



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Júlio Camargo Ribeiro da Silva

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E MACROFAUNA EDÁFICA EM SISTEMA
AGROFLORESTAL E MATA**

Campinas

2021



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Júlio Camargo Ribeiro da Silva

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E MACROFAUNA EDÁFICA EM SISTEMA
AGROFLORESTAL E MATA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Agrícola junto à Faculdade de
Engenharia Agrícola da Universidade
Estadual de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza

Coorientador: M.e Vagner Roberto Ariedi Junior

Campinas

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Si38a Silva, Júlio Camargo Ribeiro da, 1995-
Atributos físicos do solo e macrofauna edáfica em sistema agroflorestal e mata /
Júlio Camargo Ribeiro da Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Zigomar Menezes de Souza.
Coorientador: Vagner Roberto Ariedi Junior.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Meio ambiente. 2. Conservacionista. 3. Ecologia agrícola. 4. Solos -
Classificação. 5. Sustentabilidade. I. Souza, Zigomar Menezes de, 1970-. II. Junior,
Vagner Roberto Ariedi. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. IV. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: Physical attributes of soil and edaphic macrofauna in agroforestry and forest systems

Palavras-chave em inglês:

Environment
Conservationist
Conservationist
Soils - Classification
Sustainability

Titulação: Engenheiro Agrícola

Banca examinadora:

Leila Pires Bezerra
Marina Pedroso Carneiro

Data de entrega do trabalho definitivo: 25-01-2021

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E MACROFAUNA EDÁFICA EM SISTEMA
AGROFLORESTAL E MATA**

Júlio Camargo Ribeiro da Silva

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza - Orientador

M.e Vagner Roberto Ariedi Junior - Coorientador

M.e Leila Pires Bezerra

M.e Marina Pedroso Carneiro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, irmã e namorada que juntos, fizeram de mim quem sou e nunca me deixaram desistir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que me deu suporte para permanecer nos estudos, superando os obstáculos que apareceram no caminho. Agradeço aos professores desta instituição que me apoiaram e me incentivaram, me fornecendo insumo suficiente para auxiliar no desenvolvimento do nosso país e principalmente ao meu orientador Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza e ao coorientador M.e Vagner Roberto Ariedi Junior, que proporcionaram todo auxílio para desenvolver esse projeto.

EPÍGRAFE

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.” (José de Alencar).

Resumo

A diferença dos sistemas conservacionistas de produção com relação à agricultura convencional se dá pelo emprego de diversos mecanismos na busca da melhora nos atributos físicos, químicos e biológicos, e consequente aumento da qualidade do solo. Há a necessidade da utilização de práticas agrícolas com o objetivo de preservar e utilizar os serviços ecossistêmicos em prol da sustentabilidade e produção agrícola. Portanto, o objetivo deste projeto foi avaliar se o Sistema Agroflorestal (SAF) mecanizado e em larga escala apresenta melhores resultados com relação aos atributos físicos do solo e à comunidade de macrofauna edáfica, quando comparado a uma área de mata em um Neossolo Quartzarênico. Os tratamentos selecionados foram: (i) SAF - Fruticultura/Madeira e (ii) Mata. Foram realizadas coletas de amostras em campo entre 2018 e 2020 para análises dos atributos físicos do solo (granulometria, densidade do solo e de partículas, porosidade, curva de retenção de água, teor de água no solo e resistência do solo à penetração) e da macrofauna edáfica analisada em laboratório e caracterizada em termos de composição na qual os indivíduos foram identificados e classificados ao nível taxonômico de Classe/Ordem e os atributos populacionais da comunidade expressos em termos de riqueza (S), abundância (N) e densidade (ind m²). A diversidade entre os tratamentos foi calculada pelos índices de diversidade de Shannon-Weaver (H), dominância de Simpson (D) e uniformidade de Pielou (J). O SAF apresentou valores dos atributos iguais estatisticamente em relação à mata, possibilitando uma recriação das condições naturais dos ambientes. O SAF apresentou valores dos atributos físicos iguais estatisticamente em relação à mata, possibilitando uma recriação das condições naturais dos ambientes. O SAF e a mata tiveram valores de resistência do solo à penetração abaixo do limite crítico de 2,0 MPa, não indicando compactação e interferindo positivamente na macrofauna edáfica. A área com Sistema Agroflorestal apresentou maior abundância e indivíduos por metro quadrado quando comparado com a área de mata. As áreas de Sistema Agroflorestal e mata foram encontradas maior concentração para os bioturbadores, representados pelas espécies de minhocas, que podem ser considerados indicadores de qualidade do solo.

Palavras-chaves: Meio ambiente, sistema conservacionista, agroecologia, atributos do solo; sustentabilidade.

Abstract

The difference between conservationist production systems and conventional agriculture is due to the use of different mechanisms in the search for improvement in physical, chemical and biological attributes and, consequently, an increase in soil quality. There is a need to use agricultural practices in order to preserve and use ecosystem services in favor of sustainability and agricultural production. Therefore, the objective of this Project will be evaluate whether the mechanized and large-scale Agroforestry System presents better results in relation to the physical attributes of the soil and the edaphic macrofauna community, when compared to a forest area in a Quartzarenic Neossol. The selected treatments were: (i) SAF – Fruit Farming/ Wood and (ii) Pasture. It will be realized field sample collections between 2018 and 2020 for the analyzes of physical attributes of the soil (granulometry, density and porosity of the soil, particles density, water retention curve, water content in the soil and the soil resistance to penetration) and the edaphic macrofauna analyzed in the laboratory and characterized in terms of composition, the individuals were identified and classified according to the taxonomic level of Class/Order and the populational attributes of the community expressed in wealthy (S), abundance (N) and density (ind m⁻²). The diversity among the treatments was calculated by the values of Shannon-Weaver index (H), dominance of Simpson (D) and Pielou's uniformity index (J). The SAF presented values of the physical attributes statistically equal in relation to the forest, allowing a recreation of the natural conditions of the environments. The SAF and the forest had values of resistance of the soil to the penetration below the critical limit of 2.0 MPa, not indicating compaction and interfering positively in the edaphic macrofauna. The area with Agroforestry System showed greater abundance and individuals per square meter when compared to the forest area. The areas of the Agroforestry System and forest were found to be more concentrated in bioturbators, represented by earthworm species, which can be considered indicators of soil quality.

Key words: Environment, conservation system, agroecology, soil attributes and sustainability.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da área de estudo, no município de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil. 11
- Figura 2.** Preparo de área para implantação de SAF com plantio prévio de gramíneas e feijão guandu na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca. 12
- Figura 3.** Área roçada de gramíneas e feijão guandu (A) e desenleirador para abertura das faixas de plantio (B), na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca. 12
- Figura 4.** Preparo das leiras de plantio (A) e adubação com pó de rocha (B) em área de SAF da Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca. 13
- Figura 5.** Enleiramento de material roçado nas leiras de plantio de SAF na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca. 13
- Figura 6.** Leira com espécies plantadas em sistema agroflorestal na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca. 14
- Figura 7.** Esquema representativo e vista do SAF (Fruticultura/Madeira) na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca. 14
- Figura 8.** Vista da área de mata na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca. 15
- Figura 9.** Curva de retenção de água no solo nas posições de amostragem para o SAF (sistema agroflorestal) e mata na profundidade de 0,00-0,10 m, na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. 24
- Figura 10.** Curva de retenção de água no solo nas posições de amostragem para o SAF (sistema agroflorestal) e mata na profundidade de 0,10-0,20 m, na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. 25
- Figura 11.** Curva de retenção de água no solo nas posições de amostragem para o SAF (sistema agroflorestal) e mata na profundidade de 0,20-0,30 m, na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. 25

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade de partículas, densidade do solo, areia grossa, areia fina, areia total, argila, silte, teor de água e resistência do solo à penetração obtidos nas áreas de SAF (sistema agroflorestal) e mata, nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, na fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. 21
- Tabela 2.** Abundância, abundância absoluta, abundância média, densidade (indivíduos por metro quadrado), riqueza média, riqueza exclusiva, índice de diversidade de Shannon, índice de dominância de Simpson e índice de uniformidade de Pielou para a comunidade de macrofauna edáfica no SAF e mata na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. 27
- Tabela 3.** Abundância e densidade dos grupos funcionais para a comunidade de macrofauna edáfica no SAF e mata na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. 32

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 Objetivo Geral | 3 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 3 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 3.1 Agricultura e manejos do solo | 4 |
| 3.2 Agricultura conservacionista | 5 |
| 3.3 Sistemas agroflorestais | 7 |
| 3.4 A macrofauna edáfica como indicador de qualidade dos solos..... | 8 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 11 |
| 4.1 Localização da área de estudo..... | 11 |
| 4.2 Delineamento experimental..... | 11 |
| 4.3 Análises físicas do solo | 15 |
| 4.3.1 Análise granulométrica | 15 |
| 4.3.2 Densidade e porosidade do solo..... | 15 |
| 4.3.3 Densidade de partículas | 15 |
| 4.3.4 Curva de retenção de água..... | 16 |
| 4.3.5 Teor de água no solo | 16 |
| 4.3.6 Resistência do solo à penetração | 16 |
| 4.4 Análises da macrofauna edáfica | 17 |
| 4.4.1 Índice de diversidade de Shannon-Weaver (H) | 18 |
| 4.4.2 Índice de dominância de Simpson (D) | 18 |
| 4.4.3 Índice de uniformidade de Pielou (J)..... | 19 |
| 5. ANÁLISES DOS DADOS..... | 19 |
| 5.1 Atributos físicos e macrofauna edáfica..... | 19 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 20 |
| 6.1 Análises físicas..... | 20 |
| 6.2 Curva de retenção da água | 24 |
| 6.3 Análises da macrofauna edáfica | 26 |
| 6.3.1 <i>Diversidade</i> | 29 |
| 6.3.2 <i>Riqueza e Abundância</i> | 29 |
| 6.3.3 <i>Grupos funcionais</i> | 31 |
| 7. CONCLUSÕES | 33 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 34 |

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é indispensável para a população mundial sendo uma das atividades mais importantes criadas pelo homem para sua sobrevivência (SILVA *et al.*, 2015a). Entretanto, o modo como a agricultura deve ser manejada interferindo da menor forma possível ao meio ambiente é uma discussão recente. Estudos realizados por Van Ittersum *et al.* (2013), mostram que pesquisas da década passada não priorizavam o aumento de produtividade agrícola sustentável, fazendo com que houvessem expansões desenfreadas de áreas agriculturáveis.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2017), o Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo e apresenta cerca de 7,8% do total mundial de hectares voltados para a agropecuária. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura – FAO (2013), o Brasil tem grande importância para os próximos anos, pois cerca de 90% das regiões possíveis para expansão agrícola estão na África-Subsaariana e América Latina.

Porém, de acordo com a Organização das Nações Unidas – ONU (2012) existem muitas incertezas sobre a oferta de alimentos para as próximas décadas, pois a população mundial em 2050 foi superior a 9,5 bilhões de pessoas e a única maneira de suprir a demanda por alimentos foi aumentando a produtividade das áreas já estabelecidas para a agropecuária. Desse modo a produção mundial por alimentos terá que aumentar em 60%.

De acordo com a FAO e ITPS (2015), em torno de 33% dos solos do mundo já apresentam degradação, e em regiões como o centro do Brasil, apresentam números ainda piores, com cerca de 80% das pastagens em alguma fase de degradação (COSTA *et al.*, 2018). A degradação do solo não é de fácil reversão, pois os processos de formação do solo são extremamente lentos e necessitam de inúmeros fatores externos como clima e recursos hídricos (ARAUJO *et al.*, 2013). Segundo Silva *et al.* (2015a), o uso de sistemas conservacionistas busca melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, mantendo a qualidade junto com a produtividade agrícola.

Existem diversos tipos de sistemas conservacionistas, como o plantio direto, a rotação de culturas, os sistemas integrados de lavoura e pecuária e os sistemas agroflorestais (SAF), todos eficientes no manejo da qualidade do solo e das propriedades edáficas que permeiam o ecossistema (COSTA *et al.*, 2013). Com o uso

dessas práticas, a perturbação no solo é reduzida, fazendo com que a quantidade e a qualidade da matéria orgânica sejam superiores quando comparado com sistemas convencionais (BHAN; BEHERA, 2014).

Para Vasconcellos e Beltrão (2018), os SAF buscam criar as mesmas condições que o ecossistema apresentava quando mata nativa, e de acordo com Rosa *et al.* (2015), o manejo conservacionista traz benefícios para os atributos físicos, químicos e biodiversidade edáfica presente nos perfis do solo quando comparados com sistemas que utilizam o solo de forma excessiva em cultivos de monoculturas.

Os indicadores biológicos do solo apresentam grande importância na avaliação da qualidade, pois são os mais sensíveis quando comparados com os indicadores físicos e químicos. São a parte viva e energética da matéria orgânica e totalmente influenciados por qualquer alteração advinda do manejo agrícola, servindo como indicadores de qualidade (STÖCKER *et al.*, 2017).

De acordo com Dionísio *et al.* (2016), a macrofauna edáfica corresponde aos organismos com diâmetro corporal entre 4,0 mm e 20,0 cm encontrados em diversas profundidades do solo. E segundo Lima *et al.* (2020), esses organismos promovem a estruturação física do solo, aumentam a infiltração da água e atuam diretamente na ciclagem de nutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas, estando assim, relacionados à qualidade do solo.

Por meio da contextualização apresentada, constata-se a necessidade da adoção de sistemas que conservem a qualidade do solo e proporcionem melhorias no meio ambiente. Dessa forma, o presente trabalho busca verificar a ocorrência de benefícios advindos do SAF, para sua utilização em grande escala.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar se o Sistema Agroflorestal interfere positivamente nos atributos físicos do solo e na comunidade de macrofauna edáfica em comparação ao fragmento florestal.

2.2 Objetivos Específicos

i) Avaliar se ocorrem diferenças nos atributos físicos do solo, por meio de análises da granulometria, densidade do solo, densidade de partícula, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, curva de retenção de água, teor de água no solo e resistência do solo à penetração, entre as áreas de Sistema Agroflorestal e fragmento florestal em processo natural de regeneração (Mata).

ii) Pesquisar se existem diferenças na comunidade da macrofauna edáfica, por meio das análises de riqueza, abundância, densidade, grupos funcionais, índice de diversidade de Shannon-Weaver, índice de dominância de Simpson e índice de uniformidade de Pielou, entre as áreas de Sistema Agroflorestal e fragmento florestal.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Agricultura e manejos do solo

O solo é considerado um recurso não renovável devido ao seu lento processo de formação e regeneração, o que torna necessário adotar medidas de prevenção à degradação, contaminação e erosão, pois sua função tem grande importância para o planeta, à qualidade de vida e aos ecossistemas (LIMA *et al.*, 2020). De acordo com Silva *et al.* (2015a), a agricultura é uma das atividades mais importantes criadas pelo homem e indispensável para a população mundial. Entretanto, práticas usadas em determinados sistemas de produção tendem a influenciar de forma negativa o meio em que estão inseridos causando impactos na produtividade agrícola.

A grande demanda por alimento acarretou um aumento da produção agrícola, ocasionando o uso intensivo do solo ao redor do mundo, tendo em sua maioria um uso inadequado, com práticas convencionais de cultivo de monoculturas. Dessa forma, favorece a degradação do ambiente e do solo, tornando-os menos produtivos e necessitando de mais tempo para sua recuperação total (BUENO *et al.*, 2018). O consumo mundial por alimento tende a aumentar nos próximos anos, e de acordo com a ONU (2012), a população mundial em 2050 será superior a 9,5 bilhões de pessoas, fazendo com que a demanda cresça de forma nunca vista.

De acordo com a FAO (2013), o Brasil apresenta um papel importante na produção de alimentos e se destaca por ter um grande potencial de expansão dentro de território nacional, porém, só foi possível elevar a oferta de alimentos a partir do crescimento da produtividade nas áreas já existentes, mas quando mal manejados acarretam em consequências difíceis de reverter, levando à degradação do solo.

Geralmente a degradação de determinado ecossistema ocorre em razão da ocupação de áreas que não possuem predisposição para atividades agrícolas e pecuárias, ou quando as práticas de manejo e conservação não são utilizadas apropriadamente. Ações como essas têm impactos negativos sobre a produtividade das áreas, que regularmente acabam sendo abandonadas e substituídas por novas áreas, favorecendo a repetição do processo de degradação (ARAUJO *et al.*, 2013).

Segundo Guerra e Jorge (2012), o conhecimento acerca da erosão e conservação dos solos tem crescido rapidamente ao longo dos anos, porém, na maior parte do mundo, ainda é evidente os prejuízos provocados pela erosão, e a adesão de práticas conservacionistas mantém-se restrita a áreas menores. Dessa forma, para

Vezzani e Mielniczuk (2011), o solo, por ser construído em uma estrutura com composição bem definida e específica, precisa ser interpretado de forma detalhada, de maneira que possam ser implementadas práticas conservacionistas para compreender o melhor tipo de manejo para os resíduos e incluir diferentes culturas, para prevenir a degradação de matéria orgânica e manter ou recuperar a qualidade do solo.

De acordo com Tavares (2008), o Brasil tem 20% do seu território ocupado por pastagens destinadas à pecuária, entretanto estima-se que 75% das áreas já estão degradadas ou em fase de degradação. Nesse contexto, a recuperação das áreas degradadas é essencial para a garantia de um solo e dos recursos hídricos conservados, além da biodiversidade nos ecossistemas que os permeiam (MARCUIZZO *et al.*, 2014). Por esse fato, não existe apenas a necessidade de preservar áreas florestais, mas também restaurar regiões que inicialmente eram ocupadas por vegetação nativa (RODRIGUES *et al.*, 2010).

A recuperação de ecossistemas degradados é composta por métodos que buscam contribuir para a restauração de um ambiente natural modificado pelas ações antrópicas. Para isso, as culturas selecionadas devem ser compatíveis para se desenvolver nesses ambientes impróprios, além de haver uma necessidade mínima dos recursos naturais para que o estabelecimento de espécies em áreas danificadas possa acontecer (BRANCALION *et al.*, 2015). Nesse sentido, Sukanuma e Durigan (2015), discutem que os objetivos para que a restauração possa ser estabelecida devem ser definidos tendo como base a avaliação dos bons indicadores característicos para determinados ecossistemas.

O cenário agrícola mundial vem se modificando devido ao desenfreado uso de produtos químicos utilizados em praticamente todas as etapas da produção de alimentos, trazendo com ela uma crescente preocupação da sociedade em relação aos riscos à saúde dos seres humanos e ao meio ambiente. Essa perspectiva traz um maior engajamento por alimentos mais saudáveis e de uma produção mais sustentável por meio de sistemas conservacionistas (DE MARI *et al.*, 2017).

3.2 Agricultura conservacionista

De acordo com Gomes *et al.* (2017), deve-se ter uma visão mais ampla, a médio e longo prazo, de um desenvolvimento agropecuário sustentável de produção e conservação dos recursos naturais fundamentais para a garantia de todas as formas

de vida. Para Silva *et al.* (2015a), a agricultura conservacionista busca a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e, conseqüentemente, restaura a qualidade do meio em que estão situados, provocando uma necessidade por práticas agrícolas que, além de conservarem os recursos naturais, gerem o desenvolvimento sustentável da produção agropecuária.

Com a utilização de práticas de conservação, é possível reduzir a perturbação que ocorre no solo e aumentar a quantidade de matéria orgânica nas camadas mais superficiais, convertendo a degradação advinda dos sistemas convencionais (BHAN; BEHERA, 2014). Dentre essas práticas, as mais utilizadas são, o plantio direto, a agricultura orgânica, o sistema de integração-lavoura-pecuária e os sistemas agroflorestais, que segundo estudos de Costa *et al.* (2013), apresentam capacidade de aumentar a qualidade dos atributos do solo e do meio em que estão inseridos, como o aumento da matéria orgânica, por exemplo.

Em relação ao sistema plantio direto, Freitas *et al.* (2016), apresentam como o sistema mais importante em relação à preservação do meio ambiente, pois é o mais utilizado na agricultura hoje em dia, além de aumentar a porosidade do solo e a água disponível para o desenvolvimento da lavoura, com redução da erosão em áreas agrícolas (JEMAI *et al.*, 2013).

Segundo estudos de Alencar *et al.* (2013), a preocupação por alimentos mais saudáveis vem crescendo nos últimos anos e conseqüentemente as produções orgânicas também, já que esse tipo de sistema não há uso de agrotóxicos em nenhuma etapa de produção e na sua grande maioria, produzidas por agricultura familiar. O Brasil está se consolidando como um grande produtor de alimentos orgânicos, já são, aproximadamente, 17 mil propriedades certificadas em todas as unidades da federação, sendo que a maior parte da produção é oriunda de pequenos produtores (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Por sua vez, o sistema de integração lavoura-pecuária vem sendo bastante utilizado em áreas agrícolas no qual anteriormente eram produzidos grãos ou pastagens para gado, que apresentavam solos degradados devido ao uso intensivo na produção (BRANCALION *et al.*, 2015). Em estudos realizados por Almeida (2012), constatou benefícios na qualidade do solo, como o aumento de carbono e a diversidade da macrofauna edáfica, após a implementação desse sistema conservacionista. A integração-lavoura-pecuária promove a recuperação de áreas de pastagens degradadas agregando, na mesma propriedade, diferentes sistemas

produtivos, como os de grãos, fibras, carne, leite e agroenergia. Busca melhorar a fertilidade do solo com a aplicação de técnicas e sistemas de plantio adequados para a otimização e a intensificação de seu uso (OLIVEIRA *et al.* 2017). Dessa forma, permite a diversificação das atividades econômicas na propriedade e minimiza os riscos de frustração de renda por eventos climáticos ou por condições de mercado.

Assim, com a integração lavoura-pecuária, a produção pecuária ganha pela disponibilidade de forragem de alta qualidade ofertada no período do inverno, e a lavoura também ganha, uma vez que as gramíneas mantêm o solo coberto, controlam plantas espontâneas e doenças de solo, melhoram a estrutura do solo, promovem a ciclagem de nutrientes e fixam carbono em profundidade (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

Em experimentos de longa duração, Salton *et al.* (2015), observaram que, de modo geral, a utilização do sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), com a rotação entre os sistemas de lavoura e pecuária a cada 2 anos, resultou em aumento da matéria orgânica do solo, ou seja, que o solo atingiu qualidade e houve aumento da capacidade produtiva. Além disso, esses autores relatam que a ILP favorece a manutenção da diversidade da fauna invertebrada, a formação de agregados estáveis e a fertilidade do solo. A melhor estruturação do solo encontrada nas camadas mais superficiais do solo no sistema de iLP, configura um ambiente edáfico biologicamente mais ativo.

De acordo com Arantes *et al.* (2017) uma das soluções que conservam os recursos naturais e apresentam grande potencial de retornos econômicos são os Sistemas Agroflorestais (SAF). Os SAF buscam otimizar o máximo aproveitamento da energia solar por meio da multiestratificação diferenciada de uma grande diversidade de espécies que exploram os perfis vertical e horizontal da paisagem, visando a utilização e recirculação dos potenciais produtivos dos ecossistemas. Em relação ao aspecto social, a diversificação de atividades, a demanda de mão de obra e a distribuição da produção de alimentos durante o ano, possibilitam a fixação do homem no campo e permitem melhorias de suas condições de vida pela diversidade de produção (JACOBI *et al.*, 2014).

3.3 Sistemas agroflorestais

O Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal (ICRAF) sugere a definição na qual “Agrofloresta é um nome genérico para sistemas de uso da terra onde espécies lenhosas perenes como árvores, arbustos, palmeiras, bambus etc., são

deliberadamente utilizadas nas mesmas unidades de área com culturas agrícolas e/ou animais, num determinado arranjo espacial e temporal”. Outra definição aponta que SAF são “sistemas baseados na dinâmica, na ecologia e na gestão dos recursos naturais que, por meio da integração de árvores na propriedade e na paisagem agrícola, diversificam e sustentam a produção com maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais para todos aqueles quem usam o solo em diversas escalas” (MICCOLIS *et al.*, 2016).

O SAF além de reduzir a degradação do solo, diminui a pressão sobre a floresta, contribuindo para o equilíbrio entre o solo, o ar, os recursos hídricos, o microclima e a fauna e flora, criando assim uma interação dentro do ecossistema com relação entre a ciclagem de nutrientes e biodiversidade (AMARAL *et al.*, 2018). Ainda sobre os benefícios advindos do SAF, segundo Gomes *et al.* (2017), esse sistema inclui uma diversidade produtiva sem o uso de agrotóxicos, com retorno econômico e ganhos no meio ambiente, devido ao uso sustentável do solo e da adequação das culturas locais.

Segundo Righi e Bernardes (2015) o uso de SAF tem com princípio recuperar áreas degradadas e restabelecer florestas, minimizando a perda de fertilidade do solo e os ataques por pragas e doenças. Para Rosa *et al.* (2015), o manejo conservacionista reduz os impactos na biodiversidade edáfica no meio estabelecido, já que há benefícios nos atributos físicos e químicos, quando confrontado com manejos convencionais e uso excessivo do solo em monoculturas.

Em comparação entre solos sob uso de SAFs e em florestas remanescentes, Menezes *et al.* (2008), observaram que, sem aplicação de nenhum tipo de fertilizante, os solos sob uso de SAFs com idade de cinco anos e meio apresentaram valores maiores de pH, Ca e Mg do que nos remanescentes florestais, sendo que os teores de matéria orgânica, P e K não diferiram nos dois sistemas, indicando que os SAFs preservaram propriedades do solo semelhantes às do remanescente florestal.

3.4 A macrofauna edáfica como indicador de qualidade dos solos

No Brasil, o bioma que apresenta a menor taxa de áreas protegidas é o Cerrado, no qual, somente 8,21% são legalmente protegidas e conservadas, sendo que, dessa porcentagem total, 5,36% representa regiões com propósitos sustentáveis e os outros 2,85% são áreas com proteção integral. Tais dados demonstram que as

medidas conservacionistas são importantes para ambientes desfavoráveis ao crescimento de diferentes táxons, já que indiretamente há um aumento da qualidade nutricional e da fertilidade do solo (LIMA *et al.*, 2010).

A população macrofauna do solo é perturbada pela derrubada da floresta seguida pela queima da vegetação, que é uma forma comum de preparo da área, tanto para agricultura como para pecuária. Isto provoca a morte de grande quantidade de animais do solo, alterando a diversidade faunística da área (LAVELLE *et al.*, 1995). No entanto, a biomassa vegetal que não foi queimada, principalmente os grandes troncos, mantém áreas com menor perturbação que funcionam como refúgios temporários para a fauna do solo (OLIVEIRA; FRANKLIN, 1993).

Os indicadores biológicos de qualidade do solo são mais sensíveis quando comparados com os indicadores físicos e químicos, pois apresentam a parte viva e energética da matéria orgânica presente no solo e, por esse fato, apresentam respostas mais rápidas em relação as alterações no solo provenientes do manejo (STÖCKER *et al.*, 2017). Em sistemas convencionais, há um aumento na intensidade do uso da terra em relação a sistemas convencionais, ocorrendo uma redução na diversidade da macrofauna edáfica e na densidade do solo, em razão das alterações no habitat e no suprimento encontrado no solo (VASCONCELOS, 2020).

Segundo estudos de Dionísio *et al.* (2016), pode se levar em consideração a macrofauna edáfica, todos os organismos com tamanho corporal entre 4,0 mm e 20,0 cm que tem como habitat principal camadas diferentes do solo, entre eles podem encontrar espécies de minhocas, formigas e aracnídeos. Porém, em algumas regiões ainda existem diversas dúvidas sobre a diversidade da macrofauna edáfica, por exemplo, em regiões de mata nativa no cerrado, por falta de pesquisas voltadas para essa área. Há a necessidade de entender e interpretar as principais espécies que habitam em condições naturais e em área com cultivo agrícola, além de compreender as possibilidades de recuperação de solos e regiões que sofreram algum tipo de impacto devido ao manejo intensivo, no ponto de vista da biodiversidade biológica (LIMA *et al.*, 2020).

De acordo com Korasaki *et al.* (2013), há uma relação diretamente proporcional entre solos saudáveis e grande biodiversidade, além de vincular ecossistemas naturais com manejo de agroflorestas traz uma interação entre os organismos do solo, tendo um controle melhor das pragas e doenças. Segundo Lima *et al.* (2020), a macrofauna edáfica tem papel importante na circulação da água, na

fixação de nitrogênio, na mineralização do carbono e do nitrogênio e na humificação da matéria orgânica, que influenciam diretamente na disponibilidade de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas.

Na agrofloresta há maior diversidade de espécies vegetais e conseqüentemente, maior produção de serapilheira, promovendo um ambiente favorável para o desenvolvimento e manutenção do ecossistema, aumentando o índice de decompositores e promovendo inter-relações de antibiose e simbiose, tornando o ecossistema mais rico (NUNES *et al.*, 2019). Araujo *et al.* (2018), estudando a macrofauna como bioindicadora de qualidade do solo para agricultura convencional e agroflorestal, verificaram que, após a identificação e quantificação da macrofauna de solo nos dois ambientes estudados, a abundância e a diversidade dos grupos taxonômicos de solo variaram consideravelmente entre os ambientes, sendo mais abundantes na agroflorestal em relação ao sistema convencional.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área de estudo

O estudo foi realizado em condições de campo na Fazenda da Toca, situada nas coordenadas geográficas de 22°12' de latitude sul e 47°44' de longitude oeste, com altitude aproximada de 800 m, localizada no município de Itirapina, estado de São Paulo (Figura 1). O clima da região é considerado tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno (Cwa) segundo a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013).



Figura 1. Localização da área de estudo, no município de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil.

4.2 Delineamento experimental

Os dados foram coletados entre os anos de 2018 e 2020 em duas áreas, uma com Sistema Agroflorestral (SAF) mecanizado e em larga escala, desenhado para a produção de frutíferas e cultivo de eucalipto, e uma área de fragmento florestal em processo natural de regeneração (mata). A faixa de solo que compreende a área de SAF foi utilizada até 2011 para o cultivo de cana-de-açúcar, sendo formada por Neossolo Quartzarênico, essencialmente arenoso.

A área denominada como SAF - sistema desenhado para fruticultura, primeiramente teve o plantio de gramíneas (*Brachiaria sp*) e feijão guandu (*Cajanus cajan*), para descompactação do solo e produção de biomassa (Figura 2).



Figura 12. Preparo de área para implantação de SAF com plantio prévio de gramíneas e feijão guandu na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca.

Após 2 anos, foi realizada a roçagem da área com roçadeira “sega pasto” (Casale) e posteriormente foram abertas faixas para preparo do solo utilizando o desenleirador (Kuhn), maquinário que afasta a biomassa permitindo o preparo do solo para plantio em leiras (Figura 3).



Figura 3. Área roçada de gramíneas e feijão guandu (A) e desenleirador para abertura das faixas de plantio (B), na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca.

Foi realizado então o preparo das leiras de plantio (0,20 m de profundidade, em faixas de 1,2 m de largura e distantes 5 m entre si) com enxada rotativa (Figura 4) e a adubação foi realizada apenas nas linhas com pó de rocha ($3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ no SAF), fosfato natural reativo ($0,7 \text{ Mg ha}^{-1}$), esterco de gado ($5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ no SAF) e biocalda

(5,0 L ha⁻¹ no SAF, pós plantio das mudas). Para 1000 litros de biocalda, foram utilizados 500 litros de biofertilizante, 40 kg de sulfato de cobre, 84 kg de sulfato de zinco, 11,4 kg de sulfato de manganês e 4 litros de enxofre.

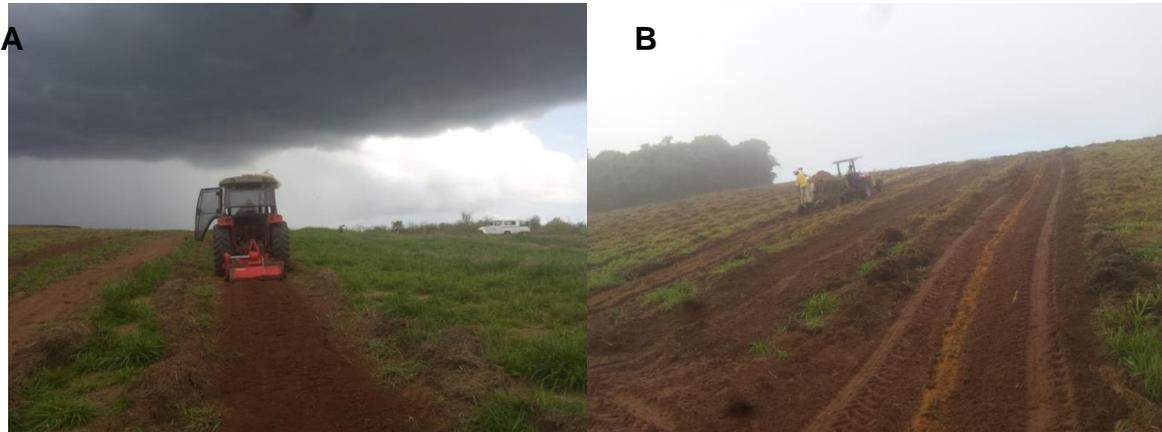


Figura 4. Preparo das leiras de plantio (A) e adubação com pó de rocha (B) em área de SAF da Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca.

O material roçado foi novamente enleirado sobre as faixas preparadas para plantio utilizando-se o mesmo maquinário (desenleirador/enleirador marca Kuhn). Os resíduos vegetais formaram assim uma espessa camada de cobertura (0,30 a 0,40 m) capaz de controlar o crescimento de gramíneas nas leiras, além de fornecer matéria orgânica para o solo (Figura 5). O aporte anual de matéria seca foi cerca de 40 Mg ha⁻¹.



Figura 13. Enleiramento de material roçado nas leiras de plantio de SAF na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca.

Foram introduzidas então as espécies de interesse a partir do plantio de mudas e/ou sementes de acordo com o foco produtivo de cada sistema, incluindo espécies com potencial para fornecimento de biomassa, como exemplo na Figura 6.



Figura 6. Leira com espécies plantadas em sistema agroflorestal na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca.

O SAF, desenhado para produção de frutíferas e madeira, foi implantado no mês de junho de 2014 (*Acacia mangium*, *Eucalyptus sp.* e *Musa sp.*), com introdução de frutíferas (*Citrus sinensis* e *Mangifera indica*) em dezembro de 2014 (Figura 7). As entrelinhas foram ocupadas por capim marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) para fornecimento de resíduo orgânico para cobertura do solo nas faixas de plantio, ocupando uma área total de 5,2 ha.

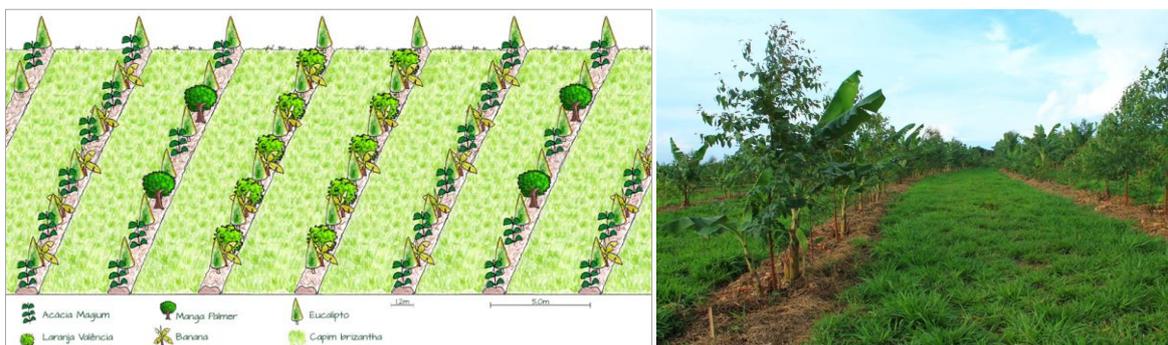


Figura 7. Esquema representativo e vista do SAF (Fruticultura/Madeira) na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca.

A área de fragmento florestal em processo de regeneração natural (mata) corresponde a condição natural da vegetação nativa da região, sendo a transição entre os biomas mata Atlântica e cerrado em um Neossolo Quartzarênico (Figura 8).



Figura 8. Vista da área de mata na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Arquivo Fazenda da Toca.

4.3 Análises físicas do solo

4.3.1 Análise granulométrica

Foram determinadas as frações de areia, silte e argila utilizando terra fina seca ao ar pelo método da pipeta com solução de Hidróxido de Sódio 0,1 (NaOH) com agente dispersante nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

4.3.2 Densidade e porosidade do solo

A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa do solo seco em estufa a 105 °C e volume da amostra, segundo metodologia proposta por Teixeira *et al.* (2017) nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m.

A porosidade foi calculada a partir da mesa de tensão e a microporosidade corresponderá à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de 0,006 MPa, após saturação (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A porosidade total foi obtida segundo Teixeira *et al.* (2017) e a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

4.3.3 Densidade de partículas

A densidade de partículas foi determinada por meio do método do balão volumétrico, no qual, foi obtida a massa da amostra por pesagem e a determinação

de seu volume. A massa da amostra foi obtida por sua pesagem após secagem em estufa. A determinação do volume da amostra foi obtida por meio da medida da diferença entre o volume de um líquido necessário para preencher um recipiente calibrado vazio e o volume do líquido necessário para completar o volume do recipiente contendo a amostra seca, de acordo com Teixeira *et al.* (2017).

4.3.4 Curva de retenção de água

A curva de retenção de água no solo, que considera o conteúdo volumétrico de água no solo em função das tensões aplicadas, foi obtida em câmaras de pressão de Richards com placas porosas (KLUTE, 1986). As amostras foram submetidas às tensões de 2, 6, 8, 10, 33, 100, 500 e 1.500 kPa (SILVA *et al.*, 1994).

As curvas de retenção de água no solo foram ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980), utilizando o *software* Soil Water Retention Curve (DOURADO-NETO *et al.*, 2001):

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha\psi)^n]^m \quad (1)$$

em que, θ = conteúdo volumétrico de água do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_r = conteúdo de água residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_s = conteúdo de água na saturação obtido por $\theta_s = PT = (1 - D_s/D_p)$; D_s e D_p = densidades do solo e da partícula, respectivamente; Ψ = potencial matricial; α , m e n = coeficientes do modelo e $m = 1 - 1/n$.

4.3.5 Teor de água no solo

O teor de água no solo foi determinado pelo método gravimétrico em laboratório, de acordo com metodologia proposta por Teixeira *et al.* (2017).

4.3.6 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi quantificada em condições de campo por meio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 30°, área do cone de 1,29 cm^2 e haste de 0,70 m de comprimento e peso da massa que provoca o impacto de 0,40 kg. Em cada tratamento foi realizada uma medição em cada ponto amostral, sendo cinco medições ao longo do transecto (em linha). A

transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm impact^{-1}) em RP foi obtida conforme a Equação 2 (STOLF *et al.*, 2014):

$$RP = 0,56 + 0,689 \times (N/P) \times 10 \quad (2)$$

em que, RP = resistência do solo à penetração (MPa); N = número de impactos; P = representa a penetração do cone no solo (cm).

4.4 Análises da macrofauna edáfica

A amostragem da macrofauna foi realizada seguindo o método recomendado pelo Programa “Tropical Soil Biology and Fertility” – TSBF (ANDERSON; INGRAM, 1993) e de acordo com Lima *et al.* (2010), que consistiu na coleta de monólitos de solo, em forma de bloco, utilizando um gabarito metálico de 0,25 x 0,25 m de largura e 0,10 m de altura.

Foram coletados monólitos de solo em forma de bloco, na camada de vegetação na superfície do solo e nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, com o uso de um gabarito metálico (0,25 m x 0,25 m x 0,10 m), em cinco pontos, distanciados 10 metros entre si, em linha, em cada uma das áreas.

Em laboratório, a triagem das amostras da macrofauna edáfica foi realizada manualmente, com a coleta de todos os indivíduos maiores que 10,0 mm de comprimento ou com diâmetro corporal superior a 2,0 mm, que foram armazenados em solução de álcool a 70%. A identificação e a contagem foram efetuadas com auxílio de microscópio estereoscópio binocular.

A macrofauna edáfica foi analisada de acordo com atributos mensuráveis e/ou observáveis, sendo, a riqueza, abundância, densidade e diversidade. A comunidade de macrofauna edáfica foi caracterizada em termos de composição, na qual, os indivíduos foram identificados e classificados ao nível taxonômico de Classe/Ordem, e, agrupados em quatro grandes grupos funcionais, segundo Brown *et al.* (2015), sendo, Predadores/Parasitas, Detritívoros/Decompositores, Geófagos/Bioturbadores e Fitófagos/Pragas.

Os atributos populacionais da comunidade foram expressos em termos de riqueza, abundância, densidade de indivíduos por metro quadrado ($\text{ind}/200\text{m}^2$). A riqueza corresponde ao número total de ordens em cada tratamento. A abundância corresponde ao número total de indivíduos de uma ordem em cada tratamento; a

abundância relativa (%), refere-se ao tamanho da população (número de indivíduos em uma determinada área), isto é, quanto uma ordem representa proporcionalmente na comunidade, sendo calculada pelo número de indivíduos de cada ordem dividido pelo número total de indivíduos da comunidade.

A densidade expressa a grandeza de uma população em relação a uma unidade de espaço (área), num determinado momento (tempo), sendo, o número de indivíduos de uma ordem dividido pela área amostrada. A densidade da macrofauna foi obtida a partir da transformação do número de indivíduos encontrados em cada tratamento (área amostral), em número de indivíduos por metro quadrado (indivíduos 200 m²).

A diversidade entre os tratamentos foi calculada pelos índices de diversidade de Shannon-Weaver, dominância de Simpson e uniformidade de Pielou, por meio do uso do Programa estatístico *Paleontological Statistics Software Package For Education and Data Analysis* - PAST 4.3.0 (HAMMER *et al.*, 2001).

4.4.1 Índice de diversidade de Shannon-Weaver (H)

O índice de diversidade de Shannon-Weaver (H) é uma medida logarítmica da diversidade, que atribui peso maior às espécies raras e, é relativamente independentemente do tamanho da amostra, como mostra a Equação 3:

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (3)$$

em que, H = índice de diversidade de Shannon-Weaver; N = número de espécies; $p_i = n_i/n$, em que n_i = número de indivíduos da espécie; i e n = número total de indivíduos da amostra.

O índice de Shannon-Weaver é amplamente utilizado nos estudos ecológicos de comunidades. Indica maior diversidade quanto maior for o valor de H e a correspondente menor dominância.

4.4.2 Índice de dominância de Simpson (D)

O índice de dominância de Simpson baseia-se na proporção entre os indivíduos, atendo-se à probabilidade de que dois indivíduos tomados aleatoriamente da comunidade pertençam à mesma espécie, e é calculado como apresentado na Equação 4:

$$D = \sum p_i^2$$

em que, p_i = proporção de indivíduos da espécie i (n_i) no total de indivíduos da amostra (N), ou seja, n_i / N .

O índice de Simpson varia de 0 a 1, e quanto maior for o valor de D , menor será a diversidade (maior a dominância), pois trata-se de um índice que valoriza a dominância, isto é, valoriza as espécies comuns de uma comunidade.

4.4.3 Índice de uniformidade de Pielou (J)

O índice de uniformidade de Pielou (J) refere-se ao padrão de distribuição dos indivíduos entre os grupos, ou seja, fornece informações acerca do grau de uniformidade das proporções entre as diversas espécies que constituem uma comunidade, sendo calculado pela Equação 5:

$$e = H / \log S \quad (5)$$

em que, H = índice de Shannon-Weaver; S = riqueza (o número de espécies).

O índice de Pielou dá a noção de distribuição dos indivíduos entre as populações, cujo valor pode variar de 0 a 1. Valores mais próximos de zero sugerem comunidades mais heterogêneas (menor uniformidade) e, conseqüentemente, menor diversidade. Por outro lado, valores tendendo a um (1,0) indicam maior homogeneidade na comunidade (maior uniformidade) e, portanto, máxima diversidade, uma vez que todas as espécies são igualmente abundantes. Em uma visão mais objetiva, em comunidades que exibem reduzida diversidade, uma espécie é considerada dominante quando mostra frequência superior a $1/S$, sendo S o total de espécies na comunidade (CATANOZI, 2011).

5. ANÁLISES DOS DADOS

5.1 Atributos físicos e macrofauna edáfica

A ocorrência de diferenças estatisticamente significativas nos atributos físicos do solo entre os tratamentos foi avaliada por meio de Análise de Variância (ANOVA) com a aplicação do teste f de significância. Os resultados foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), por meio do Programa estatístico *Paleontological Statistics Software Package For Education and Data Analysis* – PAST 4.3.0 (Hammer *et al.*, 2001).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análises físicas

Com relação aos resultados obtidos para as análises físicas, houve diferenças estatísticas significativas entre os atributos físicos do solo nas diferentes profundidades analisadas, 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, por meio do Teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) (Tabela 1). Não se verificou diferença para a porosidade total (PT), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP) nas diferentes profundidades estudadas com significância estatística. Estando de acordo com os dados obtidos por Barbosa *et al.* (2017), avaliando os atributos físico-hídricos de um Cambissolo Húmico sob sistema agroflorestal no planalto Catarinense, não verificaram nas camadas superficiais diferenças entre a área nativa e os sistemas agroflorestais.

A macroporosidade do solo foi inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas áreas de mata e SAF nas diferentes profundidades do solo (Tabela 1). Considerado que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é um valor mínimo de macroporos destinado à aeração do solo necessário ao desenvolvimento do sistema radicular (COLLARES *et al.*, 2008), os resultados indicam uma provável limitação ao arejamento do solo, mesmo nas épocas de maior precipitação. Charnobay (2019), estudando atributos do solo em sistema agroflorestal, observou valores abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a macroporosidade na entrelinha do sistema agroflorestal para a camada de 0,10-0,20 m.

Para a densidade do solo e de partículas, não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, principalmente pelo fato dos dois tratamentos estarem situados em uma mesma área, com um mesmo tipo de solo (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por ROSA *et al.* (2019) que pesquisando os atributos físicos e estoque de carbono em sistemas agroflorestais nos cerrados do oeste da Bahia, verificaram valores de densidade do solo semelhantes na área com SAF1 (área com sistema cacau/banana/árvores nativas) quando comparado com a área de cerrado nativo.

Tabela 4. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade de partículas, densidade do solo, areia grossa, areia fina, areia total, argila, silte, teor de água e resistência do solo à penetração obtidos nas áreas de SAF (sistema agroflorestal) e mata, nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, na fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo.

| Profundidade | SAF | Mata | Média |
|--|------------|-------------|--------------|
| Macroporosidade (m³ m⁻³) | | | |
| 0,00-0,10m | 0,05 | 0,04 | 0,05 |
| 0,10-0,20m | 0,05 | 0,03 | 0,04 |
| 0,20-0,30m | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Média | 0,05 | 0,04 | |
| Microporosidade (m³ m⁻³) | | | |
| 0,00-0,10m | 0,18 | 0,19 | 0,19 |
| 0,10-0,20m | 0,15 | 0,18 | 0,17 |
| 0,20-0,30m | 0,16 | 0,20 | 0,18 |
| Média | 0,16 | 0,19 | |
| Porosidade total (m³ m⁻³) | | | |
| 0,00-0,10m | 0,24 | 0,23 | 0,24 |
| 0,10-0,20m | 0,19 | 0,21 | 0,20 |
| 0,20-0,30m | 0,19 | 0,24 | 0,22 |
| Média | 0,21 | 0,23 | |
| Densidade de partículas (g cm⁻³) | | | |
| 0,00-0,10m | 2,50 | 2,54 | 2,52 |
| 0,10-0,20m | 2,52 | 2,48 | 2,50 |
| 0,20-0,30m | 2,52 | 2,42 | 2,47 |
| Média | 2,51 | 2,48 | |
| Densidade do solo (kg m⁻³) | | | |
| 0,00-0,10m | 1,32 | 1,25 | 1,285 |
| 0,10-0,20m | 1,48 | 1,45 | 1,47 |
| 0,20-0,30m | 1,51 | 1,46 | 1,49 |
| Média | 1,44 | 1,39 | |
| Areia grossa (g kg⁻¹) | | | |
| 0,00-0,10m | 763 | 531* | 647 |
| 0,10-0,20m | 731 | 503* | 617 |
| 0,20-0,30m | 765 | 456* | 611 |
| Média | 753 | 497 | |

* = diferença com significância estatística pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (p<0,05).

Tabela 5. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade de partículas, densidade do solo, areia grossa, areia fina, areia total, argila, silte, teor de água e resistência do solo à penetração obtidos nas áreas de SAF (sistema agroflorestal) e mata, nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, na fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo. **(Continuação).**

| Profundidade | SAF | Mata | Média |
|--|------------|-------------|--------------|
| Areia fina (g kg⁻¹) | | | |
| 0,00-0,10m | 121* | 416 | 269 |
| 0,10-0,20m | 160* | 406 | 283 |
| 0,20-0,30m | 135* | 478 | 307 |
| Média | 139 | 433 | |
| Areia total (g kg⁻¹) | | | |
| 0,00-0,10m | 885* | 946 | 916 |
| 0,10-0,20m | 891* | 908 | 900 |
| 0,20-0,30m | 900* | 934 | 917 |
| Média | 892 | 929 | |
| Argila (g kg⁻¹) | | | |
| 0,00-0,10m | 84 | 33* | 59 |
| 0,10-0,20m | 86 | 42* | 64 |
| 0,20-0,30m | 81 | 41* | 61 |
| Média | 84 | 39 | |
| Silte (g kg⁻¹) | | | |
| 0,00-0,10m | 31 | 21 | 26 |
| 0,10-0,20m | 24 | 50 | 37 |
| 0,20-0,30m | 20 | 25 | 23 |
| Média | 25 | 32 | |
| Teor de água no solo (g¹ g⁻¹) | | | |
| 0,00-0,10m | 0,097 | 0,073 | 0,085 |
| 0,10-0,20m | 0,074 | 0,076 | 0,075 |
| 0,20-0,30m | 0,069 | 0,077 | 0,073 |
| Média | 0,080 | 0,075 | |
| Resistência do solo à penetração (MPa) | | | |
| 0,00-0,10m | 1,977 | 1,689* | 1,833 |
| 0,10-0,20m | 1,977 | 1,689* | 1,833 |
| 0,20-0,30m | 1,977 | 1,689* | 1,833 |
| Média | 1,977 | 1,689 | |

* = diferença com significância estatística pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (p<0,05).

Os valores de densidade do solo obtidos nas áreas de SAF e mata, segundo Silva *et al.* (2015b), apresentam-se acima do valor crítico, podendo acarretar em restrições ao crescimento radicular e infiltração de água no solo. Por outro lado, as características físicas do solo não estão relacionadas apenas com a forma de uso do solo, sua textura também influencia de forma direta, portanto, esses valores da densidade do solo podem ser devido ao caráter arenoso da área estudada.

Os SAF e mata alteraram significativamente a resistência do solo à penetração, nas diferentes profundidades estudadas (Tabela 1). Os valores de resistência do solo que restringem o crescimento radicular variam de acordo com a planta cultivada. Rosolem *et al.* (1994), trabalhando em Latossolo arenoso, relatam restrições a partir de valores de resistência de 0,75 MPa. Trabalhando com leguminosas em Latossolo argiloso, Alvarenga *et al.* (1996), verificaram restrições ao desenvolvimento radicular a partir de 1,49 MPa. Já Camargo e Alleoni (1997) propõem o valor de 1,10 MPa como nível crítico.

Na área de SAF observou-se maior valor de resistência do solo à penetração em relação a área de mata (Tabela 1). Freitas *et al.* (2012), estudando a resistência do solo à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo, verificaram maiores valores de resistência na área com SAF quando comparado com área de mata. Este resultado pode ser atribuído à melhoria da estrutura do solo (CARVALHO *et al.*, 2004), estimulada pelo aporte constante de resíduos orgânicos e pela formação de microclima favorável à biota do solo. Sales *et al.* (2010) estudando a influência da ação antrópica sob um Neossolo Quartzarênico, concluíram que a manutenção da cobertura vegetal é fundamental para a sustentabilidade da atividade agrícola.

Ainda sobre as alterações físicas do solo, em relação à resistência do solo à penetração, a diferença ocorre pelo fato do Sistema Agroflorestal apresentar maior quantidade de matéria orgânica e uma menor densidade, o que pode ocasionar uma menor resistência do solo ao penetrômetro. Segundo Bavoso *et al.* (2010), as alterações estruturais no solo devido aos diferentes manejos, promovem alterações na resistência do solo à penetração, sendo que no sistema com SAF, ocorre o tráfego de maquinário agrícola promovendo a compactação do solo.

Para a granulometria, houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos com relação à areia grossa, areia fina, areia total e argila (Tabela 1). Para o silte, não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. A

diferença entre os atributos granulométrico não alterou a classificação do solo, sendo classificado como Neossolo Quartzarênico.

6.2 Curva de retenção da água

Em relação à curva de retenção de água, em cada profundidade e nos tratamentos com SAF e mata, verificou-se diferenças com significância estatística nas pressões de alta e baixa (Figuras 9, 10 e 11). A mata apresentou valores superiores em todas as profundidades quando ajustada para pressões abaixo de 6 KPa e, a partir dessa pressão até 1.500 KPa, todos os valores foram maiores no SAF. Fato semelhante foi observado por Oliveira *et al.* (2004) que, trabalhando com um Latossolo Vermelho, observaram que os solos cultivados em diferentes sistemas de manejo, quando comparados com o solo sob vegetação natural de cerrado, apresentaram maior retenção em toda a faixa de potencial correspondente à capacidade de campo (-0,006 a -0,01 MPa), possivelmente devido à redução na macroporosidade e aumento na porosidade de retenção de água (microporosidade) provocadas pelo cultivo.

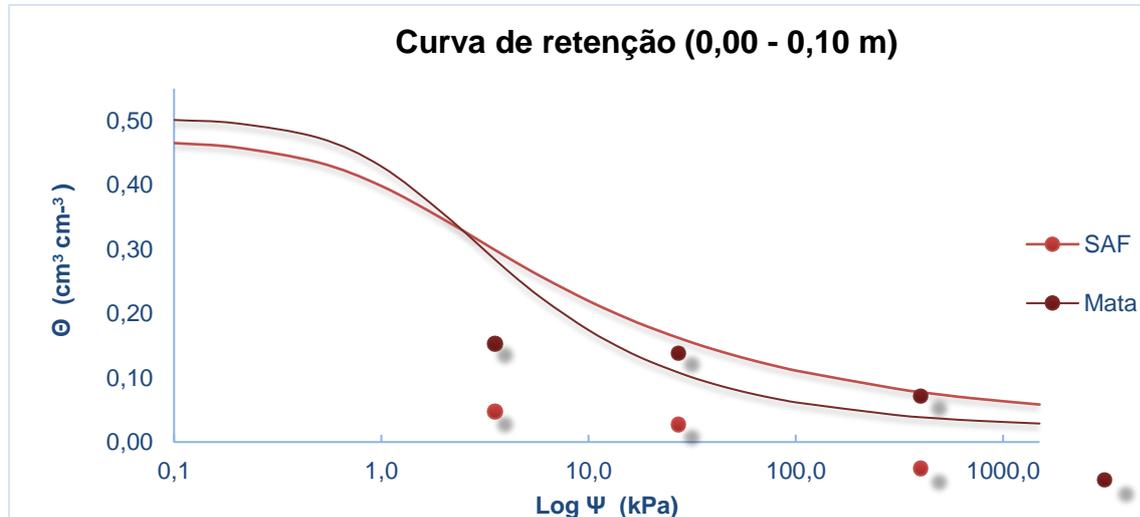


Figura 9. Curva de retenção de água no solo nas posições de amostragem para o SAF (sistema agroflorestal) e mata na profundidade de 0,00-0,10 m, na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo.

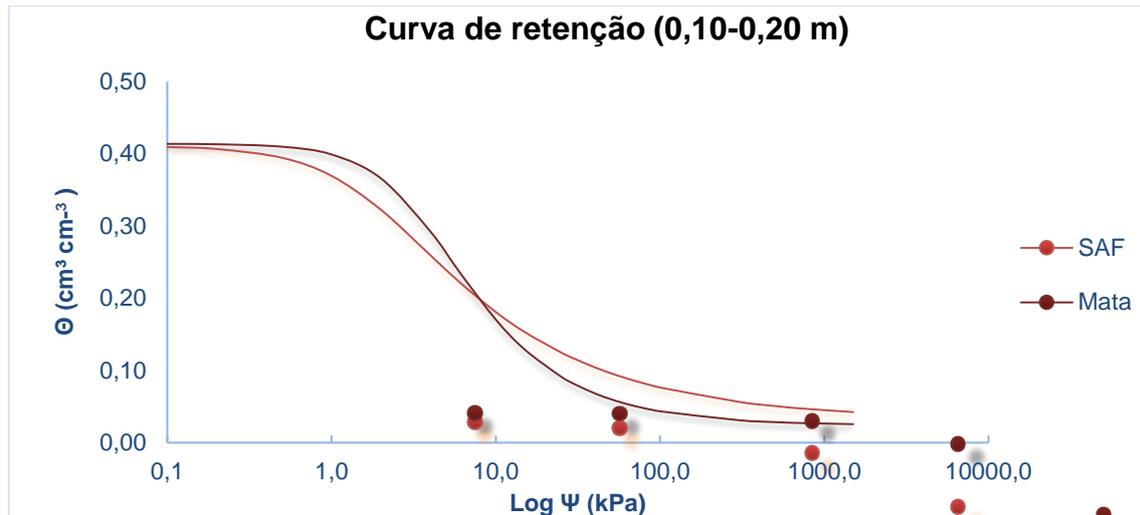


Figura 14. Curva de retenção de água no solo nas posições de amostragem para o SAF (sistema agroflorestal) e mata na profundidade de 0,10-0,20 m, na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo.

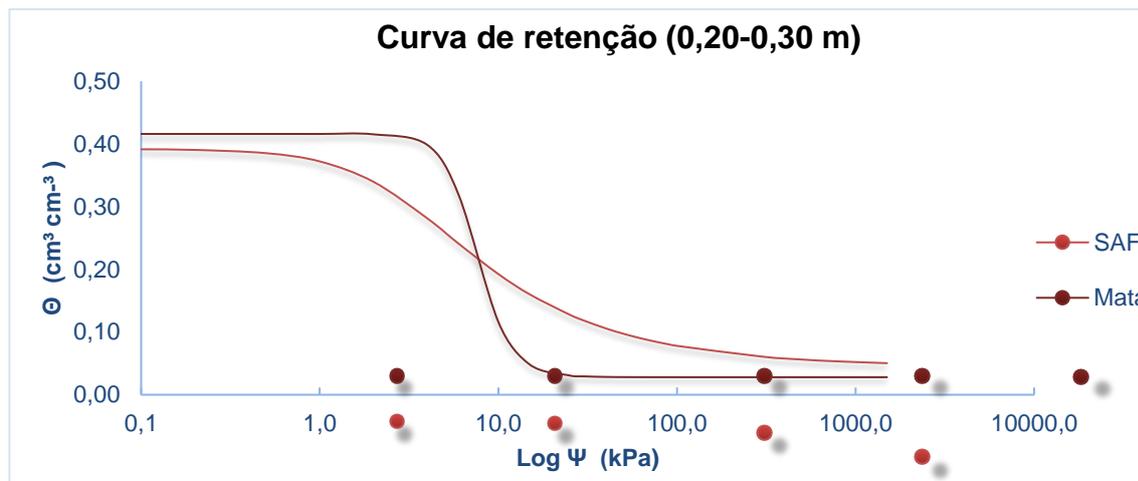


Figura 11. Curva de retenção de água no solo nas posições de amostragem para o SAF (sistema agroflorestal) e mata na profundidade de 0,20-0,30 m, na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo.

Para as curvas de retenção de água no solo, Beutler *et al.* (2002), explicam que essa curva representa graficamente a relação entre a energia de retenção de água e o conteúdo de água correspondente, o qual é dependente das características intrínsecas de cada solo, resultando da ação conjunta dos atributos do solo, como

textura, estrutura, mineralogia e matéria orgânica, o que nos mostra o porquê dos valores maiores no SAF em relação à mata principalmente para pressões mais altas.

6.3 Análises da macrofauna edáfica

Para a comunidade de macrofauna edáfica, não ocorreram diferenças com significância estatística para a riqueza, abundância e densidade entre os tratamentos, por meio do Teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) (Tabela 2). Resultados semelhantes foram observados por Davissone (2019) para riqueza, estudando a influência das espécies arbóreas sobre a diversidade e atividade da fauna do solo em sistemas agroflorestais.

Em relação à abundância de indivíduos encontrados nas duas áreas de estudos, foram registrados 848 indivíduos, sendo 535 para as áreas com SAF e os outros 313 nas áreas de mata (Tabela 2). Já no que se refere à riqueza, foram encontrados 7 classes e 15 ordens distintas. Davissone (2019), avaliando a influência das espécies arbóreas sobre a diversidade e atividade da fauna do solo em sistemas agroflorestais, verificou a partir da escavação de monólitos e triagem manual, a presença de 209 organismos de macrofauna edáfica, pertencentes a 13 táxons (ordens e classes): Hymenoptera, Isoptera, Orthoptera, Diplopoda, Coleoptera, Blattodea, Heteroptera, Araneae, Diptera, Chilopoda, Lepidoptera, Dermaptera e Oligochaeta.

Na mata foram registradas seis classes e 12 ordens (Tabela 2). As classes foram Arachnida, Chilopoda, Diplopoda, Gastropoda, Insecta e Clitellata. As ordens foram Araneae (aranhas), Scolopendromorpha (lacraias), Julida (piolhos de cobra), Pulmonata (concha/caracol), Blattodea Subordem Blattaria (baratas), Coleoptera (besouros), Dermaptera (tesourinhas), Diptera (moscas e mosquitos), Hymenoptera (formigas), Lepidoptera (borboletas e mariposas), Orthoptera (grilos e gafanhotos) e Haplotaxida (minhocas).

Para o SAF foram registradas sete classes e 13 ordens (Tabela 2). As classes foram Arachnida, Chilopoda, Diplopoda, Gastropoda, Insecta, Malacostraca e Clitellata. As ordens foram Araneae (aranhas), Opiliones (opiliões), Scolopendromorpha (lacraias), Julida (piolhos de cobra), Pulmonata (moluscos), Blattodea Subordem Blattaria (baratas), Coleoptera (besouros), Hemiptera Subordem Homoptera (cigarras), Hymenoptera (formigas), Lepidoptera (borboletas e mariposas), Orthoptera (grilos e gafanhotos), Isopoda (tatuzinhos de jardim) e Haplotaxida

(minhocas). De acordo com os resultados obtidos por Lima *et al.* (2010), cujo manejo agroflorestal proporcionou a melhor cobertura do solo, com aporte de restos culturais e do material das podas e favoreceu a ocorrência de “engenheiros do ecossistema”, propiciando melhores características químicas do solo e consequentes aumentos na riqueza, abundância e densidade da macrofauna invertebrada do solo.

Tabela 6. Abundância, abundância absoluta, abundância média, densidade (indivíduos por metro quadrado), riqueza média, riqueza exclusiva, índice de diversidade de Shannon, índice de dominância de Simpson e índice de uniformidade de Pielou para a comunidade de macrofauna edáfica no SAF e mata na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo.

| Classe | Ordem | SAF | Mata | Abs | Média ± | % | (ind/m ²) |
|----------------------------------|------------------------------|-------|-------|-----|---------|-------|-----------------------|
| Arachnida | Araneae | 1 | 7 | 8 | 4,00 | 0,009 | 0,04 |
| Arachnida | Opiliones | 2 | 0 | 2 | 1,00 | 0,002 | 0,01 |
| Chilopoda | Scolopendromorpha | 4 | 3 | 7 | 3,50 | 0,008 | 0,04 |
| Diplopoda | Julida | 2 | 14 | 16 | 8,00 | 0,019 | 0,08 |
| Gastropoda | Pulmonata | 3 | 9 | 12 | 6,00 | 0,014 | 0,06 |
| Insecta | Blattodea/Subordem Blattaria | 9 | 7 | 16 | 8,00 | 0,019 | 0,08 |
| Insecta | Coleoptera | 49 | 79 | 128 | 64,00 | 0,151 | 0,64 |
| Insecta | Dermaptera | 0 | 1 | 1 | 0,50 | 0,001 | 0,01 |
| Insecta | Diptera | 0 | 2 | 2 | 1,00 | 0,002 | 0,01 |
| Insecta | Hemiptera/Subordem Homoptera | 4 | 0 | 4 | 2,00 | 0,005 | 0,02 |
| Insecta | Hymenoptera | 32 | 40 | 72 | 36,00 | 0,085 | 0,36 |
| Insecta | Lepidoptera | 7 | 6 | 13 | 6,50 | 0,015 | 0,07 |
| Insecta | Orthoptera | 1 | 1 | 2 | 1,00 | 0,002 | 0,01 |
| Malacostraca | Isopoda | 5 | 0 | 5 | 2,50 | 0,006 | 0,03 |
| Clitellata | Haplotaxida | 416 | 144 | 560 | 280,00 | 0,660 | 2,80 |
| Abundância | | 535* | 313 | 848 | | | |
| Média ± | | 35,67 | 20,87 | | | | |
| Abundância relativa (%) | | 0,63 | 0,37 | | | | |
| Indivíduos por metro quadrado | | 2,68* | 1,57 | | | | |
| Riqueza observada | | 13 | 12 | | | | |
| Riqueza média | | 0,87 | 0,80 | | | | |
| Riqueza exclusiva | | 3 | 2 | | | | |
| Índice de diversidade de Shannon | | 0,92 | 1,57 | | | | |
| Índice de dominância de Simpson | | 0,62 | 0,30 | | | | |
| Índice de uniformidade de Pielou | | 0,36 | 0,63 | | | | |

SAF = sistema agroflorestal; Abs = abundância média; * = diferença com significância estatística pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Com as informações da abundância e riqueza nos dois tratamentos, calculou-se as densidades de indivíduos para cada tratamento, levando em

consideração a macrofauna edáfica como um indicador de qualidade do solo (Tabela 2). Para as áreas de SAF, foi encontrado uma média de 2,68 indivíduos por metro quadrado, enquanto que para as áreas de mata o valor de 1,57 indivíduos por metro quadrado. Demonstrando que o Sistema Agroflorestal é favorável para a quantidade de indivíduos que se beneficiam de um ambiente variado e cheio de recursos. Há evidências de que em áreas de caatinga, a adoção de práticas conservacionistas, como o enleiramento de resíduos vegetais e adoção de sistemas agroflorestais (SAF) favorece a fauna edáfica, conservando-a semelhante à vegetação nativa (NUNES *et al.*, 2019). A similaridade entre floresta secundária e SAF confirma que as condições e recursos sejam adequados aos organismos do solo nesses ambientes (SILVA *et al.*, 2007). Junqueira *et al.* (2013), estudando os sistemas agroflorestais e mudanças na qualidade do solo em assentamento de reforma agrária, verificaram que os SAF promoveram os seguintes benefícios: criação de um microclima com temperaturas mais baixas e elevação da retenção de umidade no solo, aumento de resistência de cultivos a períodos de seca e aumento na população de minhocas e outros organismos edáficos e não edáficos.

Em relação ao índice de Diversidade de Shannon (H), foi obtido um valor superior para nas áreas de mata, tendo um valor de 1,57, enquanto o resultado para as áreas de SAF foi de 0,92 (Tabela 2). Para o índice de Dominância de Simpson (D), os resultados foram contrários ao índice anterior, tendo um valor maior para o tratamento SAF quando comparado com a mata, sendo eles 0,62 e 0,30, respectivamente. Já para o índice de Uniformidade de Pielou (J), os resultados variaram novamente, tendo as áreas com mata um valor maior que o encontrado nas áreas de SAF, de 0,63 e 0,36, respectivamente. No trabalho desenvolvido por Caproni *et al.* (2011), o índice de diversidade de Shannon indicou que a macrofauna do solo tem maior atividade no ecossistema seringal no final da época chuvosa e início do período seco, devido ao maior aporte de serapilheira em relação ao sistema agroflorestal.

De acordo com Vargas *et al.* (2013), em seu estudo sobre a diversidade de artrópodes da macrofauna edáfica em diferentes usos da terra, demonstrando que as diferenças observadas para a riqueza de táxons entre os ambientes refletem a sensibilidade frente às alterações na estrutura do solo, conferindo alterações também na umidade e temperatura, alterando a distribuição dos grupos nos ambientes e,

salientam que o uso do solo impõe restrições a alguns grupos e tende a favorecer outros.

6.3.1 Diversidade

Em relação à diversidade, foram obtidos resultados levando em consideração os seguintes indicadores: índice de Shannon (H), Simpson (D) e Pielou (J), havendo diferenças significativas nos dois tratamentos analisados.

Para o índice de diversidade de Shannon (H), o resultado foi maior para a mata em relação ao SAF, representando 1,57 e 0,92, respectivamente, isso se dá pelo fato da grande quantidade de minhocas encontradas nas áreas (Tabela 2). Já para o índice de dominância de Simpson, o tratamento com SAF apresentou resultado superior, tendo um valor de 0,62, enquanto a mata apresentou um valor de 0,29, pois Simpson leva em consideração as espécies em comum dentro da comunidade.

O índice de uniformidade de Pielou (J), apresentou resultado superior para a mata, tendo um valor de 0,63, em comparação com o SAF que obteve um valor de 0,36. Isso representa que, no segundo tratamento, há uma menor diversidade na comunidade da macrofauna, sugerindo assim que na mata há maior diversidade de plantas e indivíduos (Tabela 2). Silva *et al.* (2018), avaliando a diversidade da macrofauna edáfica em um fragmento de floresta estacional no paraná, afirmam que os grupos taxonômicos mais abundantes são Hymenoptera Formicidae, Coleoptera e Aracnida com diversidade relativamente alta como em outros solos de sistemas florestais. Os ndices de diversidade variam ao longo dos meses e dos estratos do sistema solo-serapilheira, revelando papel sazonal e espacial na diversidade da macrofauna.

6.3.2 Riqueza e Abundância

Nas áreas coletadas com o tratamento SAF, foram catalogados 7 classes distintas e 13 ordens que podem ser visualizados na Tabela 2. Em relação à mata, foram registrados 6 classes distintas e 12 ordens, sendo que as classes observadas foram: Arachnida, Chilopoda, Diplopoda, Insecta, Gastropoda e Clitellata, já as ordens analisadas foram: Araneae (aranhas), Scolopendromorpha (lacraias), Julida (piolhos de cobra), Pulmonata (moluscos), Blattodea da subordem Blattaria (baratas e cupins), Coleoptera (besouros), Hymenoptera (formigas), Lepidoptera (borboletas e

mariposas), Orthoptera (grilos e gafanhotos) e Haplotaxida (minhocas), caracterizando uma densidade de 1,57 ind m⁻².

A classe Insecta foi a mais abundante e representativa, com 8 ordens, ocorrendo em todos os tratamentos. As ordens registradas, em ordem decrescente de importância, foram, Haplotaxida (560/63,04%), Coleoptera (128/15,09%), Hymenoptera (72/8,49%), Blattodea (16/1,89%), Julida (16/1,89%), Lepidoptera (13/1,53%), Pulmonata (12/1,41%), Araneae (8/0,94%), Dermaptera (1/0,12%), Hemiptera (4/0,47%), Opiliones (2/0,24%), Scolopendromorpha (7/0,82%), Isopoda (5/0,59%), Diptera (2/0,24%) e Orthoptera (2/0,24%). As ordens Julida, Blattodea, Coleoptera, Hymenoptera, Lepidoptera e Haplotaxida ocorreram em todos os tratamentos.

A ordem Haplotaxida (minhocas) ocorreu em todos os tratamentos, apresentando as maiores abundâncias no SAF (416/77,75%) e na mata (144/46%) (Tabela 2), corroborando com os resultados verificados por Steffen *et al.* (2013), no qual as práticas conservacionistas de manejo do solo tendem a aumentar as populações de minhocas que representam um dos principais grupos de macroinvertebrados edáficos, apresentando sensibilidade a alterações de uso e manejo do solo e sua atividade em agrossistemas sob diferentes usos da terra. Entretanto, constatou-se baixa abundância de minhocas na mata, semelhante à ausência observada destes indivíduos por Santos *et al.* (2016), em área de remanescente de vegetação nativa de Cerrado.

Os grupos de minhocas, besouros e formigas foram os mais registrados respectivamente (Tabela 2). Porém, a classe que apresentou maior representatividade, foi a classe Insecta, com 8 ordens distintas nos dois tratamentos e a maior ocorrência de formigas entre eles. Em geral, os trabalhos ressaltam a importância dos insetos sociais (formigas e cupins), das minhocas e dos enquitreídeos, por suas atuações no sistema solo (JOUQUET *et al.*, 2006).

A maior abundância nos dois tratamentos, foi da ordem Haplotaxida, que representa as minhocas, tendo os maiores resultados tanto da densidade de indivíduos como na quantidade entre todos os grupos analisados, que comparando estudos de Korazaki *et al.* (2013), mostram que comunidades de minhocas são indicadores de qualidade ambientais, pois são extremamente sensíveis as alterações feitas pelo manejo do solo.

Foi observada diferença com significância estatística na quantidade das comunidades da macrofauna. No SAF foram registrados 535 indivíduos e para a área de mata foram 313 indivíduos, o que representa uma abundância relativa de 63% para o SAF e 37% para mata (Tabela 2). Segundo Lavelle *et al.* (2006), quando os sistemas de produção de base ecológica buscam o aumento da diversidade tornando mais próximo possível dos ambientes naturais, como nos SAF, espera-se um aumento das interações e um maior equilíbrio dinâmico e resiliência ambiental nestes sistemas.

Os dados obtidos para as áreas de SAF apresentaram maior abundância absoluta e relativa, maior densidade de indivíduos e maior riqueza quando comparados aos resultados das áreas com mata (Tabela 2). Isso se dá pelo fato de o Sistema Agroflorestal ser um manejo conservacionista, com técnicas e processos que proporcionam melhores resultados, como a melhor cobertura do solo, técnicas de poda para o crescimento adequado das culturas e grande quantidade de matéria orgânica na superfície do solo. Segundo Amaral *et al.* (2018), sistemas agroflorestais criam uma interação no ecossistema, gerando uma relação saudável entre a ciclagem de nutrientes e biodiversidade.

6.3.3 Grupos funcionais

Foram analisados também os grupos funcionais da macrofauna edáfica para cada tratamento, afim de observar os indicadores de qualidade no solo (Tabela 3). Nesse caso foram registradas 4 ordens de Predadores/Parasitas, 5 ordens de Fitófagos/Pragas, 3 ordens de Detritívoros/Decompositores e 1 ordem de Bioturbadores.

Por meio da análise da quantidade de cada Grupo Funcional nos dois tratamentos em questão, distribuiu-se as devidas proporções para cada área (Tabela 3). No tratamento com Sistema Agroflorestal, para toda a macrofauna encontrada, 78% é composta pelos Bioturbadores (GB), 12% pelos Herbívoros (FP), 7% pelos Predadores (PP) e os outros 3% compostos pelos Detritívoros (DD).

Na área com mata, a distribuição dos grupos funcionais foi melhor distribuída pelo fato de haver mais diversidade na fauna e flora nas áreas sem manejo agrícola, registrando 46% para os Bioturbadores, 30% para os Herbívoros, 16% para os Predadores e 8% para os Detritívoros.

Tabela 7. Abundância e densidade dos grupos funcionais para a comunidade de macrofauna edáfica no SAF e mata na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo.

| Taxa | G.F | SAF | Mata | Abs | Rel (%) | (ind/m ²) |
|----------------------------------|-----|-------|-------|-----|---------|-----------------------|
| Araneae | PP | 1 | 7 | 8 | 0,94 | 0,16 |
| Opiliones | PP | 2 | 0 | 2 | 0,24 | 0,04 |
| Scolopendromorpha | PP | 4 | 3 | 7 | 0,83 | 0,14 |
| Julida | DD | 2 | 14 | 16 | 1,89 | 0,32 |
| Pulmonata | FP | 3 | 9 | 12 | 1,42 | 0,24 |
| Blattodea/Isoptera | GB | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| Blattodea/Blattaria | DD | 9 | 7 | 16 | 1,89 | 0,32 |
| Coleoptera | FP | 49 | 79 | 128 | 15,09 | 2,56 |
| Dermaptera | DD | 0 | 1 | 1 | 0,12 | 0,02 |
| Diptera | DD | 0 | 2 | 2 | 0,24 | 0,04 |
| Hemiptera/Homoptera | FP | 4 | 0 | 4 | 0,47 | 0,08 |
| Hymenoptera | PP | 32 | 40 | 72 | 8,49 | 1,44 |
| Lepidoptera | FP | 7 | 6 | 13 | 1,53 | 0,26 |
| Orthoptera | FP | 1 | 1 | 2 | 0,24 | 0,04 |
| Isopoda | DD | 5 | 0 | 5 | 0,59 | 0,10 |
| Haplotaxida | GB | 416 | 144 | 560 | 66,04 | 11,20 |
| Abundância absoluta | | 535 | 313 | 848 | | |
| Abundância relativa (%) | | 63,09 | 36,91 | | | |
| Densidade (ind m ⁻²) | | 2,68 | 1,57 | | | |

GF = grupo funcional; SAF = sistema agroflorestal; Abs = abundância; Rel = abundância relativa; PP = predador; DD = detritívoro; GB = bioturbador; FP = herbívoro.

Observa-se nas duas áreas, que a maior concentração foi para os bioturbadores, que são representados pelas espécies de minhocas e que podem ser considerados indicadores de qualidade do solo, pois são extremamente sensíveis às mudanças que ocorrem no meio, principalmente em áreas com exploração pelo ser humano. Esses resultados corroboram com os estudos obtidos por Rutgers *et al.* (2009), que comprovam que as minhocas por serem sensíveis às mudanças, trazem uma noção do estado atual do ecossistema onde se encontram.

Comparando as proporções entre os dois tratamentos, verifica-se que os Sistemas Agroflorestais apresentam grande quantidade de microrganismos que indicam a qualidade do solo, mas de uma forma menos distribuída quando comparado com áreas nativas, pelo fato de haver escolhas nas culturas que serão cultivadas e das técnicas de manejo que são realizadas durante o processo, demonstrando que o uso de SAF traz retornos ambientais em relação à qualidade do solo e dos recursos naturais no ecossistema que estão inseridos, além de darem um retorno econômico para o produtor rural (ARANTES *et al.*, 2017).

7. CONCLUSÕES

O SAF apresentou valores dos atributos físicos iguais estatisticamente em relação à mata, possibilitando uma recriação das condições naturais dos ambientes.

O SAF e a mata tiveram valores de resistência do solo à penetração abaixo do limite crítico de 2,0 MPa, não indicando compactação e interferindo positivamente na macrofauna edáfica.

A área com Sistema Agroflorestal apresentou maior abundância e indivíduos por metro quadrado quando comparado com a área de mata.

As áreas de Sistema Agroflorestal e mata foram encontradas maior concentração para os bioturbadores, representados pelas espécies de minhocas, que podem ser considerados indicadores de qualidade do solo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, G. V.; MENDONÇA, E. S.; OLIVEIRA, T. S.; JUCKSCH, I.; CECON, P. R. Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapaba, Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.51, n.2, p.217-236, 2013.

ALMEIDA, D. O. **Fauna epiedáfica e atributos microbiológicos de solos sob sistemas de manejo no subtropical brasileiro**. 2012. 95 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.319-326, 1996.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

AMARAL, E.F.; OLIVEIRA, T K.; BARDALES, N.G.; ARAÚJO, E.A.; OLIVEIRA, C.H.A.; SILVA, D.V.; COSTA MORENO, N.M. **Caracterização de sistemas agroflorestais com o uso de ferramentas de geoestatística**. Embrapa Acre: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 58, p.9, 2018.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. (Eds.). **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd Ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221p.

ARANTES, C.; WINEMILLER, K.; PETRERE M.; CASTELLO, L.; FREITAS, C. E.; HESS, L. **Relationships between forest cover and fish diversity in the Amazon River**. Dryad Digital Repository, p.10, 2017.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 10 Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. 322 p.

ARAUJO, 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 agrofloresta. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.14, n.2, p.108-116, 2018.

BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, Silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e

friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.227- 234, 2010.

BARBOSA, J. S.; SILVA, K. C. R.; CARDUCCI, C. E.; SANTOS, K. L.; KOHN, L. S.; FUCKS, J. S. Atributos físico-hídricos de um Cambissolo Húmico sob sistema agroflorestal no Planalto Catarinense. **Floresta e Ambiente**, v.24, n.1, p.1-9, 2017.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; LEONEL, C. L.; JOÃO, A. C. G. S.; FREDDI, O. S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1223-1232, 2007.

BHAN, S.; BEHERA, U. K. Conservation agriculture in India – Problems, prospects and policy issues. **International Soil and Water Conservation Research**, v.2, n.4, p.1-12, 2014.

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Restauração florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 432p.

BROWN, G.G.; NIVA, C.C.; ZAGATTO, M.R.G.; FERREIRA, S.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.; 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. (Eds.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília: Embrapa, 2015. p.121-154.

BUENO, P. A. A.; OLIVEIRA, V. M. T.; GUALDI, B. L.; SILVEIRA, P. H. N.; PEREIRA, R. G.; FREITAS, C. E. S.; BUENO, R. O.; SEQUINE, E. S.; SCHWARCZ, K. D. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, v.2, n.2, p.40-44, 2018.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132 p

CAPRONI, A. L.; GRANHA, J. R. D. O.; SOUCHIE, E. L.; FIGUEIRA, A. F.; OLIVEIRA, A. C. S. Diversidade da macrofauna do solo em ecossistemas no município de Rolim de Moura, RO. **Global Science and Technology**, v.4, n.3, p.48-57, 2011.

- CHARNOBAY, A. C. R. **Atributos do solo em sistema agroflorestal**. 2019. 80 p. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.
- CATANOZI, G. Importância dos aspectos ecológicos na análise quali-quantitativa da macrofauna edáfica. **Revista da Universidade Ibirapuera**, São Paulo, n.1, p.42-52, 2011.
- COLLARES, J. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.933-942, 2008.
- COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.1842-1860, 2013.
- COSTA, J. A. A.; PEREIRA, M. A.; COSTA, F. P. **Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela EMBRAPA gado de corte**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2018. 17 p.
- DAVISSONE, M. V. D. M. **Influência das espécies arbóreas sobre a diversidade e atividade da fauna do solo em sistemas agroflorestais**. 2019. 67 p. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos.
- DE MARI, C. L.; TAVARES, P. D. V. B.; FONSECA, V. M. Alimentos, saberes e educação para o “bem viver”: os camponeses um passo adiante. **REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v.34, n.3, p.37-54. 2017.
- DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; PAULA, A. M. **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual do Paraná. 2016. 152 p.
- DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Soil Water Retention Curve (SWRC) software**. versão 3.00 beta. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001.

EMBRAPA. **Áreas cultivadas no Brasil e no mundo**. 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174066/1/4942.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2020.

FAO. **Statistical yearbook**. World food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 2013. 307p.

FAO; ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015.

FREITAS, I. C.; SANTOS, F. C. V.; CUSTÓDIO FILHO, R. O.; SILVA, N. R.; CORRECHEL, V. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.12, p.1275-1281, 2012.

FREITAS, L. A.; MELLO, L. M. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, D. S.; SOUZA, F. H. Efeito dos sistemas conservacionistas do solo e residual do gesso sobre a cultura da soja. **Nativa**, v.4, n.6, p.375-379, 2016.

GOMES, H. B.; CULLEN JUNIOR, L.; SOUZA, A. S.; CAMPOS, N. R.; MARIN, W. S. L. **Sistemas agroflorestais: perspectivas e desafios na ampliação de sistemas produtivos sustentáveis para a agricultura familiar no Pontal do Paranapanema, SP**. In: CANUTO, J. C. (Ed.). *Sistemas Agroflorestais: experiências e reflexões*. Brasília: Embrapa, 2017. 216 p.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. Geomorfologia do Cotidiano. A Degradação dos Solos. **Revista Geonorte**, v.4, n.4, p.116-135, 2012.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RIAN, P. D. **Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis**. Paleontologia Electronica Version 4.03, 2020.

JACOBI, J.; ANDRES, C.; SCHENEIDER, M.; PILLCO, M.; CALIZAYA, P.; RIST, S. Carbon stocks, tree diversity, and the role of organic certification in different cocoa production systems in Alto Beni, Bolivia. **Agroforestry Systems**, v.88, n.6, p.1117-1132, 2014.

JEMAI, I.; AISSA, N. B.; GUIRAT, S. B.; BEN-HAMMOUDA, M.; GALLALI, T. Impact of three and seven years of no-tillage on the soil water storage, in the plant root zone,

under a dry subhumid Tunisian climate. **Soil and Tillage Research**, v.126, n.1, p.26-33, 2013.

JUNQUEIRA, A. C.; SCHLINDWEIN, M. N.; CANUTO, J. C.; NOBRE, H. G.; SOUZA, T. J. Sistemas agroflorestais e mudanças na qualidade do solo em assentamento de reforma agrária. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.8, n.1, p.102-115, 2013.

JOUQUET, P.; DAUBER, J.; LAGERLÖF, J.; LAVELLE, P.; LEPAGE, M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. **Applied Soil Ecology**, v.32, p.153-164, 2006.

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

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.635-662.

LAVELLE, P.; CHAUVEL, A.; FRAGOSO, C. **Faunal activity in acid soils**. In: DATE, R. A. (Ed.). **Plant Soil Interactions at Low pH**. p. 201-211, 1995.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M. BAROT, S.; BLOUIN, M. BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; PROSSI J. P. Soil invertebrates and ecosystems services. **European Journal of Soil Biology**, v.42, p.3-15, 2006.

LIMA, C. S.; DALZUCHIO, M. S.; SILVA, E. F.; PÉRICO, E. 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**, v.45, n.3, p.322-331, 2010.

MARCUZZO, S. B.; ARAUJO, M. M.; RORATO, D. G.; MACHADO, J. Comparação entre áreas em restauração e área de referência no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v.38, n.6, p.961-972, 2014.

MENEZES, J. M. T.; van LEEUWEN, J.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; LEANDRO, R. C. Comparação entre solos sob uso agroflorestral e em florestas remanescentes

adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.893-898, 2008.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCOVERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016. 266 p.

NASCIMENTO, D. M.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; PARRON, L. M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil and Tillage Research**, v.110, p.292-299, 2019.

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.

OLIVEIRA, E. P.; FRANKLIN, E. O efeito do fogo sobre a mesofauna do solo: Recolonização em áreas queimadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.3, p.357-369, 1993.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, B. S.; CARVALHO, B. A. C.; LANGE, A.; WRUCK, F. J.; DALLACORT, R.; SILVA, V. P.; BAREA, M. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região Amazônica. **Revista Espacios**, v.38, n.41, p.1-12, 2017.

ONU NO BRASIL. **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: Acesso em: 14 de jul. 2012.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. **Os sistemas agroflorestais com funções ecológicas ressaltadas em áreas de conservação no Brasil**. Cadernos da Disciplina Sistemas Agroflorestais, 2015. 79 p.

RODRIGUES, E. R.; MONTEIRO, R.; CULLEN JUNIOR, L. Dinâmica inicial da composição florística de uma área restaurada na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.853-861, 2010.

ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; BARTZ, M. L. C.; MAFRA, A. L.; AFONSO DE

SOUSA, J. P. F.; BARETTA, D. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.6, p.1544-1553, 2015.

ROSA, V. A.; SOARES NETO, J. P.; NUNES, H. B.; CALISTO, K. S.; CRUZ, J. N. Atributos Físicos e Estoque de Carbono em Sistemas Agroflorestais nos Cerrados do Oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.7, p.2660-2671, 2019.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, v.53, n.2, p.259-266, 1994.

RUTGERS, M.; SCHOUTEN, A. J.; BLOEM, J.; VAN EKEREN, N.; DE GOEDE, R. G. M.; AKKERHUIS, G. A. J. M.; VAN DER WAL, A.; MULDER, C.; BRUSSAARD, L.; BREURE, A. M. Biological measurements in a nationwide soil monitoring network. **European Journal of Soil Science**. v.60, n.5, p.820-832, 2009.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.3, p.667-674, 2010.

SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L.; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C. C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1466-1475, 2016.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.6, p.1775-1781, 1994.

SILVA, R. F.; TOMAZI, M.; PEZARICO, C. R.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.865-871, 2007.

SILVA, D. D. E.; FELIZMINO, F. T. A.; OLIVEIRA, M. G. Avaliação da degradação ambiental a partir da prática da cultura do feijão no município de Tavares-PB. **Holos**, v.12, n.8, p.148-165, 2015a.

SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; CAVALIERI, K. M. V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M.; PARRON, L. M.; CHEROBIM, V. F.; MARIOTI, J.; FERRARI NETO, H. **Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais**. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília: Embrapa, p.71-83. 2015b.

SILVA, T. T.; BUENO, R. O.; COUTO, L. M. V.; SOUZA, D. C.; BUENO, P. A. A. Diversidade da macrofauna edáfica em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, Paraná. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.7, p.34-41, 2018.

SUGANUMA, M. S.; DURIGAN, G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. **Restoration Ecology**, v.23, n.3, p.238-251, 2015.

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; JACQUES, R. J. S. Importância ecológica e ambiental das minhocas. **Restoration Ecology**, v.36, n.2, p.137-147, 2013.

STÖCKER, C. M.; MONTEIRO, A. B.; BAMBERG, A. L.; CARDOSO, J. H.; MORSELLI, T. B. G. A.; LIMA, A. C. R. Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista da Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa - Congrega**, v.14, p.848-859, 2017.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.3, p.774-782, 2014.

TAVARES, S. R. L. Áreas Degradadas: conceitos e caracterização do problema. In: TAVARES, S. R. L. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. p.1-8.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3 Ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

VASCONCELLOS, R. C.; BELTRÃO, N. E. S. Avaliação de prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais através de indicadores ambientais. **Interações**, v.19, n.1, p.209-220, 2018.

VASCONCELOS, W. L. F.; RODRIGUES, D. M.; SILVA, R. O. C.; ALFAIA, S. S. Diversity and abundance of soil macrofauna in three land use systems in eastern Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.44, 0190136, 2020.

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n.5, p.892-898, 1980.

VAN ITTERSUM, M. K.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance: a review. **Field Crops Research**, v.143, p.4-17, 2013.

VARGAS, A. B.; CHAVES, D. A.; DO VAL, G. A. E.; SOUZA, C. G.; FARIAS, R. M.; CARDOZO, C.; MENEZES, C. E. G. Diversidade de artrópodes da macrofauna edáfica em diferentes usos da terra em Pinheiral, RJ. **Acta Scientia & Technicae**, v.1, n.2, p.21-27, 2013.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O solo como sistema**. Curitiba. 2011. 104 p.