

LEMANCEAU, P.; MIKO, L.; MONTANARELLA, L.; MOREIRA, F. M. S.; RAMIREZ, K. S.; SCHEU, S.; SINGH, B. K.; SIX, J.; VAN DER PUTTEN, W. H.; WALL, D. H. (Eds.). **Global Soil Biodiversity Atlas**. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2016. 176 p.

LIIRI, M.; HÄSÄ, M.; HAIMI, J. & SETÄLÄ, H. History of land-use intensity can modify the relationship between functional complexity of the soil fauna and soil ecosystem services – A microcosm study. **Applied Soil Ecology**. v. 55, p. 53-61, 2012.

LIMA, C. S.; DALZUCHIO, M. S.; SILVA, E. F. Macrofauna edáfica e sua relação com sazonalidade em sistema de uso do solo, bioma Cerrado. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 1-13, 2020.

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**, Brasília, v. 45, n.3, p. 322-331, mar. 2010.

LIMA, S. S.; BENAZZI, E. S.; OLIVEIRA, N. C. R.; LEITE, L. F. C. Diversidade da fauna epígea em diferentes sistemas de manejo no semiárido. **Revista Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 328-337, 2019.

MARQUES, D.M.; SILVA, A.B.; SILVA, L.M.; MOREIRA, E.A. & PINTO, G.S. Edaphic macrofauna in different plant covers. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 1588-1597, set./out. 2014.

MARTINS, M. F. O.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; BROWN, G. G.; ROSA, M. G.; ZAGATTO, M. R. G.; SANTOS, A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G.B.X.; NIVA, C.C.; BARTZ, M.L.C.; FEITOSA, R.M. Accessing the subterranean ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) in native and modified subtropical landscapes in the Neotropics. **Biota Neotropica**. v. 20, n. 1, e2019782, 2020.

MAZETTO JÚNIOR, J. C.; TORRES, J. L. R.; COSTA, D. D. A.; SILVA, V. R.; SOUZA, Z. M.; LEMES, E. M. Production and Decomposition of Cover Crop Residues and Associations With Soil Organic Fractions. **Journal of Agricultural Science**; v. 11, n. 5, p. 1-12, 2019.

MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. M.; COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, I. P. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em pinheiral (RJ). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 33, p. 647-1656, 2009.

MERLIM, A. de O.; GUERRA, J. G. M.; JUNQUEIRA, R. M.; AQUINO, A. M. de. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 57-61, 2005.

MOÇO, M. K. S.; 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 da Ciência do Solo**, v. 29, p. 555-564, 2005.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO, A. S. F.; PESSOA, M. M. C.; SOUSA, R. S.; SILVA, J. D. C.; MATOS-FILHO, C. H. A. Edaphic fauna in a vegetation gradient in the Sete Cidades National Park. **Brazilian Journal of Biology**, v. 79, n. 1, p. 45-51, 2019.

ODUM, E. P. **Basic Ecology**. CBS College Publishing, New York, 1983.

OLIVEIRA, M. A.; GOMES, C. F. F.; PIRES, E. M.; MARINHO, C. G. S. M.; LUCIA, T. M. C. D. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 800-807. 2014.

ORGIAZZI A., R.; BARDGETT, E.; BARRIOS, V.; BEHAN-PELLETIER, M. J. I.; BRIONES, J.-L.; CHOTTE, G. B.; DE DEYN, P.; EGGLETON, N.; FIERER, T.; FRASER, K.; HEDLUND, S.; JEFFERY, N. C.; JOHNSON, A.; JONES, E.; KANDELER, N.; KANEKO, P.; LAVELLE, P.; LEMANCEAU, L.; MIKO, L.; MONTANARELLA, F. M. S.; MOREIRA, K. S.; RAMIREZ, S.; SCHEU, B. K.; SINGH, J.; SIX, W. H.; VAN DER PUTTEN; D. H. WALL (eds). Global Soil Biodiversity Atlas. *In: European Commission. Publications Office of the, European Union*, Luxembourg: European Commission, 2016. p. 176.

PESSOTTO, M. D. F.; SANTANA, N. A.; JACQUES, R. J. S.; FREIBERG, J. A.; MACHADO, D. N.; PIAZZA, E. M.; ROSA NETO, L.; ANTONIOLLI, Z. I. Relação do uso do solo com a diversidade e a atividade da fauna edáfica. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 3, p. 397-402, maio/jun. 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.2019. Acesso em: 16 dez. 2020.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. A. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: SBCS, 1999.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado**. EMBRAPA Cerrados, 1998. Cap. 3.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2010. 534 p.

RODRIGUES, D. M.; FERREIRA, L. O.; SILVA, N. R.; GUIMARÃES, A. S.; MARTINS, I. C. F. OLIVEIRA, F. A. Diversidade de artrópodes da fauna edáfica em agroecossistemas de estabelecimento agrícola familiar na Amazônia Oriental. **Revista Ciências Agrárias**, v. 59, n. 1, p. 32-38, 2016.

RODRIGUES, K.M.; CORREIA, M. E.; ALVES, L. B.; AQUINO, A. M. Funis de Berlese-Tullgren modificados utilizados para amostragem de Macroartrópodes de Solo. **Circular Técnica 22**, EMBRAPA Seropédica, RJ, 2008.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E.; FORNARI, A.; SÁ, M. F. M.; VENZKE FILHO, S. P.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; PAULLETI, V. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, v. 84, p. 45-61, 2004.

SANTOS, D. P.; MARCHÃO, R. L.; BARBOSA, R. S.; SILVA JUNIOR, J. P.; SILVA, E.M.; NÓBREGA, J. C. A.; NIVA, C. C.; SANTOS, G. G. Soil macrofauna associated with cover crops in na Oxisol from the southwest of Piauí state, Brazil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, e0822018, maio 2020.

SANTOS, D. P.; SCHOSSLER, T. R.; SANTOS, I. L.; MELO, N. B.; SANTOS, G. G. Soil macrofauna in a Cerrado/Caatinga ecotone under diferente crops in Southeastern Piauí State, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 10, e20160937, 2017.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M. da; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 115-122, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356p.

SILVA, D. C.; PEREIRA, J. M.; ORTIZ, D. C.; OLIVEIRA FILHO, L.C.I.; PINTO, L.V.A. Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 14795-14816, mar. 2020a.

SILVA, J. A. A. da; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde em citros. **Boletim Citrícola**, Jaboticabal, n. 9, jun. 1999.

SILVA, V.; TORRES, J. L. R.; COSTA, D. D. A.; SILVEIRA, B. S.; VIEIRA, D. M. S.; LEMES, E. M. Soil Physical Attributes in Long-Term Soil Management Systems (Tillage and No-till). **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 4, p. 194-207, 2020.

SIQUEIRA, G. M.; SILVA, E. F. F.; MOREIRA, M. M.; SANTOS, G. A. A.; SILVA, R. A. Diversity of soil macrofauna under sugarcane monoculture and two different natural vegetation types. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 30, p. 2669-2677, 28 Jul. 2016.

SOUZA, M. H.; VIEIRA, B. C. R.; OLIVEIRA, A. P. G.; AMARAL, A. A. Macrofauna do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 115-131, 2015.

SPILLER, M. S.; SPILLER, C.; GARLET, J. Arthropod bioindicators of environmental quality. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 12, n. 1, p. 41-57, jan./mar. 2018.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979. p. 372.

TORRES, J. L. R.; MAZETTO JÚNIOR, J. C.; SILVA JÚNIOR, J.; VIEIRA, D. M. S.; SOUZA, Z. M.; ASSIS, R. L.; LEMES, E. M. Soil physical attributes and organic matter accumulation under no-tillage systems in the Cerrado. **Soil Research**, v. 57, p. 712-718, 2019.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 428-437, 2015.

VELÁSQUES, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 3066-3088, 2007.

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores de qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, p. 60-71, 2005.

YAMADA, D.; IMURA, O.; SHI, K.; SHIBUYA, T. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. **Grassland Science**, v. 53, p. 121-129, 2007.