

Maria Virgínia David Muchanga Davissone

**INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES ARBÓREAS SOBRE A
DIVERSIDADE E ATIVIDADE DA FAUNA DO SOLO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Júlia Carina Niemeyer.

Coorientadores: Prof. Dr. César Augusto Marchioro e Profa. Dra. Karine Louise Dos Santos.

Curitiba
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Davissone, Maria Virgínia David Muchanga

Influência das espécies arbóreas sobre a diversidade e atividade da fauna do solo em sistemas agroflorestais / Maria Virgínia David Muchanga Davissone ; orientadora, Júlia Carina Niemeyer, coorientador, César Augusto Marchioro, coorientadora, Karine Louise Dos Santos, 2019.

67 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais, Curitibanos, 2019.

Inclui referências.

1. Ecossistemas Agrícolas e Naturais. 2. Sistemas agroflorestais. 3. Fauna do solo. I. Niemeyer, Júlia Carina. II. Marchioro, César Augusto. III. Santos, Karine Louise. IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. V. Título.

Maria Virgínia David Muchanga Davissone

**INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES ARBÓREAS SOBRE A
DIVERSIDADE E ATIVIDADE DA FAUNA DO SOLO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Esta Dissertação/Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Ecossistemas Agrícolas e naturais.

Curitiba, 25 de fevereiro de 2019.

Prof. Alexandre Ten Caten, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Júlia Carina Niemeyer, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Vanessa Bezerra Oliveira, Dr.^a
Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo –
EESC - USP

Prof. Alexandre Siminski, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado ao meu
esposo, pai e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, a saúde e por ter estado presente durante toda a minha trajetória.

Ao meu esposo Efrim Davissone, pelo apoio incondicional, pela paciência e por ter estado sempre do meu, dando suporte e encorajando-me nos momentos mais difíceis, mesmo estando distante.

Ao meu pai David Paulo e aos irmãos Gil e Melita, que estiveram do meu lado e torceram para o meu sucesso.

A Luziane, com quem partilhei não só a casa, mas também momentos bons e maus, durante esses dois anos, muito obrigada.

A prof. Dra. Júlia Niemeyer, a orientadora que quero levar para a vida, quero agradecer pela paciência, apoio, confiança e pelos ensinamentos transmitidos, tanto acadêmicos como os para a vida, que foram cruciais para o sucesso desse trabalho.

Aos meus coorientadores Prof. Dr. Cesar Marchioro e Prof. Dra. Karine Santos, pelo apoio, paciência, disponibilidade, e dedicação por esse trabalho.

Aos Prof. Dr. Alexandre Siminski, Prof. Dr. Jonatas Piva, Prof. Dr. Otavio Campoe e Prof. Dr. Djalma Schmitt, por todo apoio a mim prestado e por estarem disponíveis sempre que precisei.

Aos colegas do Núcleo de Ecotoxicologia, em especial ao Guilherme Alves, Tatiani, Guilherme Fockink, Nádia, Mayrine, Letícia e Andrei, muito obrigada pela força apoio na coleta de dados, sem vocês não teria conseguido.

Ao programa de pós-graduação em ecossistemas agrícolas e naturais, pela oportunidade e pelo apoio prestado para a minha inserção no programa e no Brasil muito obrigada, quero agradecer de forma especial a Gisele e ao Delson.

Aos técnicos do setor agropecuário em especial ao sr. Altair Nunes, Airton, Adelar, Larissa e Ênio, e aos técnicos dos laboratórios de Biologia e de Química, em especial ao Gabriel, Flávia, Aline, Renata, Cláudio, por todo apoio e muitas vezes sem aviso prévio.

Aos colegas das turmas PPGEAN 2016-2, 2017-1 e 2018-1, muito obrigada pelos momentos de lutas, vitórias e alegrias que juntos vivemos, com certeza ajudaram na construção do que sou hoje.

A toda a comunidade da Universidade Federal de Santa Catarina, campus de curitibanos, os professores, alunos, técnicos, motoristas, servidores, muito obrigada pela amizade, carinho e palavras de conforto.

Muito Obrigada

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Este material é baseado na pesquisa apoiada pela agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional, como parte da iniciativa *Feed the Future*, do fundo do CGIAR, número BFS-BFS-11-00002, e o antecessor do fundo de segurança alimentar e mitigação de crises II, número EEM-G-00-04-00013.

RESUMO

A fauna do solo é essencial para uma vasta gama de serviços que contribuem para o funcionamento de ecossistemas naturais. Existem evidências de um forte vínculo entre os organismos acima e abaixo do solo, destacando-se os impactos que os usos da terra podem ter no fornecimento de serviços ecossistêmicos. Dentre as espécies que apresentam tanto papel ecológico como econômico em sistemas produtivos no sul do Brasil, destacam-se a bracatinga, *Mimosa scabrella*, e a erva-mate, *Ilex paraguariensis*. Assim, o presente trabalho avaliou a influência destas espécies arbóreas na diversidade de grupos de fauna de solo em um Sistema Agroflorestal (SAF) localizado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus de Curitibanos. Para o alcance do objetivo proposto realizou-se a coleta e estudo da macrofauna e mesofauna edáfica associadas às espécies arbóreas em estudo, análise dos atributos físicos e químicos do solo e fluxo de CO₂ no solo. As análises foram realizadas com espécimes isolados na paisagem (sem árvores vizinhas em um raio de 3m), e agrupados (próximos a outras espécies). Para amostragem dos organismos do solo, foram utilizados os métodos de escavação de monólitos e triagem manual, funil de Berlese e *bait lamina*. Adicionalmente, foram coletadas amostras do solo nas profundidades de 0 – 5cm, 5 – 10 cm, 10 – 15cm e 15 – 20cm, para análise dos atributos físicos e químicos e a determinação do fluxo de carbono no solo usando câmaras com analisadores de gás infravermelho. A determinação da riqueza e abundância, dominância da macro e mesofauna e similaridade entre as comunidades, foi realizada com os índices de Shannon-Winner, Índice de Dominância de Simpson (C), Índice de Uniformidade de Pielou (J) e o Índices de Similaridade entre Comunidades de Sorensen (Ss). Para a avaliar a influência da espécie arbórea e da proximidade de outras espécies vegetais sobre a atividade alimentar da fauna do solo, as características físico-químicas do solo e o fluxo de CO₂ foi realizada Análise de Variância fatorial. Quando diferenças foram detetadas, as médias foram comparadas com o teste de Tukey a 5% de significância. Para comparar os parâmetros obtidos para cada espécie arbórea quando em isolamento e quando próximas a outras arvores foi usada ANOVA fatorial. Foi verificada a maior abundância de indivíduos e riqueza de espécies da macrofauna na área de Bracatinga Agrupada (BA) no inverno, enquanto que no verão, a maior abundância de indivíduos e riqueza de espécies foi verificada na área de Erva Mate Agrupada (EA). A mesofauna apresentou maiores valores de riqueza e abundância no inverno, na área de Bracatinga Isolada (BI) enquanto que,

a menor abundância de indivíduos foi registrada para BA, e a menor riqueza de espécies para EI. O maior valor do índice de diversidade de Shannon (H') foi encontrado na área de BI, enquanto que o menor foi para a área de EA, apresentando diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. O índice de uniformidade de Pielou (J') e o índice de dominância de Simpson (D), não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. O índice de similaridade de Jaccard, mostrou que os sistemas BI e BA, apresentaram maior similaridade entre as comunidades. A atividade alimentar da fauna do solo não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos, porém, apresentou diferenças estatísticas significativas entre as épocas de coleta, sendo que a maior taxa de consumo foi verificada na área de BI no verão, e a menor taxa foi verificada na área de EA, no inverno. O fluxo de CO_2 apresentou diferenças estatísticas entre as espécies, tipo de arborização, datas e na interação entre as espécies e arborização, sendo o maior valor verificado na área de BA no quarto dia de coleta, e o menor valor da média de emissão foi observado na área de BI no terceiro dia de coleta, realizadas no mês de maio de 2018. A interação entre os atributos físicos e a arborização mostraram diferenças estatísticas, sendo que a EI apresentou maior valor de densidade em relação a BI, a porosidade total mostrou maiores valores na área de EM, e para arborização a área de BA apresentou maiores valores. Os atributos químicos estudados não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as espécies ou o grau de arborização, exceto para P e Mg, onde a área de BI apresentou menor valor de P em relação as outras áreas e as áreas de BA e EA apresentaram maiores valores de Mg. Assim, podemos concluir que as espécies *I. paraguariensis* e *M. scabrella* contribuem de forma distinta para a diversidade de mesofauna edáfica e para atributos físicos do solo a exemplo da porosidade.

Palavras-chave: Fauna do Solo; Serviços Ecosistêmicos; Sistemas Agroflorestais

ABSTRACT

Soil fauna is essential for a wide range of services that contribute to the functioning of natural ecosystems. There is evidence of a strong link between above and below ground organisms, highlighting the impacts that land uses can have on the provision of ecosystem services. Among the species that present both ecological and economic role in productive systems in the south of Brazil, we can highlight the Bracatinga, *Mimosa scabrella*, and the yerba mate, *Ilex paraguariensis*. Thus, the present work evaluated the influence of these tree species on the diversity of soil fauna groups in an Agroforestry System (SAF) located at the Federal University of Santa Catarina (UFSC), Curitibanos Campus. In order to reach the proposed objective, we performed the collection and study of macrofauna and soil mesofauna associated to the tree species under study, physical and chemical attributes of the soil and CO₂ flux in the soil. The analyzes were carried out with isolated specimens in the landscape (without neighboring trees within a radius of 3m), and grouped (close to other species). For sampling of soil organisms, the monoliths and manual sorting methods, Berlese funnel and bait lamina were used. In addition, soil samples were collected at depths of 0 - 5cm, 5 - 10cm, 10 - 15cm and 15 - 20cm, for analysis of physical and chemical attributes and determination of soil carbon flux using cameras with infrared gas analyzers. The determination of richness and abundance, dominance of the macro and mesofauna and similarity between the communities was performed with the Shannon-Winner indexes, Simpson Dominance Index (C), Pielou Uniformity Index (J) and Similarity Indexes between Sorensen Communities (Ss). In order to evaluate the influence of the tree species and the proximity of other plant species on the soil fauna food activity, soil physicochemical characteristics and CO₂ flow, a factorial Variance Analysis was performed. When differences were detected, the means were compared with the Tukey test at 5% significance. To compare the parameters obtained for each tree species when in isolation and when close to other trees was used factorial ANOVA. The highest abundance of individuals and species richness of the macrofauna in the area of Bracatinga Agrupada (BA) in winter was verified, whereas in the summer, the greatest abundance of individuals and species richness was verified in the area of Erva Mate Agrupada (EA). The mesofauna presented higher values of richness and abundance in winter, in the isolated Bracatinga area (BI), whereas the lower abundance of individuals was recorded for BA, and the lowest species richness for IE. The highest value of the Shannon diversity index (H') was found in the BI area, while

the lowest value was in the EA area, presenting statistically significant differences between the treatments. The Pielou uniformity index (J') and the Simpson dominance index (D) did not present statistical differences between the treatments. Jacquard's similarity index showed that the BI and BA systems presented greater similarity between the communities. The food activity of the soil fauna did not present statistical differences between the treatments, however, it presented statistically significant differences between the collection seasons, and the highest consumption rate was verified in the BI area in the summer, and the lowest rate was verified in the area of EA in winter. The CO₂ flux showed statistically significant differences among the species, type of arborization, dates and in the interaction between the species and afforestation, being the highest value verified in the area of BA on the fourth day of collection, and the lowest value of the average emission was observed in the area of BI on the third day of collection, held in May 2018. The interaction between the physical attributes and the afforestation showed statistical differences, with the EI having a higher density value in relation to BI, total porosity showed higher values in the MS area, and for afforestation the area of BA presented higher values. The chemical attributes studied did not present significant statistical differences between the species or the degree of afforestation, except for P and Mg, where the BI area presented lower p value in relation to the other areas and the areas of BA and EA presented higher values of Mg. Thus, we can conclude that the species *I. paraguariensis* and *M. scabrella* contribute distinctly to the diversity of edaphic mesofauna and to soil physical attributes such as porosity.

Keywords: Soil fauna; ecosystem services; agroforestry systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição da temperatura e precipitação nos anos de 2017 – 2018 no Campus de Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina. Dados coletados na estação agrometeorológica da UFSC, Curitibanos, SC.	27
Figura 2 – Desenho amostral do experimento.	29
Figura 3 - Solo triturado e peneirado a 80 mesh (A) e pesado na balança analítica (B) e mistura de solo e Dicromato de potássio na chapa de aquecimento (C).	31
Figura 4 - Titulação da solução da amostra usando sulfato ferroso amoniacal.	32
Figura 5 - Amostras do solo na bandeja para saturação, durante 12 horas.	34
Figura 6 - Abertura de monólito (A) e triagem manual da fauna do solo (B).	36
Figura 7 – Amostras do solo coletadas nas áreas de Bracatinga Isolada, Bracatinga agrupada, Erva Mate isolada e Erva Mate agrupada, expostas para a extração da Mesofauna por gradiente de temperatura, pelo método de funil de berlese adaptado.	38
Figura 8 – Extração quente e úmida de enquitreídeos, por gradiente de temperatura.	39
Figura 9 - Esquema (A) mostrando a disposição dos conjuntos de bait lâminas e (B) mostrando os bait lâminas instaladas no solo.	40
Figura 10 - Equipamento usado para medição de fluxo de CO ₂ no solo nas áreas estudadas.	41
Figura 11 - Suporte de PVC para os leitores de fluxo de CO ₂ no solo, dispostos em torno das árvores em estudo.	41
Figura 12 - Dendograma do agrupamento das espécies BI, BA, EI, EA verificado em cada sistema estudado, dado pelo Índice de similaridade de Jaccard entre as comunidades, índice de correlação cophenetic = 0,71.	48
Figura 13 – Atividade alimentar da fauna do solo, dada pela taxa de consumo das iscas (%), nas áreas de Bracatinga Agrupada (BA), Bracatinga Isolada (BI), Erva Mate Agrupada (EA) e Erva Mate Isolada (EI), após 45 dias de exposição durante o inverno e o verão. Letras diferentes mostram que houve diferença estatística entre os tratamentos.	49
Figura 14 - Respiração do solo, dada pelo Fluxo de Dióxido de Carbono emitido, letras diferentes indicam diferenças estatísticas.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Interação entre os tratamentos (espécies) e a arborização dos atributos físicos do solo (Densidade, Porosidade total, Microporosidade), nas amostras solo coletadas nas profundidades 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 15 cm, 15 – 20 cm, nas áreas de Bracatinga Isolada (BI), Bracatinga Agrupada (BA), Erva Mate Isolada (EI), Erva Mate Agrupada (EA). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha representam diferenças estatísticas entre os tratamentos, enquanto que, letras minúsculas diferentes na mesma coluna, representam diferenças estatísticas entre a arborização.	43
Tabela 2 - Microporosidade do solo nas amostras solo coletadas nas profundidades 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 15 cm, 15 – 20 cm, nas áreas de Bracatinga Isolada (BI), Bracatinga Agrupada, Erva Mate Isolada (EI), Erva Mate Agrupada (EA). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha representam diferenças estatísticas entre os tratamentos, enquanto que, letras minúsculas diferentes na mesma coluna, representam diferenças estatísticas entre as camadas.	44
Tabela 3 - Macroporosidade do solo nas amostras solo coletadas nas profundidades 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 15 cm, 15 – 20 cm, nas áreas de Bracatinga Isolada (BI), Bracatinga Agrupada, Erva Mate Isolada (EI), Erva Mate Agrupada (EA). Letras minúsculas diferentes na coluna, representam diferenças estatísticas entre os tratamentos.....	44
Tabela 4 - Atributos químicos de amostras do solo, coletadas na profundidade 0 – 20 cm, nas áreas de Bracatinga Isolada (BI), Bracatinga Agrupada (BA), Erva Mate Isolada (EI), Erva Mate Agrupada (EA)...	45
Tabela 5 - Riqueza de morfotipos de macrofauna e os respectivos Grupos coletada nos monólitos nas áreas de Bracatinga isolada (BI), Bracatinga Agrupada (BA), Erva-mate isolada (EI), e Erva-mate agrupada (EA), no inverno de 2017 e verão 2018.	46
Tabela 6 - Abundância e riqueza (entre parênteses) para cada Tâxon de mesofauna do solo coletada nas das áreas de Bracatinga isolada (BI), Bracatinga Agrupada (BA), Erva Mate isolada (EI), Erva Mate agrupada (EA) no inverno 2017 e verão 2018, através do método de Funil de Berlese Tullgren, seguidos dos valores de abundância e riqueza total, índice de diversidade de Shannon (H'), índice de equidade de Pielou (J) e o índice de Simpson. Letras distintas, representam diferenças estatísticas entre os tratamentos.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B	Bracatinga
BA	Bracatinga agrupada
BI	Bracatinga isolada
CEDUP	Centro de Educação Profissional
E	Erva mate
EA	Erva mate agrupada
EI	Erava mate isolada
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Estado de Santa Catarina
FOM	Floresta Ombrófila Mista
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRGA	Câmaras com analisadores de gás infravermelho
IFSC	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
SAFs	Sistemas agroflorestais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	MATERIAIS E MÉTODOS	27
2.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
2.2	DELINEAMENTO AMOSTRAL	28
2.3	ANÁLISES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO	30
2.3.1	Análise química do solo	30
2.3.2	Análise física do solo	33
2.4	RIQUEZA E ABUNDÂNCIA DA MACROFAUNA, MESOFAUNA EDÁFICA E ASSOCIADAS ÀS ESPÉCIES ARBÓREAS EM ESTUDO.....	35
2.4.1	Escavação de Monólito (Tropical Soil Biology and Fertility).	35
2.4.2	Coleta, triagem e identificação da Mesofauna.....	37
2.4.3	Abundância de Enquitreídeos	38
2.4.4	Atividade alimentar da fauna do solo.....	39
2.5	FLUXO DE CO ₂ NO SOLO	40
2.6	TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.....	42
3	RESULTADOS	43
3.1	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	43
3.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	44
3.3	RIQUEZA DE MACROFAUNA NOS MONÓLITOS	45
3.4	RIQUEZA E ABUNDÂNCIA DE GRUPOS DE MESOFAUNA DO SOLO	46
3.5	ABUNDÂNCIA DE ENQUITREÍDEOS	48
3.6	ATIVIDADE ALIMENTAR DA FAUNA DO SOLO.....	48
3.7	FLUXO DE CO ₂ NO SOLO	49
4	DISCUSSÃO	51
4.1	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	51
4.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	51
4.3	RIQUEZA DA MACROFAUNA NOS MONÓLITOS.....	52
4.4	RIQUEZA E ABUNDÂNCIA DE GRUPOS DE MESOFAUNA DO SOLO	54
4.5	ABUNDÂNCIA DE ENQUITREÍDEOS	54
4.6	ATIVIDADE ALIMENTAR DA FAUNA DO SOLO.....	55
4.7	FLUXO DE CO ₂ NO SOLO	56
5	CONCLUSÕES	57
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O aumento crescente da população mundial, aliado à necessidade de aumento da produção, tem levado à transformação dos ecossistemas naturais para atender às necessidades humanas (BARBOSA, 2005 e DUTRA, 2008). A pressão sobre os recursos naturais aumentou à medida que a demanda de alimentos e outros recursos levaram à intensificação da agricultura. O manejo agrícola sem obedecer a técnicas sustentáveis continua a ser uma prática adotada com a justificativa de aumento das áreas de produção de culturas alimentares, contribuindo assim, para o empobrecimento dos solos (CHITSONDZO; SILVA, 2013). A proteção da qualidade do solo tem sido um dos objetivos de agências ambientais no mundo todo. Estratégias que aliem a produção agrícola com a conservação dos ecossistemas são um desafio para a agricultura mundial. A busca por medidas de mitigação desses impactos para a restauração/recuperação dessas áreas tornou-se urgente, com vistas ao aumento da produção agrícola, aliado ao melhoramento e recuperação da fertilidade do solo e manutenção da biodiversidade (VICENTE et al., 2010).

Nesse cenário, a incorporação da floresta em sistemas de cultivo tem promovido o desenvolvimento de sistemas de produção integrados, a exemplo dos Sistemas Agroflorestais (SAF's) (SIMINSKI et al., 2016). Os sistemas agroflorestais são definidos como uma forma de produzir alimentos, conservar ou recuperar a natureza. Nesses sistemas, ao invés da retirada de toda a vegetação original para dar lugar à produção em larga extensão de uma única cultura, as relações entre os seres vivos são estimuladas a fim de produzir produtos e conservar biodiversidade (NARDELE; CONDE, 2005). Os SAFs promovem a adição de nutrientes ao solo, levando à melhoria e recuperação de áreas degradadas. Além da recuperação da área, tornam os solos mais produtivos, mas para isso devem ser implantados e conduzidos sob princípios agroecológicos. Essas ações são possíveis graças a interações positivas entre seus componentes (FÁVERO; LOVO; MENDONÇA, 2008).

SAVEGNANI et al. (2013), à luz do inventário Florestal Florístico de Santa Catarina, apontaram o Estado de Santa Catarina como importante abrigo para a biodiversidade, pelo registro de 43% das espécies que compõe a Floresta Ombrófila Mista (FOM) (uma fitofisionomia da Mata Atlântica), sendo que essas representam 22,7% de todas as espécies do Estado. Entre as espécies peculiares de ocorrência natural na FOM, figura a bracatinga (*Mimosa scabrella* G. Bentham). A qual apresenta altas taxas de crescimento, ciclo rápido e alto nível de

interações com organismos do solo, insetos e vertebrados, o que faz com que seja uma das espécies mais indicadas como facilitadoras em programas de restauração/recuperação do ambiente (BASSO, 2007). Além do seu importante papel na restauração ambiental, a bracatinga é fonte de matéria prima energética, visto que é grande produtora de lenha, além de ser uma espécie melífera, contribuindo assim para o aumento da renda familiar (RIBEIRO e MACHADO, 2012).

Outra espécie da região é a erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.), planta nativa da região sul do continente americano, com grande valor econômico para as comunidades locais e para a economia do país, contribuindo na geração de emprego e renda. As suas folhas são usadas no preparo de bebidas tradicionais como o chimarrão e chás (WOLF e PERREIRA, 2015). No Brasil, foram produzidas mais de 354 mil toneladas de erva-mate em 2017, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). A espécie apresenta baixa exigência em fertilidade do solo, podendo ocorrer em solos com baixa fertilidade, altos teores de alumínio, pH baixo e baixos teores de cátions trocáveis; adicionalmente suas raízes possuem micorrizas arbusculares o que lhes permite a associação com diferentes taxas de fungos micorrízicos (CARVALHO, 2003).

A fauna edáfica é um excelente bioindicador da qualidade do solo, por ser composta de organismos sensíveis a práticas de manejo e variações de cobertura vegetal (BARETTA et al. 2011). Os organismos do solo contribuem para uma vasta gama de serviços ecossistêmicos que são essenciais para o funcionamento de ecossistemas naturais e as diferentes formas de uso (PARRON et al., 2015). Apresentam grande importância para a decomposição e mineralização de resíduos orgânicos permitindo a disponibilidade de nutrientes para as plantas e para outros organismos, sendo responsáveis pela manutenção da capacidade produtiva do solo (BROWN; DOMÍNGUEZ, 2010).

As árvores em sistemas agroflorestais servem de alimento e abrigo para os organismos do solo, promovendo assim, mudanças positivas na sua abundância e diversidade (BARRIOS et al., 2013). Em revisão intitulada “Como a diversidade de árvores influencia na diversidade de fauna do solo”, KORBOULEWSKY et al. (2015), verificaram que poucos estudos foram delineados para avaliar precisamente o efeito da diversidade das espécies arbóreas e que ainda não é possível ligar diretamente os efeitos da diversidade arbórea e a diversidade e abundância de organismos do solo. Os autores concluem que não está claro, a princípio, se há uma tendência positiva para o aumento da riqueza em função da introdução de espécies de folhas largas em áreas de

coníferas. Todavia, estudos têm apontado que as espécies vegetais podem contribuir de forma diferente para a biodiversidade que existe no solo e, conseqüentemente, isso reflete na qualidade do solo. Isso pode se dar devido às interações ecológicas existentes nas raízes, à entrada de biomassa (i.e., pela queda do folhíço), por efeitos físicos ocasionados pela forma e tamanho das raízes, como a descompactação do solo e criação de microhabitats, entre outros (BARRIOS et al. 2013).

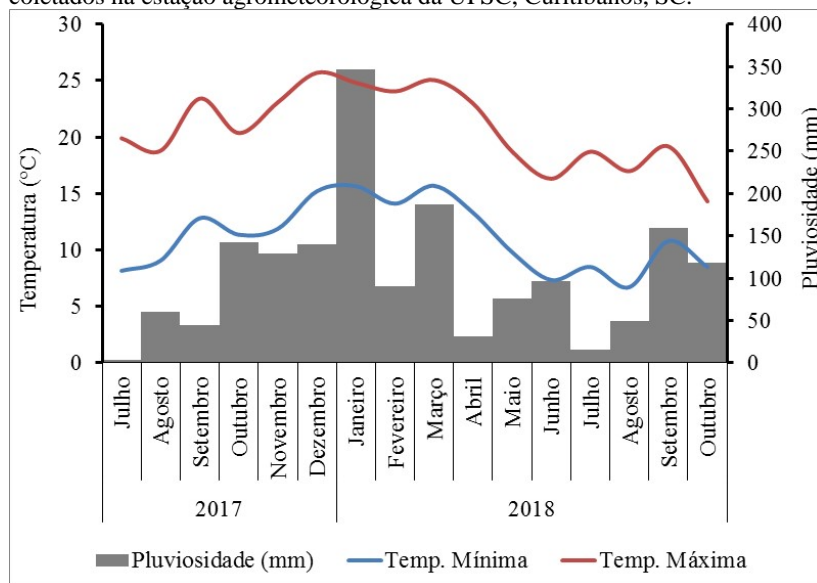
Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência das espécies arbóreas *M. scabrella* e *I. paraguariensis* sobre a diversidade e a atividade alimentar da fauna de solo em Sistemas Agroflorestais (SAFs) e, conseqüentemente, sobre a qualidade química e física do solo. A hipótese é que entre as espécies arbóreas em estudo, haveria diferenças significativas nos valores do índice de diversidade da comunidade edáfica, na taxa de consumo alimentar, na disponibilidade de nutrientes e nos atributos físicos e químicos do solo mensurados próximos a cada espécie, o que indicaria uma diferente contribuição para a qualidade do solo. Quanto maiores os valores das variáveis citadas acima, maior a contribuição para a recuperação da qualidade do solo no sistema em questão, que se trata de uma área degradada em recuperação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na área experimental agroflorestal, localizada na Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, SC (latitude: 27°17'11.5"S; longitude: 50°31'57.9"W; altitude: 987 m). A área de 0,8 ha foi implantada em outubro de 2013, e situa-se em uma região onde o clima é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfb), de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, com temperatura média de 15°C, como mostra a Figura 1. Antes da implantação do sistema agroflorestal, a área era ocupada por plantio de pinus, o qual foi removido em 2010 (BARBOSA et al., 2017).

Figura 1 – Distribuição da temperatura e precipitação nos anos de 2017 – 2018 no Campus de Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina. Dados coletados na estação agrometeorológica da UFSC, Curitibanos, SC.



Como forma de recuperar a área, desde 2013 vêm sendo desenvolvidas ações para a melhoria da qualidade do solo como a organização de parcelas e o enriquecimento com culturas de interesse. A implementação do SAF ocorreu utilizando algumas espécies nativas já presentes na área, como *Araucaria angustifolia* Bertol Kuntze (pinheiro-

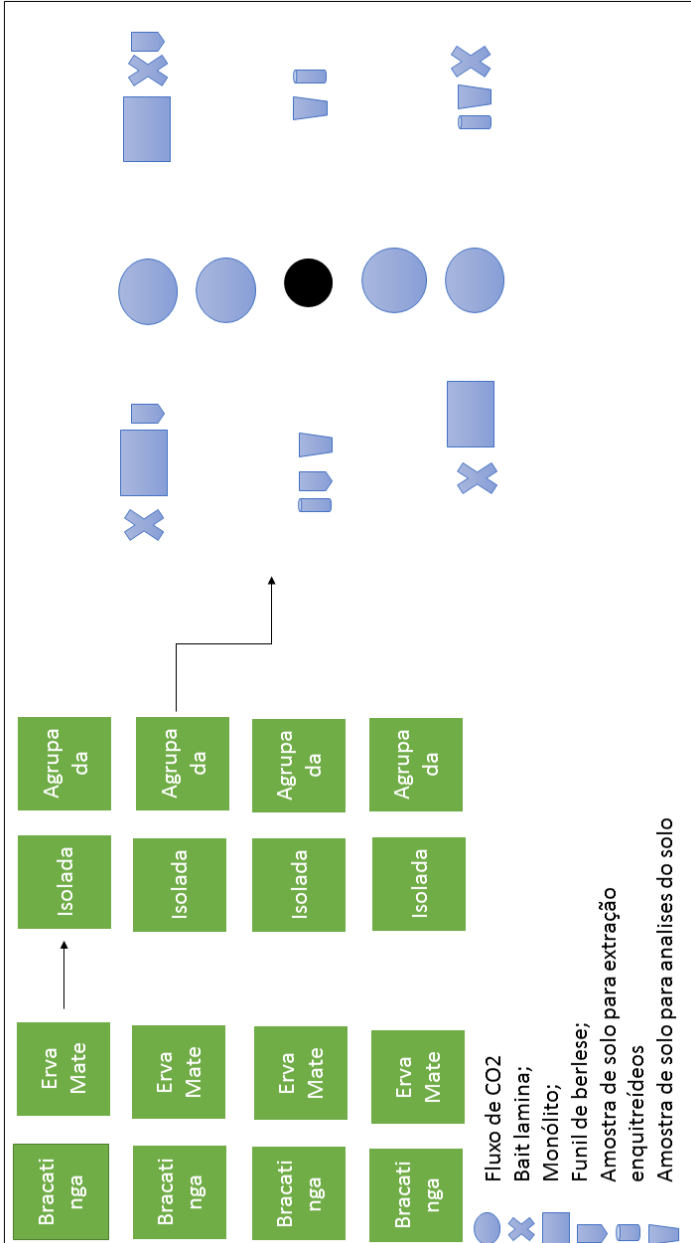
do-Paraná), *Mimosa scabrella* Benth (bracatinga), *Solanum mauritianum* Scop (fumo bravo), *Lithraea molleoides* (bugreiro), *Matayba eleagnoides* (camboatá branco), canelas e aroeiras, e enriquecendo com novas espécies, como *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil (erva mate), *Eugenia uniflora* L. (pitangueira), *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret (goiaba serrana), *Psidium bahianum* Landrum & Funch (araçá), *Inga spp* (ingá), *Eugenia involucrata* (cerejeira) e *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg (guabiroba).

No manejo do SAF, não são usados produtos como pesticidas convencionais e fertilizantes de alta solubilidade. Para a correção do solo, foram realizadas aplicações de calcário, cinza, fosfato natural e composto orgânico. Todas as atividades de manejo são realizadas com o mínimo revolvimento do solo, buscando conservar a sua estrutura. O manejo preconiza a implantação também de espécies anuais voltadas a cobertura verde, visando à melhoria da qualidade física, química e biológica do solo.

2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL

A área total foi dividida em duas subáreas, sendo primeira a do SAF-Erva Mate, a segunda a do SAF-Bracatinga. Em cada subárea, foram selecionados oito indivíduos de *M. scabrella* e oito indivíduos de *I. paraguariensis*, com porte semelhante e com as seguintes características: quatro árvores isoladas (sem árvores vizinhas em um raio de 3 m, pois a essa distância, verificou-se que as copas não se cruzaram e automaticamente as raízes) e quatro árvores agrupadas (próximas a outras espécies arbóreas), de cada espécie em estudo, que constituíram os pontos amostrais. As coletas de solo e fauna edáfica e as avaliações biológicas foram realizadas junto de cada árvore em estudo, como mostra a Figura 2. Portanto, o delineamento consistiu de quatro tratamentos: bracatinga isoladas (BI), bracatinga agrupadas (BA), erva-mate isoladas (EI) e erva-mate agrupadas (EA).

Figura 2 – Desenho amostral do experimento.



2.3 ANÁLISES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO

Para a realização de análises dos atributos químicos e físicos do solo, foram coletadas amostras do junto as árvores em estudo. Em cada árvore foram coletadas amostras do solo indeformadas nas profundidades 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 15 cm e 15 – 20 cm. As amostras foram usadas para a determinação da densidade do solo, porosidade total do solo, macroporosidade do solo e microporosidade do solo, em seguida as amostras de cada ponto foram misturadas para a determinação da matéria orgânica do solo.

2.3.1 Análise química do solo

2.3.1.1 Matéria Orgânica

Para a determinação da matéria orgânica do solo, foi usado o método volumétrico pelo Dicromato de Potássio, descrito por Da Silva, (1998), que consiste em oxidar a amostra com o dióxido de carbono (CO₂) e proceder a titulação do excesso de Dicromato de potássio pelo sulfato ferroso amoniacal.

A amostra do solo foi triturada e peneirada a 80 mesh, em seguida foi pesada na balança analítica (Figura 3 A e B) sendo 0,5g de solo triturado e colocado em erlenmeyer de 250 ml. Foram adicionadas 50 ml de Dicromato de potássio gradativamente (10 ml por vez) ao solo, até que a coloração da solução tivesse cor amarelada e levada em chapa elétrica de aquecimento para a fervura (Figura 3 C).

Figura 3 - Solo triturado e peneirado a 80 mesh (A) e pesado na balança analítica (B) e mistura de solo e Dicromato de potássio na chapa de aquecimento (C).



(A)



(B)



(C)

Fonte: A autora

As amostras foram mantidas a temperatura ambiente para esfriar, sendo após essa fase acrescentados 200 ml de água destilada para a

diluição da solução. A seguir foram retirados 50 ml da solução, acrescentados 1 ml do ácido ortofosfórico e três gotas do indicador difenilamina a 10g/l, onde foi feita a titulação usando o sulfato ferroso amoniacal, anotando-se a quantidade de sulfato gasto (ml). O mesmo procedimento foi realizado com 10 ml da solução de dicromato de potássio para a prova em branco, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Titulação da solução da amostra usando sulfato ferroso amoniacal.



Fonte: A autora

A percentagem de carbono orgânico existente na amostra é dada pela seguinte expressão:

$$\text{g de carbono/kg de TFSE} = 0,06 \times V (40 - V_a \times f) \times \text{“f”}$$

onde: TFSE = terra fina seca em estufa;

V = volume de dicromato de potássio empregado;

V_a = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra;

F = 40/ volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco;

0,06 = fator de correção, decorrente das alíquotas tomadas;

“f” = fator de correção para a TFSE.

A quantidade de matéria orgânica da amostra foi calculada pela seguinte expressão:

g de matéria orgânica/kg = g de carbono x 1,724, onde 1,724 representa o fator de correção.

2.3.2 Análise física do solo

2.3.2.1 Porosidade e Densidade do solo

A porosidade do solo foi obtida por meio da estimativa da massa de água necessária para saturar uma amostra de solo, de volume conhecido, e a massa de água obtém-se através da diferença entre a massa do solo saturado e a massa do volume seco em estufa (De Almeida, et al., 2017)¹.

Para a densidade do solo, foi usado o método de cilindro volumétrico, adaptado do descrito por De Almeida, et al., (2017), que tem como princípio a obtenção da massa por pesagem de volume pela coleta de amostras de solo com estrutura indeformada por meio de um cilindro de volume interno conhecido.

Foram coletadas amostras de solo, usando cilindro metálico, com estrutura indeformada, por meio de escavação, nos pontos de coleta, junto às árvores. As amostras foram coletadas em quatro profundidades, de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm, em seguida foram marcadas e levadas ao laboratório.

No laboratório, as amostras foram niveladas (nas duas superfícies), e colocadas um pedaço de tecido *voil* preso com liga de borracha, anteriormente pesadas. Em seguida, as amostras foram colocadas em bandejas plásticas e adicionada água para permitir que a mesma ascenda por capilaridade, durante 12 horas. Em seguida, as amostras foram pesadas e colocadas na mesa de tensão por 24 horas, pesadas novamente e levadas a secar na estufa a 105° até que se obtenha peso constante (depois de 48 horas).

Figura 5 - Amostras do solo na bandeja para saturação, durante 12 horas.



Fonte: A autora

A seguir foram estimadas a Porosidade total, Microporosidade, Macroporosidade e Densidade do solo, através das formulas abaixo:

Porosidade total

$$Pt = \frac{(a - b) - (c - d)}{e}$$

Onde:

Pt – Porosidade total, em m³ m⁻³;

a – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga saturado, em kg;

b – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga seco a 105 °C, em kg;

c – massa do conjunto cilindro-tecido-liga saturado, em kg;

d – massa do conjunto cilindro-tecido-liga seco a 105 °C, em kg;

e – volume total da amostra, em m³.

Microporosidade

$$M_i = \frac{(a-b)}{c}$$

Onde:

Mi – microporosidade, em m³ m⁻³;

a – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-elástico após equilíbrio (60 cm de coluna de água), em g;

b – massa do solo seco a 105 °C, em g;

c – volume total da amostra, em cm³.

Macroporosidade

$$Ma = (Pt - Mi)$$

Onde:

Ma – macroporosidade, em m³ m⁻³;

Pt – porosidade total, em m³ m⁻³;

Mi – microporosidade, em m³ m⁻³.

Densidade do solo

$$Ds = \frac{ma}{V}$$

Onde:

Ds – densidade do solo, em kg dm⁻³ (equivalente a g cm⁻³).

ma – massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g.

V – volume do cilindro, em cm³.

2.4 RIQUEZA E ABUNDÂNCIA DA MACROFAUNA, MESOFAUNA EDÁFICA E ASSOCIADAS ÀS ESPÉCIES ARBÓREAS EM ESTUDO.

2.4.1 Escavação de Monólito (Tropical Soil Biology and Fertility)

Para a coleta de macrofauna, foi usado o método Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) adaptado de Anderson e Ingram (1993) e Braga et al. (2013), que consistiu na demarcação da área com ajuda de um quadrado metálico de 25x25 cm, em seguida a serapilheira foi coletada e colocada em um saco branco para proceder à triagem dos invertebrados. Após a retirada da serapilheira da área previamente demarcada, foi efetuada uma escavação a 30 cm de profundidade com auxílio de uma pá e de uma cavadeira. Essa camada de solo foi colocada sobre um saco branco e imediatamente realizou-se a triagem à mão e com o auxílio de pinças entomológicas (Figura 2). Em cada ponto amostral, foram selecionados três pontos a uma distância de 1m do centro da árvore onde foram feitas as escavações.

Figura 6 - Abertura de monólito (A) e triagem manual da fauna do solo (B).



(A)



(B)

Fonte: A autora

Os invertebrados, com exceção das minhocas, foram colocados em frascos transparentes com fundo chato, boca larga, tampa rosqueável contendo álcool 70%. As minhocas foram preservadas em álcool absoluto para posterior identificação por taxonomista. Após a triagem, os frascos foram etiquetados com informações como local, data e nome do coletor. Outras informações sobre a área da coleta e condições climáticas locais no momento da coleta foram anotadas em uma caderneta de campo. Em

seguida, os animais foram transportados ao laboratório para a posterior identificação ao nível de Ordem e morfotipos. Para a identificação dos organismos, foram usados principalmente as seguintes referências bibliográficas: BORROR et al. (Sd), RAFAEL et al. (2012) e ORGIAZZI et al. (2016).

2.4.2 Coleta, triagem e identificação da Mesofauna

Foram selecionados três pontos em cada árvore onde foi coletada uma amostra composta de solo superficial usando anéis de inox de 4,9 cm diâmetro e 3 cm de altura. Cada amostra foi composta por três sub-amostras retiradas com o anel. Em seguida, as amostras foram cuidadas para que tivessem a menor perturbação possível e não tivessem contato com a luz do sol, e foram levadas ao laboratório onde foram colocadas no extrator, onde permaneceram durante sete dias.

Para a extração da mesofauna, foi aplicado o método modificado de Tullgren, baseado no funil de Berlese, frequentemente denominado de funil de Berlese-Tullgren. O referido método consiste em um sistema de coleta de amostras de solo e extração da mesofauna utilizado pelo laboratório de fauna do solo da Embrapa Agrobiologia (AQUINO et al., 2006), como mostra a Figura 7. As amostras de solo foram colocadas em funis plásticos acoplados a recipientes contendo álcool 70%, para evitar que os organismos saiam do recipiente e para a conservação dos mesmos, em seguida são colocadas no extrator e expostas à luz e calor. A extração consiste em criar um gradiente de temperatura que permita a migração dos organismos do solo para o fundo do funil, caindo assim no recipiente com o álcool. Por forma a garantir a retenção do solo na parte superior do funil, foi colocada uma tela com algumas aberturas maiores, como indicado em Aquino et al. (2006). Após a extração, foi realizada a identificação dos organismos ao nível de Ordem e morfotipos utilizando BORROR et al. (Sd), RAFAEL et al. (2012) e ORGIAZZI et al. (2016).

Figura 7 – Amostras do solo coletadas nas áreas de Bracatinga Isolada, Bracatinga agrupada, Erva Mate isolada e Erva Mate agrupada, expostas para a extração da Mesofauna por gradiente de temperatura, pelo método de funil de berlese adaptado.



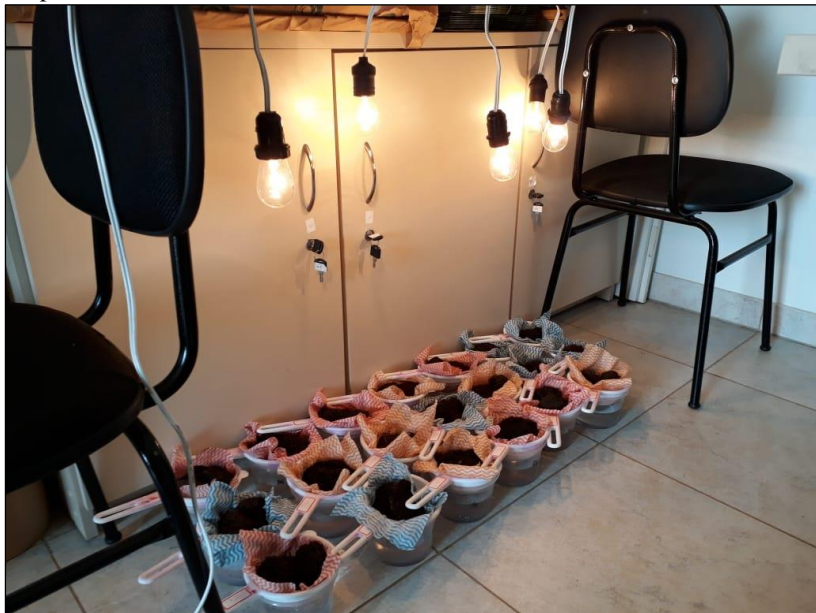
Fonte: A autora.

2.4.3 Abundância de Enquitreídeos

O método usado para a coleta dos enquitreídeos foi adaptado do protocolo padronizado pela ISO 23611-3 (ISO, 2007). As amostras foram coletadas próximo ao tronco das árvores, em um raio de 30 cm, usando um anel de inox de 4,9 cm de diâmetro e 3 cm de altura para coleta de solo, e levadas ao laboratório onde foram submetidas à extração úmida e quente.

Para a extração, foram usadas peneiras plásticas forradas com uma flanela do tipo Perfex®, onde foi colocado o solo, acoplada a um recipiente plástico cheio de água, sob uma lâmpada de 40 W (Figura 8) durante quatro horas. Assim, os enquitreídeos migraram para água e ficaram depositados no fundo do recipiente. Os organismos foram contados ao estereomicroscópio (40x).

Figura 8 – Extração quente e úmida de enquitreídeos, por gradiente de temperatura.



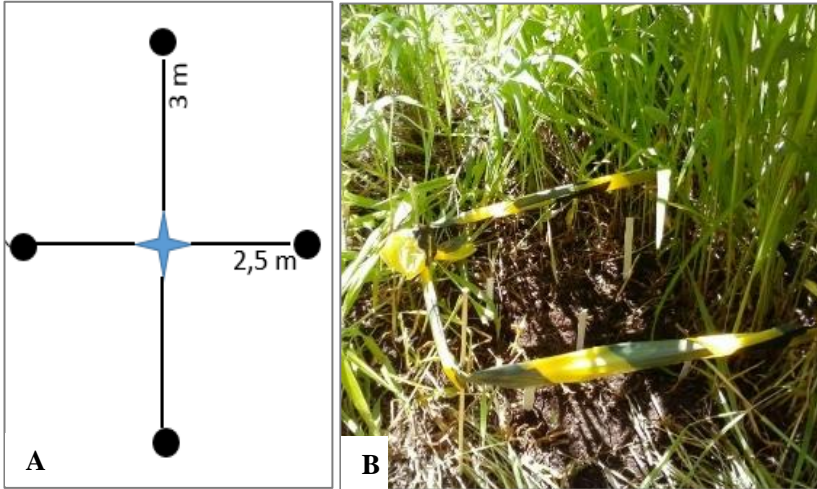
Fonte: Mayrine Silva, 2018

2.4.4 Atividade alimentar da fauna do solo

A atividade alimentar da fauna do solo foi determinada nas proximidades das espécies arbóreas em estudo usando o método *bait lamina*, desenvolvido por Von Torne (1990) e padronizado pela norma ISO 18311 (ISO, 2016). Os *bait lamina* foram adaptados do original usando-se placas finas de PVC (1mm espessura), perfuradas e preenchidas com uma isca composta por celulose (70%), farinha de trigo (25%) e carvão ativado (5%). Foram selecionados quatro pontos junto a cada árvore em um raio de até 1 m. Em cada ponto, foi colocado um conjunto de cinco *bait lamina*, a uma distância de 10 cm um do outro, em forma de X.

Para instalar os *bait lamina*, foi retirado manualmente o excesso de vegetação (para facilitar o processo de introdução) e em seguida foram inseridos no solo, com a ajuda de uma faca (Figura 9).

Figura 9 - Esquema (A) mostrando a disposição dos conjuntos de bait lâminas e (B) mostrando os bait lâminas instaladas no solo.



Fonte: A autora.

Depois de montados os conjuntos em cada ponto, estes foram marcados e protegidos para facilitar a localização na hora da leitura e evitar que fossem danificados por descuido. A retirada foi realizada após 45 dias e a leitura foi realizada em campo, considerando como consumido quando mais de 30% da isca foi consumida.

2.5 FLUXO DE CO₂ NO SOLO

A determinação do fluxo de carbono no solo foi feita usando câmaras com analisadores de gás infravermelho (IRGA), inseridos sobre solo. Esta técnica é vantajosa, pois os fluxos podem ser medidos rapidamente (+/- 5 minutos) em cada ponto. Foram inseridos anéis de PVC de 20 cm de diâmetro e 12 de altura, fixados no solo a uma profundidade de 5 cm. A leitura foi realizada usando o equipamento Li-8100, (LI-COR, Lincoln, NE, EUA), (Figura 10) (Dias, 2006).

Figura 10 - Equipamento usado para medição de fluxo de CO₂ no solo nas áreas estudadas.



Fonte: Tatiani Pech, 2018

Foram montados os leitores (anéis de PVC) em quatro pontos de cada árvore (a 0,5 e 1m de cada lado), como mostra a Figura 11. As leituras das quantidades de carbono emitido foram realizadas de quinze em quinze dias, entre os meses de abril e maio de 2018.

Figura 11 - Suporte de PVC para os leitores de fluxo de CO₂ no solo, dispostos em torno das árvores em estudo.



Fonte: A autora

2.6 TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Foram realizadas análises quantitativas e qualitativas da macro e mesofauna, utilizado o índice de Shannon Winner (GOMES; FERREIRA, 2004), por meio da fórmula: $H' = - \sum pi(\log pi)$, onde: H' = Índice de Shannon Winner; pi = valor importância; \log = base 10. Foram também determinados o Índice de Dominância de Simpson (C), pela fórmula: $C = \sum pi^2$, onde, pi = valor de importância; o Índice de Uniformidade de Pielou (J'), através da fórmula: $J' = H' / \ln S$, onde J' = Índice de Uniformidade de Pielou, H' = Índice de Shannon e S = número de espécies. Para o Índices de Similaridade, fez-se a análise de agrupamentos pelo método UPGMA de Jaccard usando o Past. Em seguida os índices foram comparados através do teste t de Student, usando o Past.

Para a avaliar a influência da espécie arbórea e da proximidade de outras espécies vegetais sobre a atividade alimentar da fauna do solo, as características físico-químicas do solo e o fluxo de CO_2 foi realizada Análise de Variância fatorial utilizando o programa Statistica 7. Quando diferenças significativas foram detetadas, as médias foram comparadas com o teste de Tukey a 5% de significância. Para comparar os parâmetros obtidos para cada espécie arbórea quando em isolamento e quando próximas a outras arvores foi usada a anova fatorial. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Levene Test) e, não houve necessidade de transformar os dados.

3 RESULTADOS

3.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Foram encontradas diferenças estatísticas na interação entre o tratamento e a arborização, onde a EI apresentou maior valor de densidade em relação a BI, como mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Interação entre os tratamentos (espécies) e a arborização dos atributos físicos do solo (Densidade, Porosidade total, Microporosidade), nas amostras solo coletadas nas profundidades 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 15 cm, 15 – 20 cm, nas áreas de Bracatinga Isolada (BI), Bracatinga Agrupada (BA), Erva Mate Isolada (EI), Erva Mate Agrupada (EA). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha representam diferenças estatísticas entre os tratamentos, enquanto que, letras minúsculas diferentes na mesma coluna, representam diferenças estatísticas entre a arborização.

Arborização	Densidade		Porosidade Total		Microporosidade	
	Espécies		Espécies		Espécies	
	Bracatinga	Erva Mate	Bracatinga	Erva Mate	Bracatinga	Erva Mate
Agrupada	0,684Aa	0,720Ab	75,306Ba	80,289Aa	59,495Ba	71,060Aa
Isolada	0,688Ba	0,887Aa	75,410Aa	72,337Ab	63,099Ba	67,494Aa

Foram verificadas diferenças estatísticas nos valores de microporosidade do solo entre as espécies e entre as profundidades na camada. Os maiores valores de microporosidade foram encontrados nas áreas de EM, porém, apenas as camadas de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm é que apresentaram diferenças estatísticas entre as espécies. Dentro da camada, somente a EM apresentou diferenças estatísticas entre as profundidades 0 – 5 cm, 10 – 15 cm e 15 – 20 cm, como mostra a tabela 2. A interação entre a espécie e a arborização mostrou diferenças estatísticas entre as espécies, onde a EM apresentou maiores valores, e não apresentou diferenças entre a arborização.

Tabela 2 - Microporosidade do solo nas amostras solo coletadas nas profundidades 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 15 cm, 15 – 20 cm, nas áreas de Bracatinga Isolada (BI), Bracatinga Agrupada, Erva Mate Isolada (EI), Erva Mate Agrupada (EA). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha representam diferenças estatísticas entre os tratamentos, enquanto que, letras minúsculas diferentes na mesma coluna, representam diferenças estatísticas entre as camadas.

Camada	Espécies	
	Bracatinga	Erva Mate
0 - 5 cm	59,744Ba	75,505Aa
5 - 10 cm	63,208Ba	71,202Aab
10 - 15 cm	61,585Aa	64,760Ab
15 - 20 cm	60,652Aa	65,642Ab

A macroporosidade apresentou diferenças estatisticamente significativas, no que concerne a espécie e a arborização. A área de bracatinga apresentou maiores valores de macroporosidade em relação a área de Erva Mate. Em relação a arborização, as espécies quando agrupadas apresentaram maiores valores de macroporosidade em relação as espécies isoladas, como mostra a tabela 3.

Tabela 3 - Macroporosidade do solo nas amostras solo coletadas nas profundidades 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 15 cm, 15 – 20 cm, nas áreas de Bracatinga Isolada (BI), Bracatinga Agrupada, Erva Mate Isolada (EI), Erva Mate Agrupada (EA). Letras minúsculas diferentes na coluna, representam diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Tratamento	Macroporosidade
Bracatinga	14.061a
Erva Mate	7.036b
Arborização	
Agrupada	12.520a
Isolada	8.576b

3.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os valores dos parâmetros químicos, analisados em amostras coletadas próximo aos indivíduos arbóreos de cada espécie e arborização, são apresentados na Tabela 4. Apenas o fósforo e o magnésio foram influenciados significativamente pelos tratamentos.

Tabela 4 - Atributos químicos de amostras do solo, coletadas na profundidade 0 – 20 cm, nas áreas de Bracatinga Isolada (BI), Bracatinga Agrupada (BA), Erva Mate Isolada (EI), Erva Mate Agrupada (EA).

Trat.	M.O _{NS}	C.O _{NS}	P	K ^{NS}	Ca ^{NS}	Mg	AL ^{NS}	pH ^{NS} (H ₂ O)
	%		mg/dm ³					
BI	4,6±	2,67±	4,35±	91,5±	2,60±	2,08±	3,26±	4,58±
	0,72	0,42	2,35b	17,34	1,49	1,40b	1,45	0,33
BG	5,65±	3,28±	18,55±	75,25±	4,55±	4,26±	1,17±	4,98±
	0,87	0,05	5,63a	7,79	0,79	0,43a	0,60	0,19
EI	7,13±	4,28±	8,98±	73±	4,63±	3,63±	1,31±	5,28±
	3,64	2,11	12,45a	8,86	1,89	1,30b	1,2	0,43
EG	12,9±	4,8±	19,05±	67±	4,16±	4,19±	0,84±	5,03±
	8,28	1,64	9,85a	4,53	0,17	0,15a	0,17	0,08

3.3 RIQUEZA DE MACROFAUNA NOS MONÓLITOS

A partir da escavação de monólitos e triagem manual, foram coletados 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. Deste total, 108 organismos foram capturados no inverno e 101 no verão, sendo que todas os táxons foram encontrados em ambas as estações, como mostra a tabela 6. No inverno, a maior abundância de indivíduos e riqueza de espécies foi encontrada na área de Bracatinga Agrupada (BA) enquanto que no verão, a maior riqueza de espécies e abundância de indivíduos foi encontrada na área de Erva Mate Agrupada (EA). As Ordens que apresentaram maior riqueza foram Coleoptera e Hymenoptera e Orthoptera, como mostram as tabelas abaixo.

Tabela 5 - Riqueza de morfotipos de macrofauna e os respectivos Grupos coletada nos monólitos nas áreas de Bracatinga isolada (BI), Bracatinga Agrupada (BA), Erva-mate isolada (EI), e Erva-mate agrupada (EA), no inverno de 2017 e verão 2018.

Grupos	INVERNO				VERÃO			
	BI	BA	EI	EA	BI	BA	EI	EA
Araneae	0	0	1	1	0	0	1	1
Blattodea	2	1	1	2	1	1	1	1
Chilopoda	0	1	1	0	0	1	1	0
Coleoptera (adulto)	3	3	3	3	3	3	3	3
Coleoptera (larva)	3	7	6	4	4	4	6	6
Coleoptera (pupa)	1	1	1	1	0	0	0	0
Dermaptera	1	1	1	0	1	1	1	1
Diplopoda	1	1	1	1	1	1	1	1
Diptera (adulto)	1	1	1	1	0	0	1	0
Diptera (larva)	1	0	1	0	0	0	0	0
Hymenoptera	2	2	3	2	2	3	0	3
Heteroptera	2	1	0	2	0	1	0	2
Lepidoptera (adulto)	0	0	0	0	0	0	0	1
Lepidoptera (larva)	1	0	0	0	1	0	0	0
Lepidoptera (pupa)	1	1	0	1	0	0	0	0
Oligochaeta	1	5	3	0	4	1	1	3
Orthoptera	1	2	1	1	2	3	2	2
Riqueza (morfotipos)	21	27	24	19	19	19	19	24
Total grupos	14	13	13	11	9	10	10	11

3.4 RIQUEZA E ABUNDÂNCIA DE GRUPOS DE MESOFAUNA DO SOLO

A partir da coleta de anéis e extração da mesofauna no Funil de Berlese Tullgren adaptado, foram capturados no total 779 indivíduos. A maior abundância foi encontrada no final do inverno, 631 indivíduos, enquanto que a menor foi ao final do verão, 148 indivíduos, onde, 424 indivíduos encontrados no inverno e 124 no verão pertencem ao táxon Acari. Os Táxons encontrados nas duas estações foram: Thysanoptera, Collembola, Acari, Nematoda, Simphonaptera e Symphyla. A maior riqueza e abundância foram verificadas no táxon Collembola, como mostra a Tabela 6.

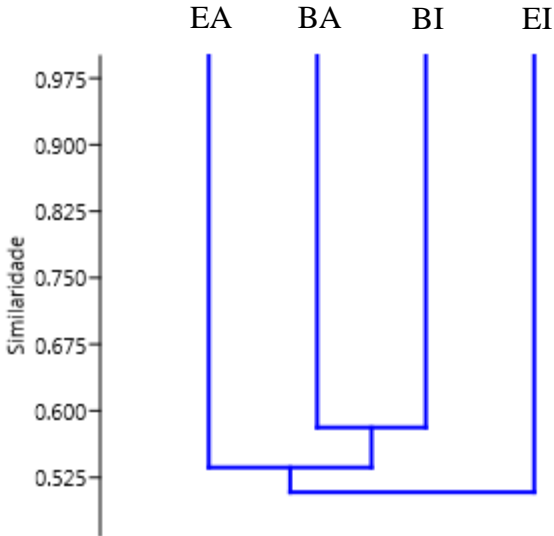
Tabela 6 - Abundância e riqueza (entre parênteses) para cada Táxon de mesofauna do solo coletada nas das áreas de Bracatinga isolada (BI), Bracatinga Agrupada (BA), Erva Mate isolada (EI), Erva Mate agrupada (EA) no inverno 2017 e verão 2018, através do método de Funil de Berlese Tullgren, seguidos dos valores de abundância e riqueza total, índice de diversidade de Shannon (H'), índice de equidade de Pielou (J) e o índice de Simpson. Letras distintas, representam diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Grupos	INVERNO				VERÃO			
	BI	BA	EI	EA	BI	BA	EI	EA
Thysanoptera	8 (1)	1 (1)	4 (1)	1 (1)	0	1 (1)	1 (1)	0
Colembola	36 (3)	9 (3)	22 (2)	13 (4)	5 (3)	2 (2)	1 (1)	7 (2)
Nematoda	0	0	1 (1)	0	0	4 (1)	1 (1)	0
Simphonaptera	3 (1)	0	3 (1)	1(1)	1 (1)	0	0	0
Symphyla	3 (1)	0	2 (1)	3 (1)	1 (1)	0	0	0
Total	47 (6)	10 (4)	32 (5)	18 (7)	7 (5)	7 (4)	3 (3)	7 (2)
H'	1,29c	0,94b	1,20c	1,73a	1,48*	1,15*	1,10*	0,68*
J'	0,72*	0,68*	0,67*	0,89*	0,92*	0,83*	1,00*	0,98*
D	0,38*	0,52*	0,44*	0,21*	0,27*	0,39*	0,33*	0,51*

*Não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos.

O índice de similaridade de Jaccard representado em um dendograma, mostrou que os sistemas BI e BA apresentaram maior similaridade entre si, enquanto o sistema EA apresentou maior similaridade em relação a BI e BA e menos similaridade em relação a EI, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Dendograma do agrupamento das espécies BI, BA, EI, EA verificado em cada sistema estudado, dado pelo Índice de similaridade de Jaccard entre as comunidades, índice de correlação cophenetic = 0,71.



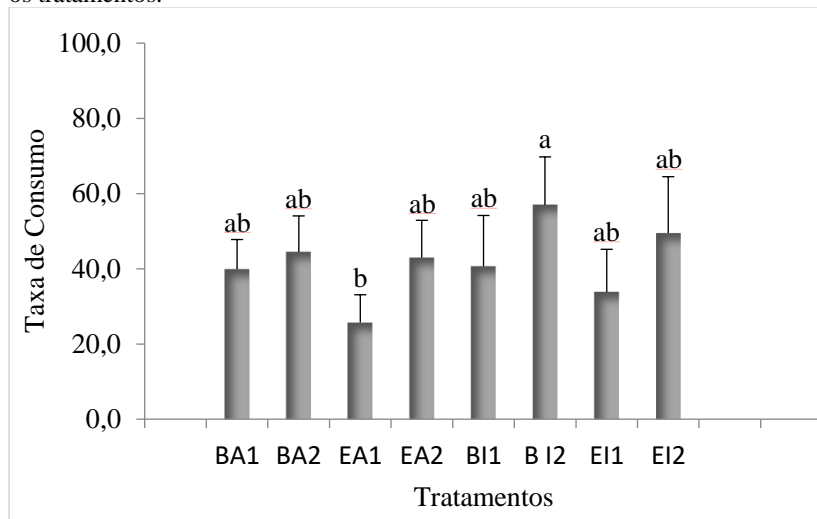
3.5 ABUNDÂNCIA DE ENQUITREÍDEOS

Os valores médios de abundância de enquitreídeos encontrados foram 21523,1 ind/m² na área de BI, 16428,9 ind/m² na área de BA, 21204,7 ind/m² na área de EI e 21905,2 ind/m² na área de EA. Embora os valores encontrados sejam diferentes, essas diferenças não são estatisticamente significativas.

3.6 ATIVIDADE ALIMENTAR DA FAUNA DO SOLO

As taxas de consumo apresentaram diferenças estatísticas nas épocas de coleta de dados. A maior taxa de consumo foi verificada na área BI, no verão e a menor taxa foi verificada na área EA, no inverno, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Atividade alimentar da fauna do solo, dada pela taxa de consumo das iscas (%), nas áreas de Bracatinga Agrupada (BA), Bracatinga Isolada (BI), Erva Mate Agrupada (EA) e Erva Mate Isolada (EI), após 45 dias de exposição durante o inverno e o verão. Letras diferentes mostram que houve diferença estatística entre os tratamentos.

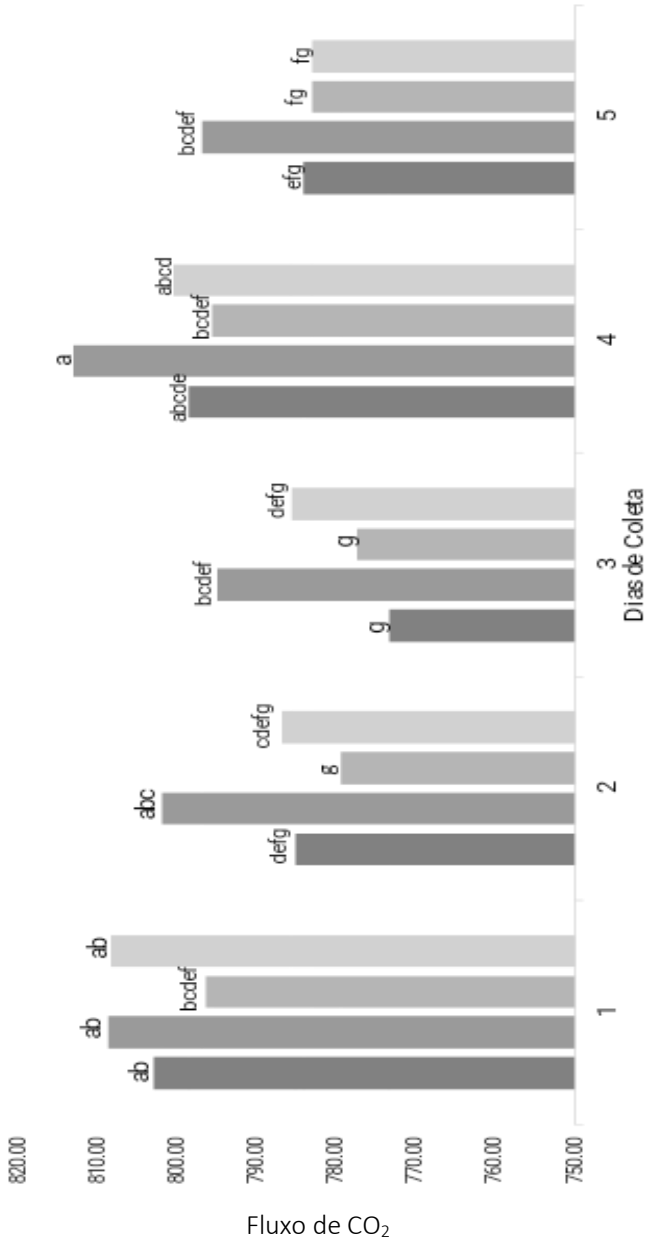


Legenda: BA1 – Bracatinga agrupada coletada no inverno, BA2 - Bracatinga agrupada coletada no verão, BI1 – Bracatinga isolada coletada no inverno, BI2 - Bracatinga isolada coletada no verão, EA1 – Erva mate agrupada coletada no inverno, EA2 – Erva mate agrupada coletada no verão, EI1 – Erva mate isolada coletada no inverno, EI2 – Erva mate isolada coletada no verão.

3.7 FLUXO DE CO₂ NO SOLO

Os resultados de fluxo de CO₂ no solo próximo às espécies arbóreas mostraram diferenças estatísticas entre as espécies, arborização, datas e na interação entre as espécies e arborização, como mostra a Figura 14. O maior valor da média de emissão foi verificado no tratamento BA no quarto dia de coleta, enquanto que, o menor valor da média de emissão foi observado no tratamento BI no terceiro dia de coleta, ambas realizadas no mês de maio de 2018.

Figura 14 - Respiração do solo, dada pelo Fluxo de Dióxido de Carbono emitido, letras diferentes indicam diferenças estatísticas.



4 DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A densidade do solo apresentou diferenças estatísticas dentro da camada, para ambas espécies, onde a média dos valores de densidade encontrados variaram de $0,59 \text{ mg/cm}^{-3}$ (na camada de 0 – 5 cm) a $0,85 \text{ mg/cm}^{-3}$ (na camada 15 – 20 cm). Tais diferenças podem ser explicadas pelas quantidades e pela distribuição de matéria orgânica no solo, que diminui com a profundidade, aumentando assim a densidade do solo. BARBOSA et al. (2017), estudando os atributos físico-hídricos neste mesmo SAF em 2015, encontraram valores de densidade que variaram de $0,74 \text{ mg/cm}^{-3}$ a $0,86 \text{ mg/cm}^{-3}$ na camada de 0 – 5 cm. As comparações destes resultados com os do presente estudo demonstram que houve redução dos valores da densidade do solo. Essa redução pode ser explicada pela incorporação de material vegetal originado pelas árvores e pela cobertura vegetal verde realizada na área, no período entre os dois estudos. Geralmente, a diminuição da densidade do solo leva ao aumento da porosidade, tendo como consequência imediata o aumento da circulação do ar e na capacidade de infiltração e circulação da água no solo (DA SILVA, 2015). No presente estudo foram encontrados valores de porosidade total que variaram entre 72,34% a 80,29% e macroporosidade que variaram entre 7,04% e 14,06%, valores similares foram encontrados por CAMARGO, (2016), nas camadas superficiais do solo, em SAFs, sendo superiores a outras formas de uso do solo. O mesmo autor atribui altos valores de porosidade nas camadas superiores do solo a altos teores de matéria orgânica e a proteção vegetal do solo que contribui para melhoria da estrutura do solo.

4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Em geral, a análise estatística de cada parâmetro não apresentou diferenças entre as espécies em estudo ou o grau de arborização, exceto para P e Mg, cuja análise apontou que o grau de arborização influenciou nos resultados. Embora não tenham sido percebidas as diferenças, notou-se que houve alteração positiva dos atributos químicos do solo, quando comparas aos resultados obtidos em anos anteriores. BARBOSA et al. (2016), estudando eletroquímica e carbono orgânico do mesmo sistema agroflorestal, obteve valores de pH que variaram de 3,54 a 3,75, menores aos encontrados no presente estudo, que variaram de 4,58 a 5,28, mostrando um aumento do mesmo ao longo do tempo. Estas diferenças

podem ter se dado em função do Manejo adotado na área nos últimos dois anos, o qual consistiu entre outras ações a calagem (com aplicação a lanço) da área.

IWATA et al. (2012), estudando os sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense, constatou que a adoção de SAFs levou ao aumento dos valores de pH do solo em estudo, que apresentava caráter ácido, salientou que esses sistemas promovem o aumento do pH ao longo do tempo e relacionou essa ação a maior disponibilidade da matéria orgânica no solo. A aplicação de calcário para a correção da acidez do solo, em diferentes sistemas de cultivo condiciona o aumento do pH (ZALAMENA, 2008 e CAMARGO, 2016).

Os valores de alumínio encontrados variaram de 3,26 a 0,84, mostrando-se inferiores aos obtidos por BARBOSA et al. 2016, que encontrou valores que variaram de 6,5 a 5,5, resultados que corroboram aos obtidos por IWATA et al. (2012), onde destacou que os teores de Al^{+3} foram menores nos SAFs mais longevos, especialmente nas camadas superficiais, motivados pelo efeito da matéria orgânica no solo sobre o alumínio livre em solução.

Tanto nas áreas de BA como nas áreas de EA, foram verificados maiores valores de Ca, Mg e K, quando comparados aos obtidos por BARBOSA et al. 2016, podendo ser explicados pela presença de diversidade de espécies e o plantio de culturas agrícolas anuais no inverno (na área de BA). IWATA et al. (2012), verificou teores de Ca, Mg e K, altos em solos sob SAFs em relação as outras formas de uso do solo, podendo estar relacionados a presença de diversidade de espécies arbóreas que garantem a deposição de material vegetal que, através da atividade de decomposição realizada pela biota do solo, influenciam nas reações químicas no solo. Por outro lado, ZALAMENA (2008), encontrou altos valores de Ca, Mg e K, principalmente nas camadas superficiais (até 10 cm de profundidade), em áreas de plantio direto, de culturas agrícolas anuais com aplicação de calcário. Resultados similares foram encontrados por SOUZA e ALVES (2003), que explicam esses valores pela decomposição de resíduos e reciclagem do cálcio.

4.3 RIQUEZA DA MACROFAUNA NOS MONÓLITOS

A macrofauna do solo é vista como um importante indicador para monitorar a qualidade do solo, por apresentarem sensibilidade às mudanças físicas, químicas e biológicas do ambiente, resultantes de diferentes formas de uso e manejo do solo (BARRETA et al., 2011).

Ocupam variados níveis tróficos na cadeia alimentar do solo, desempenhando papel fundamental no funcionamento do ecossistema e contribuem direta e indiretamente para a produção primária (SILVA et al., 2006).

Ademais cada grupo apresenta diferente comportamento, como ilustrado pelas aranhas que tanto na coleta de verão quanto na de inverno, sempre estiveram associadas apenas às árvores de erva-mate. A presença destes organismos é um bom indicativo, uma vez que desempenham papel importante como predadores na regulação das populações de fauna do solo, e o seu padrão de distribuição na área pode estar relacionado a maior disponibilidade de presas na superfície do solo, ou um micro-habitat mais adequado para a formação de teias (BARETTA et al., 2007). Como o método do monólito não é voltado para a análise de abundância de todos os grupos, e sim para o registro de presença e ausência de táxons e morfotipos, não foi possível estimar a abundância total da macrofauna e mesofauna presente na superfície do solo. Para determinar tais valores, o uso de armadilhas *pitfall* poderia ser o mais indicado. Este método não foi considerado no presente trabalho devido à proximidade entre as árvores estudadas (presentes em um mesmo SAF), já que a movimentação da fauna na superfície do solo poderia não permitir a discriminação entre as espécies em um ambiente tão próximo.

As formigas foram encontradas em todos os sistemas estudados, porém não foram coletadas em duas épocas, tal fato pode ser explicado pela composição de espécies do sistema. PEREIRA et al., (2007), constataram que a riqueza de formigas, é maior em ambientes complexos e bem estruturados e com diversidade de nichos ecológicos, principalmente em áreas onde predominam espécies nativas, sendo utilizadas como indicador para monitoria de áreas perturbadas.

Foi verificada a presença de cupins apenas no inverno, nas áreas de BI e EA. Embora o trabalho não estivesse focado para encontrar a abundância desta ordem, foi possível verificar que a mesma foi baixa, o que pode estar relacionado as melhorias das condições do solo. Os cupins podem ser encontrados em áreas degradadas onde há pouca disponibilidade de recursos alimentares, habitam frequentemente as camadas superiores do solo, em geral os primeiros 10 cm (SILVA et al., 2006). São usados como indicadores de áreas perturbadas bem como de áreas com contaminação química (BANDEIRA et al., 2003 e WINK et al., 2005).

4.4 RIQUEZA E ABUNDÂNCIA DE GRUPOS DE MESOFAUNA DO SOLO

Os maiores valores de riqueza e abundância registrados ao final do inverno estiveram associados a indivíduos de BI. A menor abundância de indivíduos foi registrada para BA, e a menor riqueza de espécies para EI. O táxon Collembola apresentou a maior riqueza e abundância. O táxon Acari apresentou maior abundância, mas, devido a complexidade na identificação, não foi possível a separação em morfotipos.

Os dados de riqueza e abundância se refletem nos índices calculados para os tratamentos em estudo. O maior valor do índice de diversidade de Shannon (H') foi encontrado para EA, enquanto que o menor foi para BA apresentando diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$, teste de t) entre os tratamentos. Do mesmo modo, tanto o maior valor do índice de uniformidade de Pielou (J'), indicando equilíbrio na distribuição das abundâncias entre as espécies, foi registrado para EA, enquanto que o menor valor de J' foi registrado para EI. Os valores de dominância foram baixos para todos os tratamentos em questão, por estarem mais próximos de zero (sem dominância) do que de 1 (dominância total), os mesmos, não apresentaram diferenças significativas entre as espécies em estudo.

Os resultados mostraram maiores valores da riqueza total, abundância total bem como dos índices avaliados no inverno em relação ao verão, em todas as áreas estudadas. Resultados similares foram encontrados por CORREIA DA SILVA, (2006), quando estudava os indicadores do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ.

4.5 ABUNDÂNCIA DE ENQUITRÉÍDEOS

Os valores médios de abundância de enquitréídeos encontrados foram 21523,1 ind/m² na área de BI, 16428,9 ind/m² na área de BA, 21204,7 ind/m² na área de EI e 21905,2 ind/m² na área de EA. No mesmo sistema foi encontrada uma abundância de até 22131,66 ind/m² (FOCKINK et al. 2016), essa diferença pode ter sido observada pela diferença no período de coleta, uma vez que os dois estudos foram realizados em estações do ano diferentes. Estudos realizados por NIVA et al. 2015, amostraram até 12.667 ind/ m² em um fragmento de floresta ombrófila mista no estado do Paraná.

Por ser uma área em recuperação, a maior abundancia de enquitréídeos nas áreas estudadas pode ser indicativo de melhoria da qualidade do solo. ASSIS et al. (2015) e ALEXANDRE et al. (2018),

constataram que, os enquitreídeos são sensíveis as atividades antrópicas realizadas no solo, especialmente em sistemas convencionais onde o solo sofre constantes perturbações e a sua abundância tende a ser maior em solos não perturbados.

4.6 ATIVIDADE ALIMENTAR DA FAUNA DO SOLO

O grande potencial para formação de cadeias tróficas, rusticidade, altas taxas de incremento e nitrogeneração do solo, conferem a Bracatinga um grande potencial para a recuperação de áreas degradadas (KAGEYAMA e REIS, 2003), através da promoção da vida dos organismos edáficos (POGGIANI et al., 1987). Em comparação a outras espécies usadas na recuperação de áreas degradadas no Brasil, as deposições de matéria orgânica e de nitrogênio pela bracatinga são consideradas elevadas (EMBRAPA, 1988). Segundo os autores, isto pode ser explicado pela deposição elevada de matéria orgânica e pela simbiose com *Rhizobium*. Em São Mateus do Sul (Paraná), em áreas mineradas em recuperação, a deposição de folheto pela bracatinga (com 3,5 a 4,5 anos de idade), foi de 6.300 kg/ha. A deposição mais acentuada se dá em meses quentes e chuvosos do verão, o que poderia explicar a maior atividade da fauna ao final do verão, observada no presente trabalho.

A questão da queda de folhas, e assim, do incremento de material orgânico no solo, pode influenciar positivamente a comunidade de fauna associada às espécies arbóreas (MANSOURIAN et al. 2005). Sobre as espécies em estudo, enquanto a bracatinga apresenta folhas decíduas, a erva-mate é uma espécie perene não caducifólia. Em campo, pôde ser constatada visualmente a rápida decomposição do folheto da bracatinga. O mesmo foi observado por EMBRAPA (1988) e, segundo os autores, isto é decorrente da elevada concentração de N (cerca de 2%) nas folhas decíduas.

Apesar de se tratar de uma espécie perene com menor contribuição de folheto quando comparada à bracatinga, a contribuição da erva-mate para a biodiversidade no solo pode estar associada às relações ecológicas ao nível das raízes. Trabalhos recentes têm discutido a presença de espécies de micorrizas associadas à erva-mate (BERGOTTINI et al., 2017; SILVANA et al., 2018) e as vantagens do uso desta espécie em consórcio com outras arbóreas (ILANY et al., 2010; OLIVEIRA E CARVALHAES, 2016). O trabalho de BERGOTTINI et al. (2018) registrou bactérias promotoras de crescimento em erva-mate, inclusive do gênero *Rhizobium*, e apontou que a frequência de colonização por micorrizas nesta espécie é favorecida em áreas degradadas. Estas podem

ser explicações para termos observado padrões de biodiversidade e de atividade alimentar da fauna do solo semelhantes à bracatinga no presente estudo.

4.7 FLUXO DE CO₂ NO SOLO

Foram encontradas diferenças estatísticas entres as espécies na segunda, terceira e quarta coletas, realizadas nos meses de abril e maio, onde o tratamento BA apresentou maior fluxo de CO₂, tal facto pode ser explicado pela maior quantidade de matéria orgânica depositada no solo por essa espécie em relação a erva mate. Quando comparadas as emissões nos diferentes dias de coletas, notou-se uma diminuição do fluxo do mês de abril ao mês de maio, seguida de um aumento e diminuição da emissão em todos os tratamentos.

CORREIA DA SILVA, (2006), constatou que no SAF que apresentou maior deposição de matéria orgânica e maior estoque de serapilheira, houve um aumento significativo das emissões de CO₂ do inverno para o verão. Segundo DIAS (2006), geralmente a liberação do maior fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera acontece na estação chuvosa, tendo como principais fatores que influenciam na produção a temperatura e umidade do solo.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo buscou avaliar a influência das espécies arbóreas *M. scabrella* e *I. paraguariensis* sobre a diversidade e a atividade alimentar da fauna de solo em um sistema agroflorestal, avaliando também se haveria diferenças entre a qualidade do solo em termos químicos e físicos próximo a indivíduos destas espécies.

Os indivíduos de bracatinga isolada contribuíram significativamente para maiores valores de diversidade de mesofauna edáfica ao final do inverno, porém não foram observadas diferenças entre as espécies arbóreas e tipo de arborização ao final do verão. Também maiores valores de uniformidade e menores valores de dominância foram associados às bracatingas isoladas, diferindo significativamente das erva-mates agrupadas. Apesar das diferenças na comunidade de mesofauna, não foram observadas diferenças para macrofauna e atividade alimentar da fauna edáfica entre as espécies neste estágio do SAF. Também as análises químicas não apresentaram diferenças na qualidade do solo próximo aos indivíduos estudados.

Já em relação à porosidade total e microporosidade, destacou-se a erva-mate, e tal contribuição foi significativa nos primeiros 10 cm, podendo estar associada a fatores como atividade de raízes finas ou atividade microbiológica, já que tais diferenças não foram associadas à macro e mesofauna. Já em relação à macroporosidade, a maior contribuição foi verificada na área de *M. scabrella*.

Assim, pode-se concluir que as espécies *I. paraguariensis* e *M. scabrella* contribuem de forma diferente para a diversidade de fauna edáfica e para atributos físicos do solo, o que foi constatado para mesofauna e para porosidade. Devido ao fato de que o SAF em estudo se tratar de uma área em recuperação, não se pode descartar que com o tempo possam ser observadas diferenças significativas entre as espécies para outros parâmetros, à medida em que os processos ecossistêmicos sejam recuperados.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J.M. INGRAM, J.S. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods.** 2 ed., CAB International, Wallington, UK, 1993. 256 p.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. **Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano** Texto para Discussão. IE / UNICAMP. 2009.
- AQUINO, A. M. de. Fauna do Solo e sua Inserção na Regulação Funcional do Agroecossistema. IN: AQUINO, A. M. de.; ASSIS, R. L. de (EDS). **Processos biológicos no Sistema solo- planta: ferramentas para uma agricultura sustentável.** Brasília, DF: Embrapa, Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa: Agrobiologia. p. 47–76, 2006.
- AQUINO, A. M. de; FERNANDES, M. E; BADEJO, M.A. **Amostragem da Mesofauna Edáfica utilizando Funis de Berlese-Tüllgren Modificado.** Rio de Janeiro. Seropédica: Embrapa: Agrobiologia, Dezembro, 2006. 4p. (Circular técnica, 17).
- AQUINO, A.M. **Manual para macrofauna do solo.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, maio 2001. 21p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 130).
- BANDEIRA, A.G.; VASCONCELOS, A.; SILVA, M. & CONSTANTINO, R. Effects of habitat disturbance on the termite fauna in a highland tropical Forest in the Caatinga Domain, Brazil. **Sociobiology**, 42:117-127, 2003.
- BARBOSA, J. S.; CARDUCCI, C. E.; KOHN, L. S.; SILVA, K. C. R.; DA SILVA, E. A; SANTOS, K. L. Eletroquímica E Carbono Orgânico De Um Cambissolo Húmico No Planalto Catarinense Sob Sistema Agroflorestal. **REVISTA SCIENTIA AGRARIA. SA.** vol. 17 n°. 2 Curitiba. 2016 p. 49-56
- 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 (Floram).** v. 8087, pág. 9. 2017.

BARBOSA, R. V. R. **Áreas Verdes e Qualidade Térmica em Ambientes Urbanos: Estudo em Microclimas de Maceió (AL)**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

BARETTA, D et al. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região Oeste Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v. 2, n. 2, 2003.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; FILHO, L. C. I. O.; ALVEZ, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.7, n.1, p.119-170, 2011.

BARRIOS, E.; SILESHI, G. W.; SHERPHERD, K.; SINCLAIR, F. (2013). **Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services**. Pág. 315-328. IN: Wall, D. H.(EDS). *Soil Ecology and Ecosystem Services*. Oxforde University Press.

BASSO, S.; LANGA, R.; JÚNIOR, U. R.; TRES, D. R.; SCARIOT, E. C.; REIS, A. Introdução de *Mimosa scabrella* Bentham em Áreas Ciliares através da Transposição de Amostras de Solo. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 684-686, jul. 2007.

BERGOTTINI, V. M.; HERVÉ, V.; SOSA, D. A.; OTEGUI, M. B.; ZAPATA, P. D.; JUNIER, P. EXPLORING the diversity of the root-associated microbiome of *Ilex paraguariensis* St. Hil. (Yerba Mate). **Applied Soil Ecology** 109 (2017) 23–31.

BORROR, D. J.; WHITE, R. E. A Field Guide to **Insects, America north of Mexico**. Houghton Mifflin Company. Boston. New York. Sd.

BRAGA, D. P. P. **Sistemas agroflorestais com cacau para recuperação de áreas degradadas, em São Félix do Xingu – PA**. 2015. 211 f. Dissertação (Mestrado em Ecossistemas Florestais). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, SP São Félix do Xingu – PA. 2015.

BRAGA, R. F.; KORASAKI, V; MORAIS, J. W. (2013). Macrofauna. Pág. 121-126. IN: CARES, J. E.; MOREIRA, FÁTIMA M.S.; STÜRMER, SIDNEY L. (EDS). **O Ecossistema do Solo**. Lavras: Ed UFLA.

BROWN, G. G.; DOMÍNGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas – o 3º encontro latino americano de ecologia e taxonomia de oligoquetas (elaetao3). **Acta Zoológica Mexicana (n.s.)**. Número Especial, p. 18, 2010.

CAMARGO, F. F. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental Serra da Mantiqueira, MG**. 241p. Universidade Federal de Lavras – Lavras: 2016.

CARES, J. E.; MOREIRA, F. M. S.; STÜRMER, S. L.; ZANETTI, R. B. (2013). **O Ecossistema do Solo. Componentes, Relações Ecológicas e Efeitos na Produção Vegetal**. Pag. 15 IN: CARES, J. E.; MOREIRA, F. M. S.; STÜRMER, S. L. (EDS). **O Ecossistema do Solo. Componentes, Relações Ecológicas e Efeitos na Produção Vegetal**. Lavras: Ed UFLA.

CARVALHO, P. R. E. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Embrapa: Informação Tecnológica. Colombo, Paraná. Embrapa Florestas. 2003.

CHITSONDZO, C. C. E.; SILVA, I. C. Quintais caseiros em Machipanda, distrito de Manica, Moçambique. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 33, p. 127–135, 2013.

Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. III, 2012, Goiania. SOUZA, A. A. DE. **Recuperação De Áreas Degradadas Via Implantação De Sistemas Agroflorestais No Município De Colorado Do Oeste - RO**. IBEAS (Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais). p. 1–5.

Congresso Latino-americano de Sistemas Agroflorestais para a Produção Pecuária Sustentável. VII, 2012. Belém do Pará. RICHTER, A. S.; SCARPETTA, L.; RADOMSKI, M. I.; RICHTER, E. M. **Contribuição da Bracatinga (*Mimosa Scabrella*) para a Produção de Serapilheira em Sistema Silvipastoril Agroecológico**. UFPA, Issn 2238-457x. p. 1–4.

CORRÊA DA SILVA, Miguel Seabra. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ**. Seropédica: UFRRJ, 2006. 54p. (Dissertação, Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo).

DA SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; CAVALIERI, K. M. V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M.; PARRON, L. M.; CHEROBIM, V. F.; MARIOTI, J.; NETO, H. F. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. Pag. 71. IN: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. DE BROWN, G. B.; PRADO, R. B. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica - livro**. Editores Técnicos. Brasília, DF; Embrapa, 2015.

DA SILVA, D. A. A., DA SILVA, D. M. JACQUES, R. J. S., ANTONIOLLI, Z. I. Bioindicadores de Qualidade Edáfica em Diferentes Usos do Solo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22.

DA SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa solos, Embrapa informática Agropecuária; Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1998. 370 p.

DE ALMEIDA, B. G., DE FREITAS, P. L., TEXEIRA, W. G., VIANA, J. H. M., DONAGEMMA, G. K. Porosidade. Pag. 82. IN: TEXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K. FONTANA, A. TEXEIRA, W. G. (EDS). **Manual de métodos de análises do solo**. 3ª Edição Revista e Ampliada. Embrapa, 2017¹.

DE ALMEIDA, B. G., VIANA, J. H. M., TEXEIRA, W. G., DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. Pag. 82. IN: TEXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K. FONTANA, A. TEXEIRA, W. G. (EDS). **Manual de métodos de análises do solo**. 3ª Edição Revista e Ampliada. Embrapa, 2017².

DIAS, J. D. **Fluxo de CO₂ provenientes da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Ecologia de Agroecossistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

DUTRA, D. C. A. **Auditoria Interna no Sistema de Gestão Ambiental – NBR ISO 14001: Um Estudo de Caso**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Curitiba, PR. **Manual técnico da bracatinga (Mimosa scabrella Benth)**. Antônio Aparecido Carpanezi e outros. Curitiba, 1988. 70p. (EMBRAPA. CNPF. Documentos, 20).

FÁVERO, C.; LOVO, I. C.; MENDONÇA, E. S. Recuperação de Área Degradada com Sistema Agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.861-868, 2008.

GOMES, A. S.; FERREIRA, S. P. Análise de Dados Ecológicos. **Apostila**. Universidade Federal Fluminense, Niterói. v. 13, n. 2, p. 316–22, 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. 2017**. Sistema *IBGE* de Recuperação Automática – *Sidra*. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289>. Acessado em: 23 de outubro de 2018.

ILANY, T.; ASHTON, M. S.; MONTAGNINI, F.; MARTINEZ, C. Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. **Agroforest Syst.** 80:399–409. 2010

International Conference SOIL AND COMPOST ECO-BIOLOGY, I. 2014. León – Spain. BREURE, A. M. **Soil biodiversity: measurements, indicators, threats and soil functions**. September 15th – 17th 2004.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.7, p.730–738. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. 2012.

KAGEYAMA, P. Y; REIS, A. (2003). Restauração de Áreas Degradadas Utilizando Interações Interespecíficas. Pag. 92-110. IN: ENGEL, V. L; GANDARA, F. B; KAGEYAMA, P. Y; MORAES, L. F. D de. **Restauração ecológica de Sistemas Naturais** (EDS). Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais - FEPAF. Botucatu - SP.

KORBOULEWSKY, N.; PEREZ, G.; CHAUVAT, M. How tree diversity affects soil fauna diversity: A review. **Soil Biology & Biochemistry**. 94 (2016) 94 e106, 2015.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology** 42. S3–S15. p. 2–15, 2006.

MANHÃES, C. M. C.; **Caracterização da fauna edáfica de diferentes coberturas vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil**. 54f. 2011. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense.

MANSOURIAN, S.; VALLAURI, D.; DUDLEY, N.; (EDS). (in cooperation with WWF International). **Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees**, Springer, New York. 2005.

MUSSO, C. et al. Biological activity in Cerrado soils: evaluation of vegetation, fire and seasonality effects using the “bait-lamina test”. **Plant and Soil**, v. 383, n. 1–2, p. 49–58, 2014.

NARDELE, M.; CONDE, I. Sistemas Agroflorestais. **Apostila**. p. 1–9, 2005. Disponível em: biowit.files.wordpress.com/2010/11/apostila-agroflorest.pdf.

NIVA, C. C. *et al.* Enchytraeid abundance in Araucaria Mixed Forest determined by cold and hot wet extraction. **Brazilian Journal of Biology**, v.75, n.4, p.169-175, 2015.

OLIVEIRA, E. M.; CEZAR, R. M.; ZAGATTO, M.; FONSECA, P. M.; BROWN, G. G.; Avaliação da Macrofauna Edáfica Sob Dois Métodos de Coleta – Triagem Manual e Armadilhas de Queda em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista. v. 3, n. 1, p. 1–6, 2012.

OLIVEIRA, R. E.; CARVALHAES, M.A. Agroforestry as a tool for restoration in Atlantic Forest: can we find multi-purpose species? **Oecologia Australis** 20 (4): 425-435, 2016.

ORGIAZZI, A.; BARDGETT, R. D.; BARRIOS, E.; BEHAN-PELLETIR, V.; BRIONES, M. J. I.; CHOTTE, J-L.; DE DEYN, G. B.;

EGGLRTON, P.; FIERER, N.; FRASER, T.; HEDLUND, K.; JEFFERY, S.; JOHNSON, N. C.; JONES, A.; KANDELER, E.; KANEKO, N.; LAVELLE, P.; LEMANCEAU, P. MIKO, L.; MONTANARELA, L.; MORREIRA, F. M. S.; RAMIREZ, K. S.; SCHEU, S.; SINGH, B. K.; SIX, J.; VAN DER PUTTEN, W. H.; WALL, D. H.; (Eds) 2016. **Global Soil Biodiversity Atlas**. European Commission, Publicationsoffice of the European Union, Luxemburgo. 176 pp.

PEREIRA, M.P.S.; QUEIROZ, J.M.; VALCARCEL, R. & MAYHÉ-NUNES, A.J. Fauna de formigas como ferramenta para monitoramento de área de mineração reabilitada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ. **Ciência Florestal**, 17:197-204, 2007.

RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; DE CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Ribeirão Preto. Holos Editora. 2012.

Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, XII. 2018, Xanxerê, Santa Catarina. ALEXANDRE, D.; MACHADO, J. S.; KRAFT, E.; GOULART, M. M.; FILHO, O. K. **Diversidade de enquitreídeos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense**.

PAULA, R. C. DE; PAULA, N. F. DE. (2003). Sistemas Agroflorestais. **Manejo e recuperação florestal**, p. 180. IN: VALERI, S.V.; POLITANO, W; SENO, K.C.A.; BARRETO, A.L.N.M.(EDS). **Manejo e recuperação florestal**. Jaboticabal, Funep.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. DEBROWN, G. B.; PRADO, R. B. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica - livro**. Editores Técnicos. Brasília, DF; Embrapa, 2015.

POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO JÚNIOR, E. et al. Quantificação da deposição de folheto em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados numa área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **IPEF**, Piracicaba, n.37, p.21-29, dez. 1987.

RIBEIRO, A.; MACHADO, S. do A. Avaliação Econômica dos Benefícios dos Macronutrientes em Diferentes Povoamentos de Bracatinga. **Floresta e Ambiente**. p. 9. 2012.

SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; DE GASPER, A. L. **Considerações finais sobre a Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina.** IN: VIBRANS, A.C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A.L. DE; LINGNER, D.V. (EDS). **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol. III, Floresta Ombrófila Mista.** Blumenau. Edifurb. 2013.

SILVA, J.; JUCKSCH, I.; MAIA, C. I.; ALMEIDA FERESIE RODRIGO DE CASTRO TAVARES, A. F. R. C. Soil faunal in management systems with coffee. **Journal of Biotechnology and Biodiversity. Biotec. Biodivers.** v. 3, N.2: pp. 59-71, May. 2012.

SILVA, R.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. & GUIMARÃES, M.F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado. **Pesq. Agropec. Brasil.** Brasília, 41:697-704. 2006.

SILVANA, V. M.; CARLOS, F. J.; LUCÍA, A. C.; NATALIA, A.; MARTA, C. Colonization dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in *Ilex paraguariensis* crops: Seasonality and influence of management practices. **Journal of King Saud University – Science,** 2018, *in press*.

SIMINSKI, A. **Formações florestais secundárias como recurso para o desenvolvimento rural e a conservação ambiental no litoral de Santa Catarina.** 103f. Dissertação (Mestrado em Programa Recursos Genéticos Vegetais). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de pos Graduação em Recursos Genéticos Vegetais. 2004.

SIMINSKI, A.; DOS SANTOS, K. L.; WENDT, J. G. N. Rescuing agroforestry as strategy for agriculture in Southern Brazil. **Journal of Forestry Research,** v. 27, n. 4, p. 739–746, 2016.

Simpósio Florestal Catarinense, XII. 2016. Lages, Santa Catarina. FOCKINK, G.D.; PECH, T. M.; SILVA, M.; NIVA, C.C.; BARTZ, M. L. C.; NIEMEYER, J. C. **Riqueza e abundância de espécies de minhocas e abundância de enquitreídeos em sistemas agroflorestais na UFSC, Campus de Curitibaanos.** Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

Simpósio Florestal Catarinense, XII. 2016. Lages, Santa Catarina. PECH, T. M.; FOCKINK, G.D.; SILVA, M.; SIMINSKI, A.; SANTOS, K. C.;

NIEMEYER, J. C. **Avaliação preliminar da atividade alimentar da fauna do solo em sistemas agroflorestais no município de Curitiba, SC.** Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 1, p.133-139. 2003.

STAPE, J. L. *Mimosa scabrella*. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais IPEF**. p. 4-7, 2017.

VICENTE, N. M. DE F.; CURTINHAS, J. N.; PEREZ, A. L.; PREZOTTI, L. Fauna Edáfica Auxiliando a Recuperação de Áreas Degradadas do Córrego Brejaúba, MG. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 2, p. 104-110, 2010.

VON TORNE, E. Assessing feeding activities of soil-living animals. I. Bait-lamina tests. **Pedobiologia**, v. 34, v.2, 1990.

WARDLE, D.; KLIRONOMOS, J.; WALL, D. H. Ecological Linkages Between Aboveground and Belowground Biota. *Science*, v. 304, n. 5677, p. 1629-1633, jun. 2004.

WINK, C.; GUEDES, J.V.C.; FAGUNDES, C.K. & ROVEDDER, A.P. Insetos edáficos como indicadores de qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agro veterinária**. Lages, v.4, n.1, p. 60-71, 2005.

WOLF, R.; PEREIRA, W. G. Análise Econômica Da Evolução Histórica Da Erva-Mate Em Mato Grosso Do Sul. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá (PR)**. v. 8 n. 1 p. 57-78. 2015.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto-RS**. 79 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Santa Maria, 2008.

ZAMPIER, A. C. **Avaliação dos níveis de nutrientes, cafeína e taninos após adubação mineral e orgânica, e sua relação com a produtividade na erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St Hil.)**. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. 2001.