

DANIELLE CRISTINA ORTIZ

**DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA EM SISTEMAS FLORESTAIS E AGRÍCOLAS
NO SUL DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal

Orientador: Dr. Dilmar Baretta
Co-orientador: Dr. Jean Alberto Sampietro

LAGES, SC

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Ortiz, Danielle Cristina
DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA EM SISTEMAS
FLORESTAIS E AGRÍCOLAS NO SUL DE SANTA
CATARINA / Danielle Cristina Ortiz.- Lages, 2017.
112 p.

Orientador: Dilmar Baretta
Co-orientador: Jean Alberto Sampietro
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2017.

1. morfotipos de collembola. 2. bioindicadores.
3. qualidade do solo. 4. mesofauna edáfica. I.
Baretta, Dilmar. II. Sampietro, Jean Alberto. ,
.III. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

DANIELLE CRISTINA ORTIZ

**DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA EM SISTEMAS FLORESTAIS E AGRÍCOLAS
NO SUL DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Dilmar Baretta
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro:

Prof. Dra. Júlia Carina Niemeyer
Universidade Federal de Santa Catarina– UFSC

Membro:

Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Suplente:

Prof. Dr. Luís Carlos Iuñes de Oliveira Filho
Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC

Lages, SC 21 de dezembro de 2017

DEDICATÓRIA

A minha mãe Maria, eternas saudades (*in memoriam*).

Ao meu filho Francisco, que ainda não nasceu, mas que me transmite força.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre iluminar meu caminho, sobretudo, durante esta jornada, segurar em minhas mãos em todos os momentos difíceis, me dar força e coragem para continuar e me trazer paz nos momentos de tribulações.

À minha família, que é a base de tudo em minha vida, que sempre me apoiou e não mediu esforços para que eu chegasse até aqui. À minha mãe Maria, que a pouco tempo deixou seu corpo físico e foi viver no céu, que durante vida foi sempre dedicada, amorosa e paciente, e que hoje é meu exemplo de força e coragem e que sempre acreditou em mim mais do que eu mesma. Ao meu Pai José e meu irmão Júlio, pelo apoio, incentivo e presença em todos os momentos. Ao meu namorado Fábio T. Vendruscolo, por todo carinho, paciência, amor, cuidado e compreensão, por estar ao meu lado em todos os momentos, principalmente nos ruins. Ao meu filho Francisco, que ainda não nasceu, mas que tenho um amor incondicional e aguardo ansiosa e feliz pela chegada.

Aos meus amigos, aqueles que compartilhei alegrias e tristezas. Em especial a Sibila Grigolo, Amanda Lima, Ângela Ramos, Aline Santos, Josieli Biasi, Daniela Tomazelli e Andrei de Souza, pelo companheirismo, incentivo e apoio, amizades que nasceram durante o mestrado e que vão seguir para a vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Dilmar Baretta, que aceitou fazer parte do meu aprendizado durante a caminhada do mestrado, que foi essencial para a conclusão do trabalho e do meu crescimento profissional.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Jean Alberto Sampietro, pelas sugestões e contribuições ao trabalho.

À todos os colegas do laboratório de Ecologia do Solo, pelas dicas, conversas e experiências vividas durante o mestrado e principalmente ao coordenador do laboratório Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho, por me acolher, dar apoio, incentivo e auxílio durante toda a jornada.

À Marcielli Ap. Borges dos Santos, por ter sido de grande importância no meu trabalho de mestrado, ter me ensinado a realizar a morfotipagem com os colêmbolos, tirar minhas dúvidas e me socorrer em todos os momentos que precisei, incluindo análise de dados até conversas pessoais e desabafos.

À Pamela Niederauer Pompeo pelos ensinamentos, conversas e auxílio durante todo o mestrado.

Ao Dr. Luís Carlos Iuñes Oliveira Filho, pelos auxílios e ensinamentos com os dados e sugestões realizadas para enriquecer o trabalho.

À Prof. Dr. Júlia Carina Niemeyer que teve e tem um papel fundamental durante minha vida acadêmica e vem servindo de exemplo profissional e pessoal desde a graduação. Obrigada pela paciência, confiança, amizade, conselhos, ensinamentos e incentivo.

À todos os professores e colaboradores da Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias (UDESC/CAV), em especial ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de realizar o mestrado acadêmico.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) edital 47/2010 (SisBiota Processo CNPq 563251/2010-7) e a FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina), pela concessão de financiamento ao projeto SisBIOTA (Processo 6.309/2011-6). A FAPESC (edital 05/2015), pela concessão de bolsa de mestrado. Ao coordenador do projeto Dilmar Baretta (CEO/UDESC), ao vice-coordenador Osmar Klauberg Filho (CAV/UDESC), a toda a equipe de trabalho que contribuíram com as coletas e análises e aos proprietários das áreas utilizadas no estudo.

"O papel dos infinitamente pequenos é infinitamente grande".

(Louis Pasteur).

RESUMO

As atividades humanas, mediante as práticas agrícolas e florestais têm prejudicado e causado uma diminuição nos níveis de biodiversidade, principalmente quando se trata dos organismos edáficos, como exemplo, os colêmbolos. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de sistemas de uso do solo sobre diversidade morfológica de colêmbolos, bem como a sua relação com os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo. O estudo foi realizado na região Sul Catarinense, nos municípios de Orleans, Lauro Müller e Siderópolis. Os sistemas de uso do solo (SUS) escolhidos foram: floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e sistema plantio direto (PD). Foram coletadas amostras de solo para determinação dos atributos edáficos e instaladas armadilhas de solo (*Pitfall traps*), no inverno e verão, em grade amostral de 3×3 pontos. Os colêmbolos coletados foram contados e morfotipados, observando cinco características: presença ou ausência de ocelos, pelos e/ou escamas, pigmentação, comprimento de antenas e tamanho de fúrcula. Os dados analisados foram abundância, diversidade de Shannon-Wiener (H'), índice de Dominância de Simpson (D), uniformidade de Pielou (J), riqueza de morfotipos e de Margalef, utilizando ANOVA seguida do teste de Newman-Keuls e teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ($p > 0,05$). Além disso, a abundância de colêmbolos foi submetida à Análise de Componentes Principais (ACP) usando os atributos edáficos como variáveis ambientais explicativas e também calculado o índice de qualidade biológica do solo (QBS). Para os dados do verão, a maior abundância de colêmbolos foi encontrada no PD, seguida por ILP e PA, respectivamente, enquanto o índice de H' e a riqueza de Margalef foram mais elevados na FN. No inverno, a maior abundância de colêmbolos foi encontrada em ILP, não diferindo estatisticamente de PD e PA. Na riqueza de morfotipos e no índice de H' o ILP apresentou os maiores valores, enquanto na uniformidade de Pielou e riqueza de margalef a FN é que obteve os valores mais elevados. A ACP mostrou distinção entre os SUS e as épocas. No verão as variáveis ambientais que explicaram a presença de morfotipos de colêmbolos nos SUS foram matéria orgânica, relação magnésio/potássio, pH, diâmetro médio de agregados e umidade, enquanto no inverno foram potássio, pH, matéria orgânica, quociente metabólico, porosidade total e umidade do solo. Os resultados do índice QBS não seguiram o gradiente de intensificação de uso do solo nas duas épocas de amostragem. No inverno o ILP apresentou o maior valor de QBS e no verão foi o PD. Os morfotipos de colêmbolos conseguiram discriminar os SUS, demonstrando que são influenciados pelas condições de manejo de cada sistema, atributos edáficos e épocas de amostragem. Desta forma, os impactos dos SUS na diversidade morfológica de Collembola, depende da intensidade das práticas florestais/agrícolas utilizadas, incluindo rotações culturais e preparo do solo.

Palavras-chave: morfotipos de Collembola; bioindicadores; qualidade do solo; mesofauna edáfica.

ABSTRACT

Human activities, through agricultural and forestry practices have harmed and caused a decrease in biodiversity levels, especially when dealing with soil organisms, for example, springtails. The aim of this study was to evaluate the impact of soil use systems on the morphological diversity of springtails, as well as their relationship with the chemical, physical and microbiological attributes of the soil. The study was realized out in the southern region of Catarinense, in the municipalities of Orleans, Lauro Müller and Siderópolis. The soil use systems (SUS) chosen were: native forest (FN), eucalyptus reforestation (RE), perennial pasture (PA), crop-livestock integration (ILP) and no-tillage system (PD). Soil samples were collected for determination of edaphic attributes and soil traps were installed (*Pitfall traps*), in the winter and in the summer, in a sample grid of 3×3 points. The collected springtails were counted and morphotyped, observing five characteristics: presence or absence of ocelli, hairs and /or scales, pigmentation, antenna length and furcula. The data analyzed were abundance, Shannon-Wiener (H') diversity, Simpson's Dominance index (D), Pielou (J) uniformity, morphotype and Margalef richness, using ANOVA followed by Newman-Keuls test and test non-parametric Kruskal-Wallis test ($p > 0,05$). In addition, abundance of collembola was subjected to Principal Component Analysis (PCA) using soil attributes as explanatory environmental variables and calculated the soil biological quality index (QBS). For summer data, the greatest abundance of springtails found in PD, followed by ILP and PA, respectively, while the H' index and Margalef's richness were higher in FN. In the winter, the highest abundance of springtails was found in ILP, not statistically differentiating from PD and PA. In the richness of morphotypes and in the index of H' the ILP presented the highest value, while in Pielou uniformity and margalef richness the FN is which presented the highest values. The PCA showed a distinction between SUS and sampling times. In the summer, the environmental variables that explained the presence of springtails morphotypes in SUS were organic matter, magnesium/potassium ratio, pH, average aggregate diameter and humidity, while in the winter they were potassium, pH, organic matter, metabolic quotient, total porosity and soil humidity. The results of the QBS index didn't follow the gradient of intensification of soil use in the two seasons of sampling. In the winter the ILP presented the highest value of QBS and in the summer it was the PD. Springtails morphotypes were able to discriminate the SUS, showing that they are influenced by the management conditions of each system, edaphic attributes and sampling times. In this way, the impacts of SUS on the morphological diversity of Collembola depends on the intensity of the forestry/agricultural practices used, including crop rotation and soil preparation.

Keywords: morphotypes of collembola; bioindicators; soil quality; edaphic mesofauna.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Anatomia externa básica de um colêmbolo. | 27 |
| Figura 2 - Representação da morfologia geral das quatro principais ordens de Collembola: A. Entomobryomorpha (<i>Campylothorax mitrai</i>); B. Poduromorpha (<i>Brachystomella</i> sp.); C. Symphypleona (<i>Calvatomina</i> sp.); D. Neelipleona (<i>Megalothorax minimus</i>). | 28 |
| Figura 3 - Mapa de uso do solo da região Sul de Santa Catarina (SDR de Criciúma), com destaque para os municípios Lauro Müller, Orleans e Siderópolis. | 38 |
| Figura 4 - Mapa de localização dos municípios das áreas estudadas, localizados na região Sul de Santa Catarina. | 43 |
| Figura 5 - Desenho amostral que foi utilizado para a realização das coletas, com os cinco pontos utilizados. Armadilhas (<i>Pitfalls traps</i>) e pontos onde foram coletados as amostras de solo para análises químicas, microbiológicas e físicas. | 47 |
| Figura 6 - Esquema representativo das características associadas a um colêmbolo edáfico e um colêmbolo com elevado poder de dispersão. | 48 |
| Figura 7 - Ilustração de alguns colêmbolos morfotipados e seus respectivos grupos eco-morfológicos: (A): Morfotipo (H50), grupo eco-morfológico hemiedáfico; (B): Morfotipo (H32), grupo eco-morfológico hemiedáfico; (C): (H48), grupo eco-morfológico hemiedáfico; (D): Morfotipo (Ep5), grupo eco-morfológico epígeo. | 54 |
| Figura 8 - Abundância total de colêmbolos [organismos (org.) armadilha ⁻¹] na região Sul de Santa Catarina, em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no inverno (a) e no verão (b)..... | 55 |
| Figura 9 - Riqueza de morfotipos de colêmbolos [número (nº) de morfotipos] na região Sul de Santa Catarina em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no inverno (a) e no verão (b)..... | 58 |
| Figura 10 - Relação entre a componente principal 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da Análise de Componentes Principais (ACP), dos morfotipos de Collembola (setas pretas) e sua relação com os sistemas de uso do solo (setas azuis) e as variáveis ambientais e as variáveis ambientais (setas vermelhas) utilizadas como explicativas, no verão, na região Sul de Santa Catarina..... | 63 |
| Figura 11 - Relação entre a componente principal 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da Análise de Componentes Principais (ACP), dos morfotipos de Collembola (setas pretas) e sua relação com os sistemas de uso do solo (setas azuis) e as variáveis ambientais (setas vermelhas) utilizadas como explicativas, no inverno, na região Sul de Santa Catarina..... | 67 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Resultados encontrados no estudo de Reis et al., (2016). Tempo estimado (em horas) - o tempo necessário para a identificação é adicionado ao tempo gasto na triagem. | 32 |
| Tabela 2- Algumas diferenças ecológicas entre florestas nativas, reflorestamento em monocultivo e culturas agrícolas anuais. (Continua)..... | 36 |
| Tabela 3 - Características dos sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), nos municípios de Orleans, Lauro Müller e Siderópolis, na região Sul de Santa Catarina..... | 46 |
| Tabela 4 - Características e valores das características para o cálculo do valor EMI e para a distinção de diferentes morfotipos..... | 49 |
| Tabela 5 - Valores dos índices de diversidade de Shannon (H'), uniformidade de Pielou (J) riqueza de Margalef, índice de Dominância de Simpson (D) nos sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração-Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no inverno e verão na região Sul de Santa Catarina..... | 60 |
| Tabela 6 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) para os grupos eco-morfológicos edáficos (Ed), hemiedáficos (H) e epígeos (Ep) nos sistemas de uso do solo na região Sul de Santa Catarina..... | 69 |
| Tabela 7 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) dos morfotipos mais representativos para os grupos eco-morfológicos, nos sistemas Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no inverno, na região Sul de Santa Catarina. | 72 |
| Tabela 8 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) dos morfotipos mais representativos para os grupos eco-morfológicos, nos sistemas Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no verão, na região Sul de Santa Catarina. | 73 |
| Tabela 9 - Média ponderada do valor do <i>trait</i> (mT), desvio padrão (DP), total de grupos morfológicos (N_MF), número de morfotipos edáficos (N_Ed), hemiedáficos (N_H) e epígeos (N_Ep), nos sistemas de uso do solo na região Sul de Santa Catarina..... | 76 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 21 |
| 1.1 OBJETIVOS | 23 |
| 1.1.1 Objetivo geral..... | 23 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 23 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 25 |
| 2. 1 O ECOSISTEMA SOLO | 25 |
| 2.1.1 Fauna edáfica: conceito e classificação..... | 25 |
| 2.1.2 Classe Collembola..... | 26 |
| 2.1.3 Indicadores de Qualidade do Solo..... | 33 |
| 2.2 IMPACTOS DO USO E MANEJO DO SOLO | 35 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 43 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO E DESENHO AMOSTRAL | 43 |
| 3.2 AMOSTRAGEM DE COLÊMBOLOS | 47 |
| 3. 3 MORFOTIPAGEM DE COLÊMBOLOS..... | 48 |
| 3.4 ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO | 49 |
| 3.5 ÍNDICE DE QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO | 50 |
| 3.6 ANÁLISE DOS DADOS | 51 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 53 |
| 4.1 ABUNDÂNCIA, RIQUEZA E DIVERSIDADE DE MORFOTIPOS..... | 53 |
| 4.2 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE | 62 |
| 4.3 ÍNDICE DE QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO (QBS) | 69 |
| 4.4 MÉDIA PONDERADA DO VALOR DO <i>TRAIT</i> NA COMUNIDADE (mT) | 75 |
| 5 CONCLUSÃO | 79 |
| REFERÊNCIAS | 81 |
| ANEXOS | 97 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um país com elevada biodiversidade, não somente levando em consideração a riqueza de sua flora e fauna de vertebrados, mas também incluindo milhares de espécies de organismos edáficos (MORAIS et al., 2013; RODRIGUES, 2016). Embora diversos estudos tenham sido realizados na última década, ainda existe uma lacuna sobre o conhecimento das espécies que abrangem essa biodiversidade. Tal fato torna-se mais preocupante devido às alterações ambientais causadas pelas atividades humanas, pois ocorre uma modificação nos habitats e, conseqüentemente, uma perda do patrimônio biológico. A falta de estudos sobre a biodiversidade é ainda mais acentuada em ecossistemas mais complexos, e nesse contexto, é o que ocorre no ecossistema solo, onde esse conhecimento ainda é limitado (CATANOZI, 2011; MORAIS et al., 2013; BARDGETT; PUTTEN, 2014).

A complexidade do solo se dá pelas suas múltiplas funções e diversas interações bióticas e abióticas que nele atuam. Além do crescimento e sustentação das plantas para produção de matéria-prima e alimentos, nele ocorrem os principais bens e serviços ambientais, como a ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica, regulação da cadeia trófica e outros serviços que regulam o ecossistema, além de ser um reservatório de biodiversidade de organismos edáficos (MENTA, 2012; RACHWAL et al., 2015).

Mesmo com tamanha importância, o solo tem sido utilizado pela sociedade humana, muitas vezes de forma inadequada, através das alterações dos ecossistemas naturais pela mudança no uso da terra, sendo intensivamente explorado pelas atividades agrícolas e o desenvolvimento industrial (MENTA et al., 2018).

A mudança no uso da terra e a conseqüente perda de habitat foi identificada, entre as principais mudanças globais, como a fundamental ameaça que causa perda de biodiversidade (local e regional) (KEESSTRA et al., 2016). Nos biomas Pampa e Floresta Atlântica, localizados no Sul do Brasil, isto pode ser notado de forma bastante pronunciada, com diminuição de suas áreas de vegetação nativa em cerca 25% e 88%, respectivamente, para a conversão em terras agrícolas a fim de atender a demanda de alimentos e combustíveis (WINCK et al., 2017).

Compreender a estrutura e o funcionamento das comunidades dos organismos edáficos tem sido um dos desafios de longa data para os ecologistas do solo. As comunidades do solo são notavelmente diversas e desempenham um papel importante no funcionamento do ecossistema (BARDGETT; PUTTEN, 2014). Esse funcionamento do solo é influenciado pela

abundância e pela diversidade de organismos edáficos presentes (LORANGER et al., 1998; LAVELLE et al., 2006).

Mudanças na composição de espécies vegetais e na quantidade e qualidade dos detritos disponíveis, além de alterações das propriedades físico-químicas dos habitats dos organismos do solo (MOHAMEDOVA; LECHEVA, 2013) podem levar a modificações nas comunidades edáficas, resultado da expansão das monoculturas e exploração não planejada dos recursos naturais (BARETTA et al., 2006). Desta forma, a fauna edáfica é vista como um importante bioindicador da qualidade do solo, porque responde com sensibilidade à perturbação antrópica (PANKHURST; DOUBE; GUPTA, 1997) e por estar envolvida em muitas funções do solo (YEATES, 2003). Estudar essas modificações nas comunidades do solo pode auxiliar a compreender e medir as consequências das perturbações ocasionadas nos ecossistemas (POMPÊO et al., 2016).

Dentro da fauna edáfica, mais especificamente na mesofauna, a Classe Collembola é o grupo que detém uma alta representatividade (BELLINGER; CHRISTIANSEN; JANSSENS, 2017) e possuem como principal função a participação indireta na decomposição da matéria orgânica, se alimentando de fungos e bactérias e os dispersando através da eliminação pelas fezes (BARETTA et al., 2008; MORAIS et al., 2013). Atualmente estes organismos estão sendo utilizados como bioindicadores da qualidade do solo, justamente pela sua sensibilidade às alterações ambientais (BELLINGER; CHRISTIANSEN; JANSSENS, 2017). Tais fatos vêm se confirmando através de diversos trabalhos na literatura que utilizam os colêmbolos como indicadores da qualidade biológica do solo (ROVEDDER et al., 2004; BARETTA et al., 2008; RIEFF et al., 2010; OLIVEIRA FILHO et al., 2016; KOMONEN; KATAJA-AHO, 2016; VANHEE et al., 2017).

Os colêmbolos apresentam distribuição vertical ao longo das camadas do solo, podendo ser encontrados três formas de vida (morfotipos), com base no seu grau de adaptação ao solo, baseado em características morfológicas (*traits*), sendo: epígeos, aqueles mais adaptados a serapilheira; hemiedáficos, são os intermediários, que vivem entre os 5 cm da superfície do solo; e os edáficos, mais adaptados ao solo, que vivem abaixo dos 5 cm do solo (OLIVEIRA FILHO; BARETTA, 2016). O trabalho de classificação em morfotipos pode ser adotado quando se pretende uma avaliação rápida sobre a biodiversidade, pois requer menos tempo de identificação (praticidade), menor experiência (conhecimento específico em taxonomia) e materiais, quando comparado a identificação em níveis de família, gênero e espécie (REIS et al., 2016).

Assim, estudar a diversidade morfológica de colêmbolos presentes em diferentes sistemas de usos do solo permite avaliar qual sistema conserva melhor a qualidade do solo. Além disso, o diferencial do presente estudo encontra-se na caracterização morfológica dos organismos encontrados, utilizando características morfológicas para identificar a forma de vida dos colêmbolos (OLIVEIRA FILHO et al., 2016). As características (*traits*) já são bastante empregadas em inventários florísticos, porém, em organismos edáficos, ainda há uma escassez de trabalhos que os utilize (DE BELLO et al., 2010).

Desta forma, esse trabalho tem o intuito de contribuir para aumentar as informações obtidas nos estudos já realizados e servir de auxílio para os que ainda virão. Afinal, são pioneiros os trabalhos na literatura que utilizam a morfotipagem de colêmbolos, tornando este estudo importante ferramenta para difundir futuras pesquisas e agregar conhecimento para que o uso e manejo do solo seja feito de maneira mais sustentável.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto do uso de sistemas florestais e agrícolas na diversidade morfológica de colêmbolos na região Sul de Santa Catarina, bem como a relação dos morfotipos de colêmbolos com os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Analisar a influência da época de coleta (inverno e verão) e dos sistemas de uso do solo (Floresta Nativa, Reflorestamento de Eucalipto, Integração Lavoura/Pecuária, Plantio Direto e Pastagem Perene) na abundância e índices de diversidade sobre os morfotipos de Collembola;
- ✓ Determinar qual dos sistemas de uso do solo conserva a maior diversidade morfológica de colêmbolos na região Sul de Santa Catarina;
- ✓ Relacionar a ocorrência dos morfotipos de colêmbolos com os atributos físicos, químicos e microbiológicos nos sistemas de uso do solo;
- ✓ Avaliar o potencial dos morfotipos de colêmbolos como bioindicadores da qualidade biológica do solo;

- ✓ Determinar o índice de qualidade biológica do solo (QBS) modificado para os sistemas de uso do solo e apresentar qual sistema apresentou maior índice nas duas épocas de coleta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O ECOSISTEMA SOLO

2.1.1 Fauna edáfica: conceito e classificação

Conceitualmente a fauna do solo e/ou fauna edáfica refere-se à comunidade de invertebrados que vive permanentemente ou que realiza um dos seus ciclos de vida no solo. Esses indivíduos podem ser classificados de acordo com as suas dimensões corporais ou com base em aspectos funcionais (AQUINO, 2005; BARETTA et al., 2011). A classificação mais utilizada é a descrita por Swift et al. (1979), separando os organismos de acordo com a sua mobilidade, hábito alimentar, função que realizam no solo e, especialmente, o tamanho corporal. De acordo com o tamanho corporal eles podem ser classificados em macro, meso ou microfauna edáfica.

Os organismos da macrofauna do solo possuem o diâmetro corporal entre 2 e 20 mm. Como representantes, citam-se, por exemplo, as minhocas (*Oligochaeta*) e os coleópteros (*Coleoptera*), os quais exercem importante papel no transporte de materiais, construindo galerias que alcançam diferentes profundidades no solo. Suas funções primordiais a destacar são a fragmentação do resíduo vegetal e contribuição direta na estruturação do solo (SOUZA et al., 2015).

Os organismos da mesofauna do solo possuem diâmetro entre 100 μm e 2 mm, por exemplo, os colêmbolos (*Collembola*) e os ácaros (*Acarina*). Dentre as funções destes organismos, está a contribuição na regulação da população microbiana e participação indireta na decomposição da matéria orgânica (BERUDE et al., 2015), fragmentando resíduos vegetais da serapilheira o que amplia a superfície de contato para o ataque de microrganismos, aumentando a taxa de decomposição e liberação de nutrientes para o solo (BROWN et al., 2015).

Os organismos da microfauna do solo possuem o diâmetro de 4 a 100 μm , um dos exemplos são os organismos pertencentes ao filo Protozoa. Possuem ciclos de vida rápidos, e se alimentam basicamente de outros animais, raízes das plantas e microrganismos (BROWN et al., 2015). O papel da microfauna é atuar de maneira indireta, na ciclagem de nutrientes, regulando as populações de bactérias e fungos, e também possuem um importante papel nos ciclos biogeoquímicos (MANHÃES, 2011).

Em relação aos aspectos funcionais, a fauna do solo pode ser classificada principalmente em: predadores/parasitas, detritívoros/decompositores, geófagos/bioturbadores e fitófagos/pragas (BROWN et al., 2015).

Os predadores/parasitas dificultam a vida ou populações de outros animais, alimentam-se de outros organismos vivos ou vivendo no organismo para obter alimento. Como exemplo temos organismos edáficos e da liteira, especialmente aqueles que caçam na serapilheira (aracnídeos) ou nematoides que parasitam um grande número de animais. Os detritívoros/decompositores no geral se alimentam de materiais em decomposição, podendo ser coprófagos (alimentam-se de fezes), necrófagos (alimentam-se de cadáveres) ou consumidores de fungos e materiais em decomposição. Já os geófagos/bioturbadores ingerem e/ou transportam o solo, movendo-o no perfil. Esses organismos incluem principalmente os cupins, minhocas e enquitreídeos. Enquanto os fitófagos são aqueles capazes de se alimentar diretamente de alguma planta viva, causando danos a parte aérea e as raízes das plantas e podem ser considerados pragas, como representantes temos os nematoides fitoparasitas e os corós (ROLT, 2009; MANHÃES; FRANCELINO, 2012; BROWN et al., 2015).

Desta forma, o solo abriga uma ampla diversidade de organismos da fauna edáfica com diferentes funções, que dependem do tamanho corporal, hábito de vida e hábito alimentar, tornando-os essenciais para a manutenção dos processos biológicos que ocorrem nos ecossistemas florestais e agrícolas, principalmente os organismos pertencentes a macro e mesofauna (BARETTA et al., 2003). Entre os processos biológicos estão: decomposição da matéria orgânica, formação de húmus, ciclagem de nutrientes, controle biológico de pragas e doenças, formação de agregados, bioturbação e a produção de alimentos (KORASAKI; MORAIS; BRAGA, 2013).

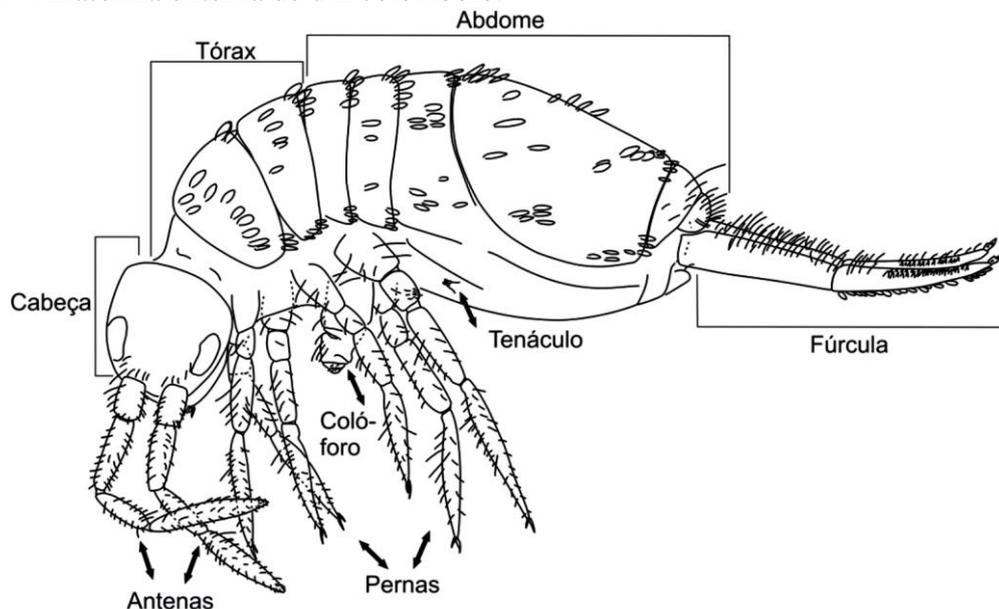
2.1.2 Classe Collembola

Os colêmbolos são pequenos artrópodes pertencentes a mesofauna edáfica (STEFFEN; ANTONIOLLI; STEFFEN, 2007), classificados atualmente como hexápodes não insetos e pertencentes à Classe Collembola (ZHANG, 2011). Possuem três pares de pernas e apresentam diferenças morfológicas em relação aos insetos, especialmente devido a apresentar como característica peças bucais localizadas internamente à cavidade oral, além de uma estrutura adaptada para saltar denominada de fúrcula, localizada na região posterior do abdome. Em alguns colêmbolos a fúrcula pode estar ausente ou reduzida e por fim, dispor do colóforo, ou tubo ventral, que fica no primeiro segmento abdominal que tem como função realizar a

regulação osmótica e iônica, bem como proporcionar a fixação do indivíduo ao substrato (MORAIS et al., 2013).

O corpo dos colêmbolos (Figura 1) possui padrão de tagmose, dividido em cabeça, tórax (três segmentos) e abdome (até seis segmentos). Os segmentos torácico e abdominal podem ser indistintos, podendo dar ao corpo uma aparência mais globular (BELLINGER CHRISTIANSEN; JANSSENS, 2017). Assim, o formato do corpo pode ser alongado ou globoso, em que a cutícula é frequentemente revestida de pelos ou escamas, que servem de proteção da perda de água e assim da desidratação (HAMADA; NESSIMIAN; QUERINO, 2014).

Figura 1 - Anatomia externa de um colêmbolo.



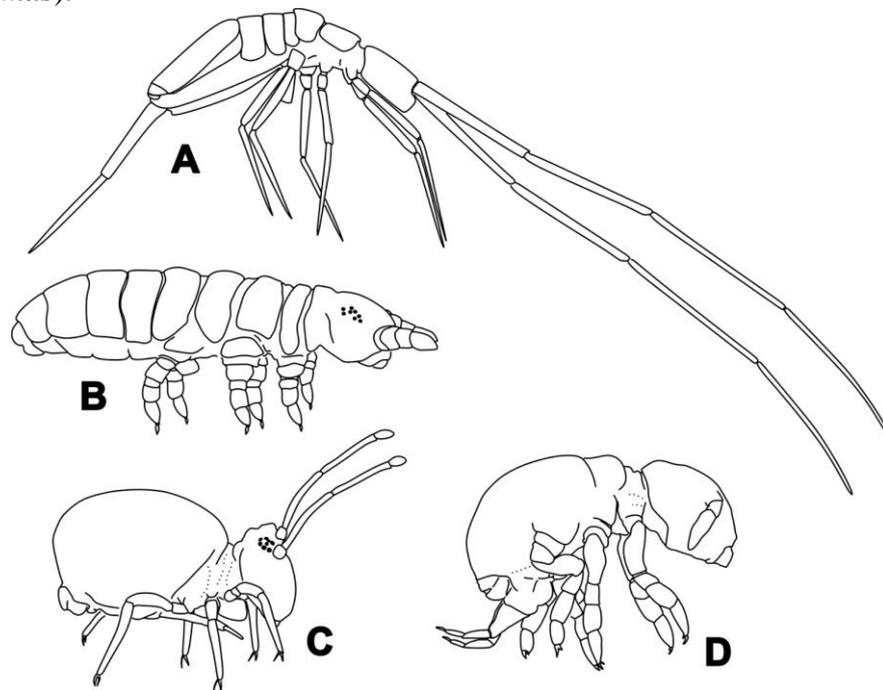
Fonte: BELLINI, 2016.

Embora os colêmbolos apresentem um conjunto de características morfológicas comuns, há uma enorme variação de formas nesses organismos (Figura 2). Assim, podem ser divididos em quatro principais ordens: Poduromorpha, Entombryomorpha, Symphypleona e Neelipleona (JANSSENS; CHRISTIANSEN, 2011).

A ordem Poduromorpha, possui o corpo nitidamente segmentado, com antenas, pernas e fúrcula curtas e com a placa que protege dorsalmente o primeiro segmento torácico (protergito) presente. A ordem Entombryomorpha também de corpo segmentado, mas que possuem geralmente antenas, pernas e fúrculas longas e sem a presença de protergito. Symphypleona possui corpo com segmento pouco visível, em que o abdome é a maior região corporal e as antenas são, pelo menos, mais longas que a cabeça. Já Neelipleona são colêmbolos

extremamente pequenos, praticamente invisíveis a olho nu, corpo com forma globulosa e de fraca segmentação, possuindo o tórax como maior região corporal e as antenas são mais curtas que o comprimento da cabeça (BELLINI, 2016). Na Figura 2 podem ser visualizados a morfologia geral destas quatro principais ordens.

Figura 2 - Representação da morfologia geral das quatro principais ordens de Collembola: A. Entomobryomorpha (*Campylothorax mitrai*); B. Poduromorpha (*Brachystomella* sp.); C. Symphyleona (*Calvatomina* sp.); D. Neelipleona (*Megalothorax minimus*).



Fonte: BELLINI, 2016.

Os colêmbolos são organismos edáficos que possuem distribuição cosmopolita, podendo ser encontrados desde regiões litorâneas de baixas altitudes até regiões montanhosas de altitudes elevadas, sob diversos regimes climáticos, como zonas geográficas de clima temperado a regiões de clima tropical. Podem viver no dossel de árvores, associados a vegetação arbustiva e/ou rasteira, musgos ou mesmos vistos sobre o solo exposto e em ambientes aquáticos (BELLINGER; CHRISTIANSEN; JANSSENS, 2017). Entretanto, o maior número e maior diversidade de colêmbolos são encontrados no solo e microhabitats adjacentes, essencialmente em locais com maior presença de matéria orgânica (ZEPPELINI FILHO; BELLINI, 2004).

No solo, onde os colêmbolos são mais comuns e especializados, eles podem ser encontrados tanto na serapilheira (epígeos), quanto na parte intermediária, que são aqueles que

vivem até os primeiros 5 cm do solo (hemiedáficos) ou no interior do solo (edáficos). Essa distribuição vertical dos colêmbolos ao longo das camadas do solo pode lhes conferir características distintas, tais como presença de placas oculares e/ou ocelos, pigmentação no corpo e apêndices bem desenvolvidos, podendo se diferenciar dependendo do compartimento do solo em que o organismo se encontrar (MORAIS et al., 2013).

Devido aos colêmbolos viverem distribuídos verticalmente no solo, presume-se que eles exploram distintos recursos, desempenhando diferentes funções no ecossistema (POTAPOV et al., 2016) e são de extrema importância, pois encontram-se na base da cadeia alimentar e de ciclagem de nutrientes (ZEPPELINI FILHO; BELLINI, 2004).

Quanto aos seus hábitos e funções ecológicas os colêmbolos se alimentam de fungos, bactérias, algas e matéria vegetal morta. Como funções, os colêmbolos participam no controle da biomassa de fungos no solo, atuando também como dispersores desses fungos (BERUDE et al., 2015), servem de alimento para vários outros animais (ANTONIOLLI et al., 2013) e principalmente atuam de forma determinante na decomposição da matéria orgânica animal e vegetal. Além disso, acredita-se que os colêmbolos atuam como catalisadores na ciclagem de nutrientes (BARETTA et al., 2008; ZEPPELINI FILHO; BELLINI, 2004).

Em relação a predação, os colêmbolos servem de alimento para diversos grupos de animais em diferentes estágios de seu ciclo de vida. Como exemplos de predadores tem-se os ácaros, pseudoescorpiões, aranhas, insetos, etc. Porém, a presença de fúrcula bem desenvolvida é um mecanismo eficiente para evitar a predação. Além disso, a cobertura de cerdas e escamas presente na ordem Entomobryomorpha lhes oferece vantagem contra predadores, obstruindo o aparelho bucal dos predadores e por facilitarem o escape de teias de aranhas. Ainda, há produção de substâncias impalatáveis que parecem ter relação à coloração azul de alguns indivíduos (como exemplo as famílias Onychiuridae e Hypogastruridae) (ZEPPELINI FILHO; BELLINI, 2004).

Em conjunto com os fungos e bactérias os colêmbolos são responsáveis pela formação e enriquecimento de grande parte do solo disponível para a sustentação das florestas e agricultura. Além das funções já citadas, a deposição das fezes desses animais pode alterar a composição física e a estrutura do solo, tornando-os seres que exercem funções chaves para o equilíbrio e manutenção da vida no planeta (ZEPPELINI; BELLINI, 2004). Atualmente estes organismos estão sendo utilizados como bioindicadores da qualidade do solo e isto se dá pelo seu papel no ambiente e sensibilidade a alterações ambientais (BELLINGER; CHRISTIANSEN; JANSSENS, 2017).

A diversidade e abundância dos colêmbolos dependem de diferentes fatores bióticos e abióticos do ambiente. O estudo de Van Dooremalen, Berg e Ellers (2013) sugerem que os colêmbolos edáficos têm menor capacidade de adaptação em flutuações de temperatura do que os epígeos, isso porque os edáficos possuem capacidades fisiológicas mais fracas. Embora, potencialmente o clima afeta mais severamente os organismos da superfície do solo (epígeos), os quais, tendem a se afetar mais com a seca e o frio extremo. Já as espécies hemiedáficas são capazes de escapar dessas condições climáticas, recuando para as camadas mais profundas do solo e, desta forma, menos afetadas pelas flutuações climáticas em comparação com as outras formas de vida (POLLIERER; SCHEU, 2017).

De maneira geral, os fatores que afetam a abundância e a composição dos colêmbolos em determinadas áreas estão relacionadas ao clima (época do ano), pH, liberação de certos íons e umidade, além do aparecimento de substâncias que compõem pesticidas e/ou metais (CASSAGNE et al., 2004; BELLINI; ZEPPELINI, 2009). Além disso, segundo Fernandes; Nessimian e Mendonça (2009), a diversidade e a riqueza das famílias de colêmbolos são sensíveis a interações antrópicas, tornando-os mais abundantes a medida que aumenta a quantidade e qualidade da matéria orgânica (MUSSURY et al., 2008).

Os colêmbolos possuem uma alta diversidade e são conhecidos como o segundo grupo mais abundante da mesofauna do solo, onde os primeiros são os ácaros. Vale destacar que existem cerca de 8700 mil espécies já descritas em todo mundo, com estimativa de que essa diversidade seja muito maior (BELLINGER; CHRISTIANSEN; JANSSENS, 2017). No Brasil, tem-se o relato da descrição de cerca de 313 espécies, em que, a maior parte destes registros ocorrem na região sudeste (75,1%), seguidas pelas regiões Norte (32,5%), Nordeste (16,3%), Centro-Oeste (7%) e Sul (3,3%), sendo as famílias Entomobryidae e Isotomidae, atualmente, as mais diversas no país e que mais crescem em número de novas espécies descritas a cada ano. Para a família Isotomidae existem 71 espécies em 20 gêneros e, para a família Entomobryidae, 59 espécies em 10 gêneros (MEIRA, 2014).

Em termos gerais, calcula-se que atualmente é conhecida menos que 2% da riqueza mundial de espécies de Collembola. No Brasil, o conhecimento sobre esta classe vem crescendo exponencialmente na última década. Entre 2003 e 2015 teve-se um acréscimo de mais de 50% no conhecimento da riqueza de espécies brasileiras, destacando que na maioria dos novos registros as espécies descritas eram endêmicas do país (BELLINI, 2016).

Embora os trabalhos estejam crescendo, ainda há a limitação de depender de taxonomistas para a realização de tais estudos. Baretta et al. (2011) destacam que os estudos que envolvem o conhecimento da diversidade de Collembola e sua relação com a qualidade do

solo, são ainda pioneiros e ficam em sua maioria, restritos e dependentes de taxonomistas. No mundo, de acordo com a lista de pesquisadores de Collembola fornecida pelo site <http://www.collembola.org/> na aba Expertise temos um total de 236 pesquisadores, em que, apenas 10 são pesquisadores brasileiros.

Visando romper essa barreira e aumentar o conhecimento sobre a Classe Collembola, vários autores propuseram novos métodos para avaliar a qualidade do solo, baseado em organismos da mesofauna (PARISI et al., 2005; YAN et al., 2012; VANHEE et al., 2017). Dentre estes métodos, o mais relevante para o estudo dos microartrópodes possivelmente foi o proposto por Parisi (2001), que sugere a criação de um índice de qualidade biológica (*Biological Quality of Soil Index* - QBS), que relaciona maior qualidade do solo com maior número de grupos de microartrópodes bem adaptados a ele.

Para avaliar o nível de adaptação utiliza-se a morfotipagem, que é um método que se baseia na observação de características (*traits*) morfológicas, com finalidade de indicar a preferência do indivíduo a determinado ambiente. Como características observadas durante a morfotipagem pode-se citar: diminuição ou perda da pigmentação e dos ocelos; formato do corpo simplificado, com redução de alguns apêndices (pelos, antenas e pernas) e diminuição ou perda das adaptações para pular ou correr (PARISI et al., 2005).

Através da observação das características citadas acima é possível obter valores para o índice eco-morfológico (*Eco-morphological index* - EMI), que por meio do valor encontrado, traz como resultado o nível de adaptação dos grupos da fauna do solo, sem que seja necessário um complexo conhecimento de identificação taxonômica (PARISI et al., 2005; CARVALHO, 2012). Desta forma, propôs-se para cada grupo da fauna, um valor eco-morfológico (EMI), que fosse proporcional ao seu nível de adaptação dos organismos. No caso de Collembola, por apresentar indivíduos com diferentes níveis de adaptação ao solo, fez-se necessária a atribuição de valores para suas diferentes características, resultando em uma série de EMIs (DOS SANTOS, 2017).

Conforme esses valores de EMIs, os colêmbolos são separados em três níveis diferentes de adaptação, edáficos, hemiedáficos e epígeos (PARISI et al., 2005; OLIVEIRA FILHO et al., 2016; DOS SANTOS, 2017), como apresentado anteriormente, quando se tratou da distribuição vertical desses organismos no solo. Desta forma, com base nos valores de EMIs e na diversidade de morfotipos, atribui-se um valor de QBS, possibilitando identificar como os diferentes sistemas de usos do solo influenciam na composição das comunidades de colêmbolos (DOS SANTOS, 2017).

Além de romper a barreira da falta de taxonomistas, a morfotipagem também possui como vantagem o menor tempo gasto no laboratório para a realização do trabalho de separação em morfotipos quando comparado com a classificação a nível de família, gênero e espécie. No estudo de Reis et al. (2016), os autores fizeram uma comparação do tempo estimado que uma pessoa gasta durante o trabalho de campo, triagem e identificação de espécimes de Collembola para 16 amostras e os procedimentos metodológicos necessários, considerando a abordagem taxonômica tradicional (Família, Gênero e Espécies) e a abordagem funcional alternativa. Assim, os autores encontraram como resultados (Tabela 1) que a identificação em morfotipos requer menos tempo do que a identificação com abordagem taxonômica tradicional.

Tabela 1 - Resultados encontrados no estudo de Reis et al. (2016). Tempo estimado (em horas) - o tempo necessário para a identificação é adicionado ao tempo gasto na triagem.

| | Trabalho de campo | Classificação | Identificação | | | |
|-----------|---------------------------------|---|---------------|---|--|---------|
| | | | Morfotipos | Família | Genêro | Espécie |
| Tempo (h) | 2 | 8 | +4 | +11 | +16 | +28 |
| Método | Amostragem com um corer de solo | Classificação usando estereomicroscópio | direta um | Identificação usando um estereomicroscópio e, na maioria dos casos, montagem de espécimes para lâminas e identificação usando microscopia ocular/fase | Mais classificação usando um estereomicroscópio e montagem de espécimes para slides e identificação usando microscopia ocular/fase | para e |

Fonte: REIS et al., 2016.

Vale destacar ainda, que observar as características (*traits*) funcionais das espécies no lugar de apenas indentificá-las possui vantagens, como: identificar mecanismos que implicam na distribuição de espécies e na dinâmica da biodiversidade; compreender fatores que formam comunidades compostas por muitas espécies; identificar padrões gerais e, desta forma, auxiliar na previsão de mudanças potenciais na composição das comunidades e no funcionamento sucessivo do ecossistema, após um distúrbio (VELLEND, 2010).

2.1.3 Indicadores de Qualidade do Solo

A intensificação do uso da terra e as intervenções antrópicas, seja para ocupação humana ou produção agrícola, ocasionam mudanças na qualidade do solo (BARTZ et al., 2014). Essas mudanças ocasionadas por sistemas inadequados de uso e manejo do solo tem causado uma diminuição na qualidade do solo (TESFAHUNEGN, 2016).

E enquanto, a qualidade do ar e da água há tempo recebem atenção de instituições científicas e políticas, a qualidade do solo foi comparativamente ignorada, fazendo-se necessário na atualidade avaliar diferentes aspectos da degradação do solo, para encontrar medidas que visem a melhor gestão e proteção desse recurso (HAVLICEK, 2012; MENTA et al., 2018). Desta forma, com a avaliação da qualidade do solo é possível identificar o quanto um sistema é capaz de desenvolver suas múltiplas funções no ambiente, mantendo a sustentabilidade do ecossistema (KARLEN et al., 1994).

Para avaliar a qualidade do solo, são utilizados indicadores físicos, químicos e/ou biológicos, constituindo assim uma forma de classificar a qualidade do solo e monitorar as alterações no ambiente (ARAÚJO et al., 2012; MENDES; DE SOUZA; REIS JUNIOR, 2015). Os indicadores físicos do solo, como a densidade aparente e estrutura do solo, estão relacionados à capacidade de retenção de água e desenvolvimento de raízes, que são componentes importantes para que as plantas consigam se manter durante uma seca prolongada. Já os indicadores químicos, como pH e nutrientes (nitrogênio, potássio, etc.) estão associados a fertilidade do solo, que são elementos determinantes no estabelecimento e nutrição das plantas. E os indicadores biológicos, como quocientes microbianos e diversidade da fauna edáfica, se relacionam com a atividade realizada pelos organismos do solo e funções que desempenham, envolvendo ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica, por exemplo (MUÑOZ-ROJAS et al., 2016).

Porém, para serem considerados bons indicadores da qualidade do solo, os mesmos devem cumprir alguns critérios: como a capacidade de interferir nos processos ecológicos; integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas (ZATORRE, 2008); sensibilidade a variações de manejo do solo; boa correlação com as funções benéficas do solo e serem baratos e fácil de medir (DORAN; ZEISS, 2000). E fazendo uma comparação referente aos indicadores, segundo Bastida et al. (2008) os indicadores biológicos são mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos e conseguem identificar mais rapidamente distúrbios no ambiente.

Desta forma, os organismos edáficos podem ser bons indicadores biológicos da qualidade do solo nos ecossistemas por participarem ativamente dos serviços ecossistêmicos

mediados pelo solo e pela sua sensibilidade a alterações de uso e manejo do solo (LAVELLE et al., 2006). Entre os potenciais bioindicadores está o monitoramento das populações de ácaros e colêmbolos.

Ácaros e colêmbolos influenciam diretamente na fertilidade do solo, estimulando a atividade microbiana, inibindo fungos e bactérias causadoras de doenças (PRIMAVESI, 1990) e transportando matéria orgânica em decomposição para níveis mais profundos do perfil do solo (SAUTER; SANTOS, 1994). Por serem sensíveis as mudanças no solo e na cobertura vegetal, provocadas por atividades antrópicas ou por causas naturais, esses organismos podem ser usados como bioindicadores da qualidade do solo ou da fertilidade (MELO et al., 2009).

Estudos como os de Lins; Santos e Gonçalves et al. (2007) realizaram testes utilizando colêmbolos como bioindicadores da aplicação de herbicidas, sendo eles: Glifosato, 2,4-D e Atrazina e Nicosulfuron. Os autores observaram que os tratamentos com 2,4-D e Atrazina reduziram as populações de colêmbolos, mostrando a sensibilidade deste grupo a determinados herbicidas. Além disso, os colêmbolos em conjunto com a microbiota, mediam os processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica e regulação dos ciclos de nutrientes. Em que, a alteração/diminuição desses organismos no solo pode comprometer, a médio e a longo prazo, esses processos e muitos outros que a mesofauna participa (direta e indiretamente) afetando a qualidade do solo (BOHM; CASTILHOS; ROMBALDI, 2010). Atualmente, vários outros trabalhos estão utilizando colêmbolos como a finalidade de bioindicar a qualidade do solo (BARETTA et al., 2008; ANTONIOLLI et al., 2013; OLIVEIRA FILHO et al., 2016; POTAPOV et al., 2016; WINCK et al., 2017).

As modificações ambientais afetam a fauna do solo à medida que alteram a disponibilidade de recursos alimentares, modificando as interações ecológicas intra e interespecíficas. Muitas espécies desaparecem, por exemplo, em consequência do desmatamento e do uso de práticas de cultivo intensivo (PEREIRA et al., 2013).

Avaliar a comunidade de organismos edáficos pode possibilitar informações para compreender o funcionamento dos ecossistemas e principalmente se apresentam como indicadores das mudanças ocorridas pelos usos inadequados dos recursos naturais. O monitoramento da fauna do solo pode ser uma ferramenta que permita avaliar a qualidade ambiental, além do próprio funcionamento como sistema de produção agrícola, ou seja, avaliando a qualidade do solo (ANDRADE, 2000).

2.2 IMPACTOS DO USO E MANEJO DO SOLO

O solo é caracterizado como um corpo natural, composto por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensional, dinâmico, constituído por material orgânico e mineral. Contendo, sobretudo, matéria viva, podendo apresentar vegetação natural ou modificada por atividades humanas (EMBRAPA, 1999).

Grande parte dos processos que ocorrem nos ecossistemas, tanto os naturais quanto os manejados tem o solo como dinâmica central. Pois, além de abrigar uma ampla biodiversidade da terra, ele também fornece substrato físico para a maioria das atividades humanas. E mesmo que os solos tenham sido extensamente estudados e classificados em termos de propriedades físicas e químicas, há uma carência sobre o conhecimento da biodiversidade edáfica e suas funções (SWIFT; IZAC; VAN NOORDWIJK, 2004; BRUSSAARD et al., 2004).

As atividades humanas, mediante as práticas agrícolas e florestais, mudam a abundância e a diversidade da biota do solo, afetando os serviços do ecossistema a curto e a longo prazo (CROTTY et al., 2015). Em grande parte, acabam eliminando e/ou diminuindo os invertebrados do solo, encadeando efeitos negativos ao meio ambiente e interferindo nas cadeias alimentares, provocando extinção de espécies e influenciando nos processos dos ciclos biogeoquímicos (ARAÚJO et al., 2010).

O que a sociedade tem buscado na atualidade é a integração da produção agrícola com os serviços ecossistêmicos e a biologia do solo é vital no fornecimento desses serviços (FERRIS; TUOMISTO, 2015). Nesse sentido, tem-se ocorrido um crescente interesse no estudo a respeito das diferenças entre uso e manejo do solo e qual a consequência dos mesmos sobre a qualidade do solo (BARTZ et al., 2014).

É possível destacar, que um dos principais problemas ambientais da atualidade é a elevada fragmentação dos ecossistemas florestais, justamente para a conversão em sistemas de cultivos agrícolas, pastagens, plantios florestais, entre outros, que conseqüentemente influenciam e se relacionam com efeitos prejudiciais sobre as comunidades bióticas (LAURANCE et al., 2002). A Tabela 2 demonstra algumas distinções ecológicas (estruturais e funcionais), edáficas e culturais (influência antrópica) entre florestas nativas e plantadas e culturas agrícolas anuais em áreas tropicais e subtropicais úmidas:

Tabela 2- Algumas diferenças ecológicas entre florestas nativas, reflorestamento em monocultivo e culturas agrícolas anuais. (Continua).

| Atributo | Floresta nativa (domínio Mata Atlântica) | Florestas plantadas monoespecíficas (ex. eucalipto e pinus) | Culturas anuais |
|---|--|---|--|
| Produtividade líquida | Baixa a média | Muito alta | Alta |
| Interações tróficas | Complexas | Simples e lineares | Simples e lineares |
| Estabilidade (resiliência) | Alta | Baixa | Baixa |
| Controle antrópico | Independente | Dependente, pouco intensivo; pouca necessidade de insumos externos | Dependente, muito intensivo; alta necessidade de insumos externos |
| Espaçamento por planta | Ao acaso; alta densidade de plantas: mais de 2.500 plantas ha ⁻¹ . | 1.000 a 2.500 plantas ha ⁻¹ . | >10.000 plantas ha ⁻¹ . |
| Cultivo do solo | Só processos naturais: ação física e químicas de raízes e organismos edáficos, com aporte regular de muita matéria orgânica. | Predomina o cultivo mínimo; Realizado entre longos períodos (ex: 7, 14 ou + 20 anos); A queima de resíduos vegetais é cada vez menos praticada; Baixa intensidade de ação mecânica de implementos e trânsito de veículos. | Predomina o cultivo intensivo; Realizado anualmente; A queima, quando usada, é feita com frequência anual. Frequente e elevado grau de interferência no solo: às vezes, duas vezes ao ano. |
| Propriedades essenciais do solo (absorção e infiltração de água, aeração) | Estáveis. | Pouco alteradas (as vezes há melhoras, se o solo estava degradado antes do estabelecimento florestal). | Muito alteradas; Alto risco de compactação. |
| Risco de erosão | Ausente (perda de solo <10 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹). | Baixa (se cultivo mínimo, perda de solo <100 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹). | Muito elevada (se cultivo intensivo, perda de solo >10 t ha ⁻¹ ano ⁻¹). |

Fonte: Adaptado de Gonçalves; Stape, 2002.

Tabela 2- Algumas diferenças ecológicas entre florestas nativas, reflorestamento em monocultivo e culturas agrícolas anuais. (Conclusão).

| Atributo | Floresta nativa (domínio Mata Atlântica) | Florestas plantadas monoespecíficas (ex. eucalipto e pinus) | Culturas anuais |
|--|---|---|---|
| Fertilidade do solo e nutrição das plantas | Determinada por processos ecológicos naturais; Predomínio de ambientes distróficos; Demanda de nutrientes garantida pela ciclagem biogeoquímica (rápida mineralização da matéria orgânica) e bioquímica, pelo sistema radicular muito micorrizado; Alta fixação biológica de N; Predomínio de formas orgânicas dos nutrientes; Elevado teor de matéria orgânica; Baixo potencial de fixação de P; Baixa atividade de Mn e Al; Acidez muito alta a alta. | Determinada por processos ecológicos naturais; Predomínio de ambientes distróficos; Demanda de nutrientes garantida pela ciclagem biogeoquímica (rápida mineralização da matéria orgânica) e bioquímica, pelo sistema radicular muito micorrizado e pela suplementação por fertilizantes inorgânicos; Predomínio de formas orgânicas dos nutrientes; Baixo potencial de fixação de P; Baixa atividade de Mn e Al; Acidez muito alta a alta. | Determinado por processos artificiais; Predomínio de ambientes eutróficos (alta aplicação de fertilizantes); Demanda de nutrientes garantido por processos físico-químicos; Predomínio de formas inorgânicas dos nutrientes; Teor bastante reduzido de matéria orgânica (em relação ao original); Alto potencial de fixação de P (menos complexos organomineirais, frequente revolvimento do solo, predomínio de formas inorgânicas de P); Elevada suscetibilidade de a toxidez por Mn e Al; Acidez baixa a muito baixa. |
| Ciclagem de nutrientes | Muito rápida; Ciclos fechados (mínima perda por volatilização e lixiviação). | Rápida; Ciclos semi-abertos (pequena adição de fertilizantes; média e grande exportação de nutrientes pela colheita, pequena perda de nutrientes por volatilização e lixiviação). | Pouco expressiva; Ciclos abertos (grande adição de fertilizantes e exportação de nutrientes pela colheita, grande perda de nutrientes por volatilização e lixiviação). |

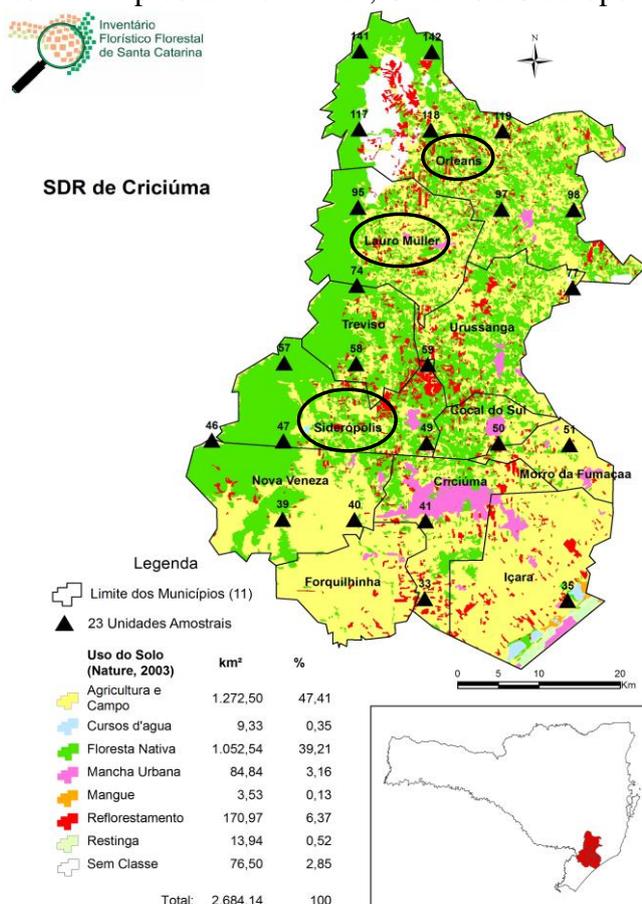
Fonte: Adaptado de Gonçalves; Stape, 2002.

A perda da biodiversidade do solo e a simplificação das comunidades prejudicam múltiplas funções do ecossistema, como exemplo, ciclagem e retenção de nutrientes (WAGG et al., 2014). A esse respeito, a Mata Atlântica é o bioma brasileiro mais fragmentado

(NOGUEIRA et al., 2017), em que, a maioria dos remanescentes florestais neste bioma é pequeno, altamente perturbado, isolado, pouco conhecido e protegido (MENEZES et al., 2009).

Em Santa Catarina, segundo dados do Inventário Florístico Florestal temos apenas 29% de cobertura florestal nativa remanescente, porém esta cobertura não é igual em todos os três tipos de floresta do estado: na Floresta de Araucárias restam 24% da floresta original, da Floresta Densa restam 40%, enquanto que da Floresta Decidual, que é a mais ameaçada, restam apenas 16% da extensão original. Em média, o estado já perdeu 70% da floresta original (VIBRANS et al., 2015). A região Sul de Santa Catarina, onde localiza-se os municípios de Lauro Müller, Orleans e Siderópolis pertencem a Floresta Ombrófila Densa e de acordo o mapa de uso do solo da Secretaria de Desenvolvimento Regional (SDR) de Criciúma (Figura 3) o uso da terra nos municípios estudados se distribuem em agricultura e campo, reflorestamento e remanescentes de floresta nativa:

Figura 3 - Mapa de uso do solo da região Sul de Santa Catarina (SDR de Criciúma), dando destaque para os municípios Lauro Müller, Orleans e Siderópolis.



Fonte: Estes mapas são baseados nos mapeamentos temáticos da Secretaria de Agricultura (SAR, 2005) e do PPMA/FATMA (GEOAMBIENTE, 2008) e foram editados pela equipe do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC, 2015).

Na agricultura, o Sistema Plantio Direto (PD) é um dos sistemas mais comumente utilizados, que foi introduzido no Brasil, no início da década de 70, no Sul do país, e atualmente cerca de 10 milhões de hectares integram o sistema na agricultura brasileira (CRUZ, 2014). Esse sistema tem como principais aspectos o mínimo revolvimento do solo, a contínua cobertura do solo e a rotação de culturas, que garantem condições mais favoráveis para o desenvolvimento de organismos edáficos, que normalmente encontram-se ausentes nos solos em sistemas de monocultivos convencionais (BERTOL et al., 2004; BARTZ; PASINI; BROWN, 2013).

O sistema PD tem contribuído para reduzir problemas ocasionados pela forma tradicional de manejo do solo, promovendo baixa emissão de carbono e melhoria na qualidade do solo e da água (CRUZ et al., 2006). Dentre as vantagens pode-se citar: controle da erosão, conservação da umidade do solo, rotação de culturas, melhoria na estruturação do solo e economia com maquinário (BORTOLETI JUNIOR et al., 2015). E como condições favoráveis para a comunidade edáfica, cita-se o menor distúrbio mecânico no solo e mudanças menos extremas na umidade e temperatura (ALVES; BARETTA; CARDOSO, 2006).

No sistema agrícola de plantio convencional, são utilizadas operações de cultivo primários como aração e escarificação na camada de 0-20 cm, onde logo após se segue com o cultivo secundário utilizando grade de disco pesada. O maquinário e a maneira de proceder vão variar dependendo da região e país (CARVALHO, 1997; BORTOLETI JUNIOR et al., 2015), mas de forma geral, são utilizadas máquinas pesadas e frequente revolvimento do solo. Devido ao fato do plantio convencional ocasionar um grande revolvimento do solo, tem-se utilizado sistemas como o plantio direto e rotação de culturas com objetivo de dissolver alguns custos de produção e sobretudo, melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SANTOS et al., 2004).

Nesse sentido, buscando um sistema agrícola que seja mais sustentável que os sistemas convencionais especializados em somente um cultivo, seja ele para produção de grãos ou fibras, enfatiza-se os sistemas de produção mistos (WILKINS, 2008). Como exemplo de sistemas mistos temos a Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Esse sistema possui como vantagens o sinergismo entre as pastagens e as culturas anuais utilizadas, o que afeta de forma positiva propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, quebra de ciclos de doenças e diminui a infestação de insetos-pragas, possibilitando redução de riscos econômicos devido a diversidade de atividades e diminuição nos custos com a recuperação e renovação de pastagens degradadas (VILELA et al., 2011).

Além disso, uma das principais características desse sistema refere-se a entrada e reposição da matéria orgânica do solo (MOS), reduzindo sua flutuação, que normalmente ocorrem no período de mudança de pastagem para lavoura de grãos (MOS aumenta no período de pastagem e diminui no período de grãos), tendo assim, um maior equilíbrio quanto ao teor de MOS (GARCÍA-PRÉCHAC et al., 2004; ALMEIDA et al., 2017).

Como fatores negativos da ILP pode-se citar o pisoteio excessivo, ocasionado pela alta lotação animal. Porém, o grau de compactação pelo pisoteio é influenciado por fatores como textura do solo, umidade, manejo adotado ao sistema de produção de forragem, como altura do pasto e quantidade de resíduos vegetais deixados sobre o solo (CORREA; REICHART, 1995; GREENWOOD; MCKENZIE, 2001; CASSOL; LIMA, 2003). Desta forma, o sucesso do sistema depende também dos cuidados tomados pelo produtor.

Outra atividade bastante difundida na região Sul do país é o reflorestamento de pinus e eucalipto, isso devido principalmente ao aumento da demanda por celulose no Brasil (SANTANA et al., 2008). Na área rural em Santa Catarina, segundo estudo realizado por Siminski e Fantini (2010), a implantação de reflorestamentos homogêneos com espécies exóticas se destaca como a principal opção de uso da terra após a supressão de vegetação nativa. O mesmo foi observado por Rieff et al. (2010), porém no Rio Grande do Sul, em que a introdução do eucalipto está ocorrendo, em grande maioria em áreas de Campo Nativo, onde essa substituição da vegetação nativa ocasiona modificações nas propriedades biológicas do solo, interferindo na ocorrência e distribuição dos organismos presentes nesse ambiente.

Estudos como o de Tacca e Klein (2017) compararam a estrutura e composição da artropodofauna de solo em um remanescente de Mata Atlântica nativa e uma área de monocultura de *Eucalyptus* spp., demonstraram uma grande diversidade de organismos do solo no remanescente de floresta nativa e que as monoculturas, como a de *Eucalyptus* spp. influenciam na diminuição da diversidade da artropodofauna, tornando-se um importante fator de impedimento em regiões onde o objetivo seja a conservação da biodiversidade.

Estudos em outros biomas brasileiros também apresentaram os mesmos padrões em relação aos reflorestamentos de *Eucalyptus* spp. Da Silva et al. (2012) realizaram um levantamento de artrópodes em uma área de cerrado e uma área de monocultura de eucalipto e observaram maior diversidade no cerrado do que na área da monocultura. Para os autores, os eucaliptais são pobres biologicamente porque fornecem material vegetal/serapilheira de baixa qualidade nutritiva. Por outro lado, em áreas florestais nativas o aporte natural de nutrientes no solo ocorre principalmente pela decomposição e incorporação da serapilheira depositada e está

fornece os elementos necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas (INKOTTE, 2013).

A serapilheira depositada composta por folhas, ramos, flores, sementes e frutos servem de alimento para a fauna edáfica, que através da sua atividade decompõem rapidamente esse material e os nutrientes são reciclados e fornecidos novamente às plantas. A importância desse processo é observada pela exuberância das florestas que se mantêm em solos pobres em nutrientes (CORREIA; ANDRADE, 2008; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

As florestas nativas são ecossistemas importantes para a geração e a manutenção de uma grande parte de bens e serviços ambientais e entre os principais organismos responsáveis por afetar o funcionamento dos serviços ambientais estão a mesofauna edáfica. As comunidades da mesofauna edáfica, devido ao seu tamanho corporal são fortemente influenciadas pelas condições ambientais e de manejo que o solo sofre, afetando na sua abundância e diversidade (WAHL; THERON; MABOETA 2012).

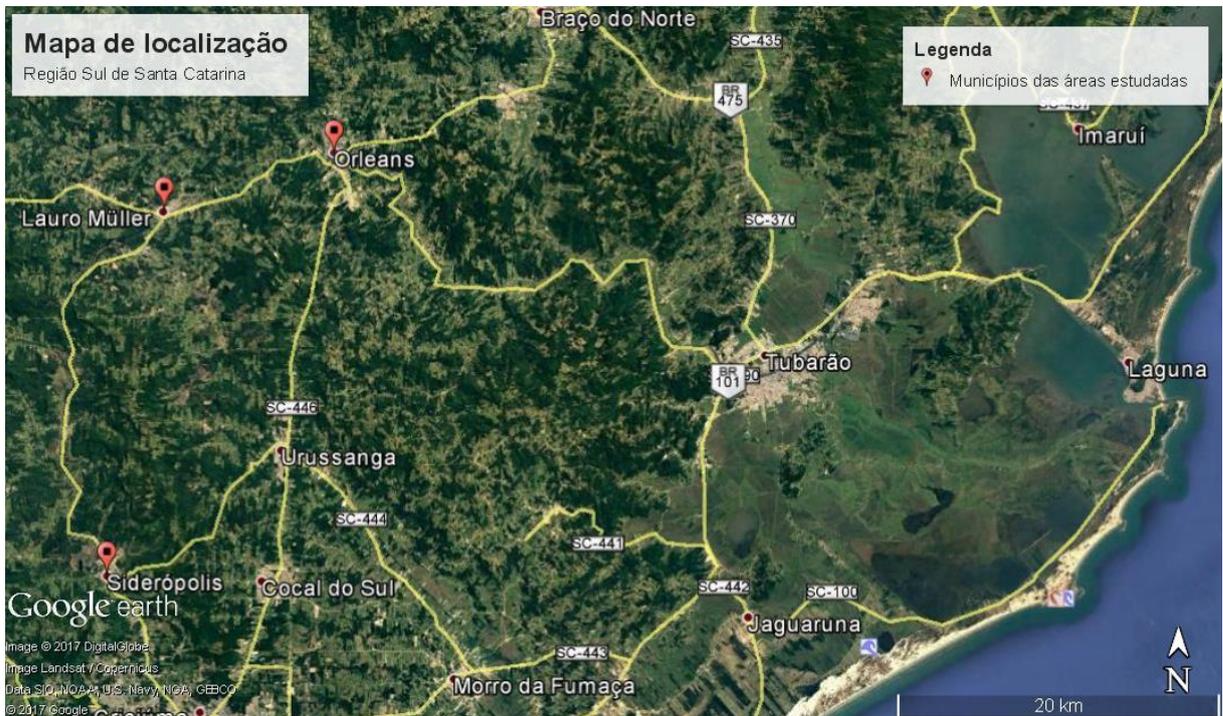
Desta forma, os diferentes sistemas de uso do solo utilizados, podem interferir na composição e diversidade da comunidade de invertebrados do solo. Em que, dependendo do grau de intensificação do uso do solo tem-se mudanças mais ou menos expressivas na qualidade do solo e, conseqüentemente, no papel que os organismos desempenhem para os serviços do ecossistema.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO E DESENHO AMOSTRAL

A presente pesquisa faz parte de um projeto temático realizado no estado de Santa Catarina, conhecido como “SISBIOTA/SC” (Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade/Santa Catarina), que tem por objetivo estudar a biodiversidade de organismos edáficos (distribuição, abundância e diversidade de espécies nativas e exóticas) e outras variáveis ambientais explicativas como indicadores da qualidade ambiental em diferentes sistemas de manejo, abrangendo as regiões Oeste, Planalto, Leste e Sul de SC. Outras informações sobre esse projeto podem ser acessadas através do site: www.biotasc.com. Os sistemas estudados nesta dissertação abrangem os municípios de Orleans, Lauro Müller e Siderópolis, localizados na região Sul do estado de Santa Catarina (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de localização dos municípios estudados, localizados na região Sul de Santa Catarina.



Fonte: Google Earth, 2017.

Os solos em cada sistema estudado foram classificados como: Argissolo Vermelho amarelo, derivado de Siltito, formação Rio Bonito, em Lauro Müller; Argissolo Vermelho

amarelo, derivado de granito, suite intrusiva subida, em Orleans e Argissolo Vermelho amarelo, derivado de Siltito, formação Rio Bonito em Siderópolis (SANTOS et al., 2014).

De acordo com Alvares et al. (2014), o clima da região sul é mesotérmico úmido, com verão quente (Koppen, Cfa), temperatura média no verão superior a 22 °C e no inverno inferior a 18 °C, com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco e chuvas concentradas nos meses de verão, sem estação seca definida.

Foram amostrados cinco sistemas de uso do solo (SUS), sendo eles: Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), com a finalidade de estabelecer um gradiente de intensificação de uso do solo, em que, foi considerado menor intensidade no sistema FN e maior intensidade no PD. A escolha dos municípios de cada região, ocorreu de acordo com suas características geográficas, tipo de solo e histórico de manejo.

As florestas nativas estudadas pertencem ao bioma Mata Atlântica e fitofisionomia Floresta Ombrófila Densa (FOD). Na FN do município de Lauro Müller foi constatado entrada de animais, em número de 1,25 bovinos de corte ha⁻¹, já nas áreas dos outros municípios há somente a entrada de pessoas de maneira esporádica. A FOD estende-se por todo o litoral catarinense e tem como característica ser bastante fechada (densa), com copas das árvores que se tocam e de grande porte, sendo uma floresta muito úmida. Uma das árvores símbolo desse tipo florestal é o palmiteiro, mas também ocorrem samambaias, canelas, guamirins e várias espécies de epífitos (VIBRANS et al., 2015).

O RE em Lauro Müller era utilizado como pastagem antes de ser utilizado como reflorestamento. Já o RE em Orleans estava sob floresta nativa e depois foi convertida em plantio e quatro anos antes da realização do estudo ocorreu queimada acidental no local. No município de Siderópolis a área foi utilizada anteriormente para o plantio de milho (*Zea mays*), com entrada de 2 cabeças de bovinos de corte ha⁻¹ e o eucalipto passou por um desbaste em julho de 2012.

Em relação ao histórico de uso da PA localizada em Lauro Müller sempre foi pastagem nativa, com predominância de gramíneas de folha larga. Em que, três anos antes do presente estudo foi utilizado esterco de aves como forma de manejo para recuperar a área; com entrada de oito cabeças de gado. Na PA de Orleans também pastagem nativa com presença de gramíneas de folha larga; com entrada de 15 cabeças de gado na área total. Já a PA de Siderópolis possui uma pastagem mista, que anteriormente era cultivada com lavoura no sistema de plantio convencional de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) por 10 anos, plantio convencional de

aveia (*Avena sativa* L.) por dois anos e plantio convencional de milho por cinco anos, com a permanência de 20 cabeças de gado na área total.

A área de ILP de Lauro Müller está sob o sistema há três anos e nos últimos cinco anos foi usada para o cultivo de milho como cultura de verão e aveia e azevém (*Lolium multiflorum* L.) como culturas de inverno. Para a recuperação da área foi utilizado 180 kg ha⁻¹ de NPK e também foi realizado subsolagem e gradagem. Em Orleans, o sistema utilizado é plantio convencional, com a presença de cama de aves e adubação nas entrelinhas e como forma de manejo do solo é realizado subsolagem. E por fim, na área de Siderópolis o manejo do solo é plantio convencional. Em todas as áreas foi registrado a presença de bovinos com lotação média de 10 cabeças/ha.

Há três anos que o sistema de PD está estabelecido nas áreas dos três municípios estudados. Em Lauro Müller, nos últimos cinco anos plantou-se milho como cultura de verão e aveia como cultura de inverno. Para a recuperação da área foi utilizado 250 kg ha⁻¹ de NPK e realizada gradagem no solo. Em Orleans, foi utilizado na área calcário (7 Mg ha⁻¹) como forma de manejo para recuperação e fez-se gradagem e subsolagem como forma de preparo do solo. No PD de Siderópolis, nos últimos cinco anos realizou-se o plantio de milho e batata (*Solanum tuberosum*) para a recuperação da área foi utilizado calagem, fertilizante NPK e ureia.

Outras informações como tamanho total da área, coordenadas geográficas e tempo de uso das áreas estudadas podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Características dos sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), nos municípios de Orleans, Lauro Müller e Siderópolis, na região Sul de Santa Catarina.

| Municípios | Sistema | Tamanho (ha) | Coordenada geográfica | Tempo de uso da área |
|--------------|---------|--------------|-----------------------------|----------------------|
| Orleans | FN | - | S 6837241.00 E 655953.00 | - |
| | RE | 4 | S 6836880.00 E 648194.00 | 12 anos |
| | PA | 1,5 | S 6837356.48 E 646789.62 | + de 50 anos |
| | ILP | 2 | - - | 2 anos |
| | PD | 4 | S 6836929.75 E 648097.82 | 3 anos |
| Lauro Müller | FN | - | S 6859772.00 E 670456.00 | - |
| | RE | 3 | S 6859399.12 E 671654.96 | 20 anos |
| | PA | 2 | S 6859538.00 E 670541.00 | + 20 anos |
| | ILP | 1 | S 6859610.00 E 671259.00 | 3 anos |
| | PD | 2 | S 6859615.67 E 670472.66 | 3 anos |
| Siderópolis | FN | 11 | S 6862500.00 E 653320.00 | Sempre |
| | RE | 6 | S 6862779.29 E 652769.26 | 9 anos |
| | PA | 9 | S 6862636.31 E 653209.79 | 30 anos |
| | ILP | 11 | S 6862268.00 E 653276.00 | 6 anos |
| | PD | 4 | S 6862002.40 E 653240.01 | 3 anos |

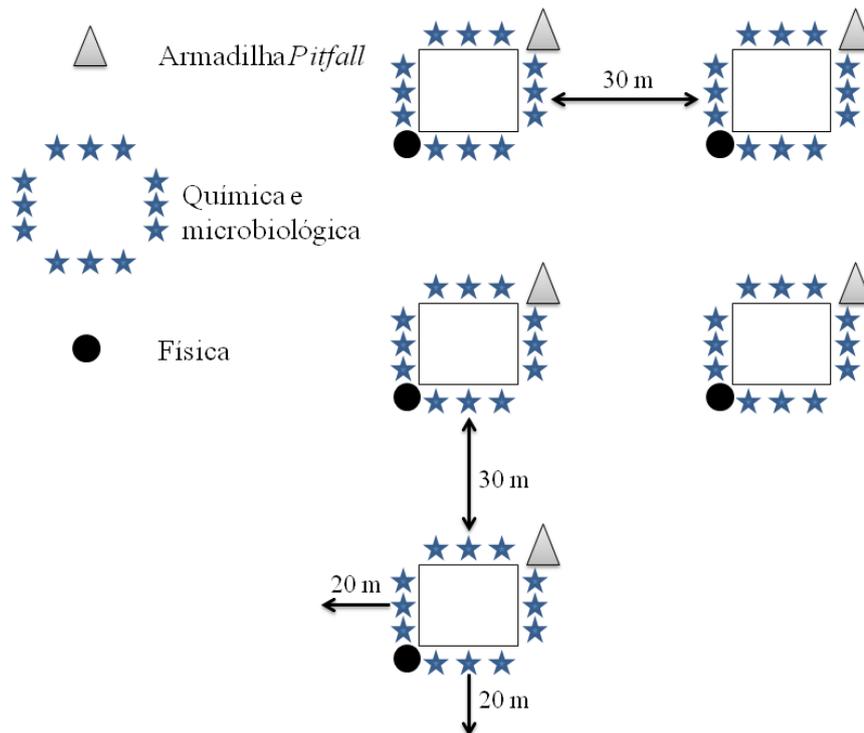
“-”: ausência de informações.

As coletas foram realizadas em duas estações distintas, no inverno (julho e agosto de 2011) e verão (dezembro de 2011 e janeiro de 2012), por meio de armadilhas de solo (*Pitfall traps*). Nos mesmos pontos também foram coletadas amostras de solo para análises físicas, químicas e microbiológicas, de forma sistemática, em grade amostral de 3×3 pontos, com espaçamento entre cada ponto de 30 m (para evitar a autocorrelação) e 20 m de bordadura, ou seja, um grid central de 1 ha para cada SUS.

O esquema de amostragem foi o mesmo utilizado para os outros estudos do Projeto SISBIOTA/SC, porém, para o presente estudo, foram considerados apenas os cinco primeiros pontos amostrados (totalizando 15 amostras por SUS). Isso porque o número de colêmbolos por amostra foi superior ao esperado e, desta forma, haveria necessidade de muito tempo para

morfotipar todas as amostras, o que não seria possível devido ao período disponível para a conclusão das atividades do mestrado (Figura 5).

Figura 5 - Desenho amostral que foi utilizado para a realização das coletas, demonstrando apenas os cinco pontos utilizados. Armadilhas de solo (*Pitfalls traps*) e pontos onde foram coletadas as amostras de solo para análises químicas, microbiológicas e físicas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

3.2 AMOSTRAGEM DE COLÊMBOLOS

O método de armadilhas de solo (*Pitfall traps*) consiste na instalação de recipientes com 8 cm de diâmetro (frascos de vidro), contendo solução com cerca de 200 mL de água com detergente (proporção 3:1) e extremidade vazada (boca) nivelada à superfície do solo (BARETTA et al., 2014). Os frascos permaneceram a campo durante três dias (72 h). Após foram retirados, fechados e levados ao laboratório para a realização da limpeza e a classificação dos organismos coletados, os quais foram armazenados em álcool absoluto (99,5%). Em seguida, os colêmbolos foram morfotipados. Ressalta-se que devido ao objetivo do estudo foram considerados somente os organismos da classe Collembola.

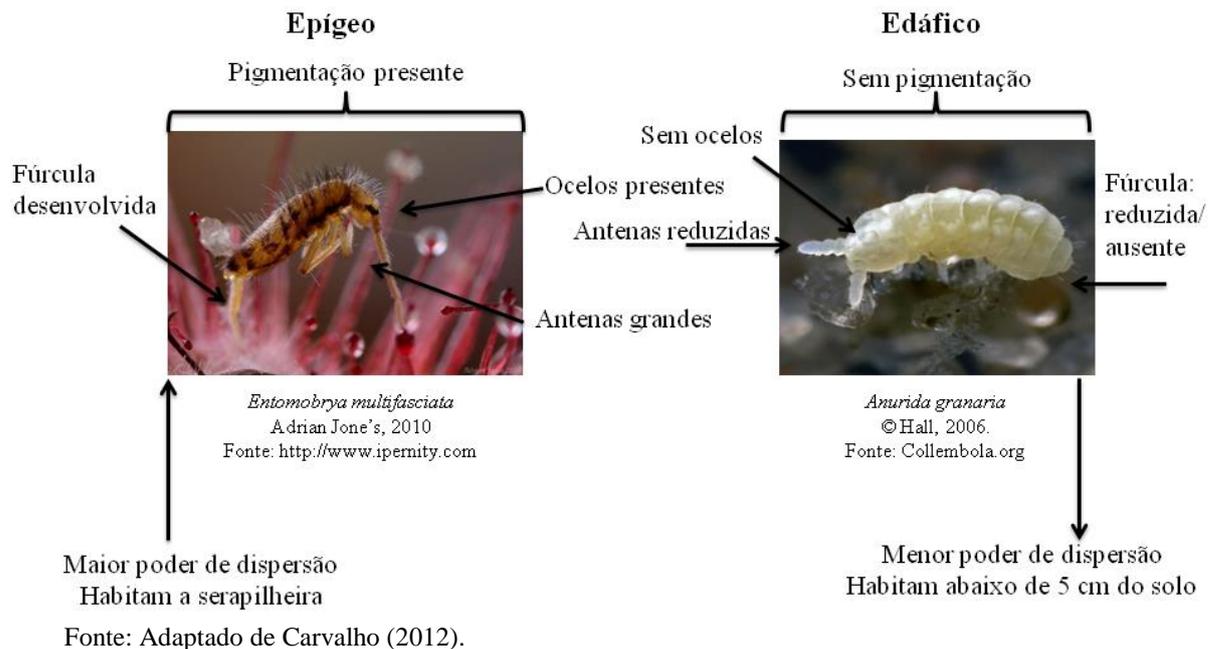
3. 3 MORFOTIPAGEM DE COLÊMBOLOS

As triagens das armadilhas foram realizadas manualmente e todos os organismos pertencentes a classe Collembola foram separados e fixados em álcool 100%, em que posteriormente foi realizada a contagem e identificação dos morfotipos.

Para a morfotipagem foi utilizada uma lupa, com aumento de até 50 vezes, para análise das características morfológicas, as quais integram o conceito de características funcionais (VIOLLE et al., 2007) e vem sendo adaptada para invertebrados do solo.

A separação dos colêmbolos em morfotipos ocorre de acordo com o grau de adaptação ao solo pelo índice EMI (*Eco-morphological index*), nos quais se pressupõem que organismos com redução no tamanho das antenas, ausência de ocelos e reduzida pigmentação são mais edáficos e, portanto, com menor poder de dispersão (REIS et al., 2016) (Figura 6).

Figura 6 - Esquema representativo das características associadas a um colêmbolo edáfico (Edáfico) e um colêmbolo com elevado poder de dispersão (Epígeo).



Para a identificação dos morfotipos foram observadas cinco características em cada organismo: presença ou ausência de ocelos, pelos e/ou escamas, pigmentação, comprimento de antenas e tamanho de fúrcula (Tabela 4) (OLIVEIRA FILHO et al., 2016).

A cada característica foi atribuído um valor parcial do EMI e a soma desses valores indicou uma maior ou menor adaptação dos colêmbolos ao solo. Este índice pode variar entre 0 e 20. Quanto maior o valor do EMI, maior sua adaptação ao solo e menor o poder de dispersão

do indivíduo, enquanto o menor valor corresponde a menor adaptação ao solo e maior poder de dispersão. A cada nova combinação de características foi atribuído um morfotipo diferente (OLIVEIRA FILHO et al., 2016).

Por fim, com o valor de EM total para cada morfotipo, estes foram separados em três grupos: edáficos (com vida no solo), que engloba os morfotipos com valores variando de 14 a 20; hemiedáficos (intermediários), com valores entre 8 a 12 e epígeos (habitantes da serapilheira), aqueles com valores entre 0 a 6.

Tabela 4 - Características e valores das características para o cálculo do valor EMI e para a distinção de diferentes morfotipos.

| Características | Codificação | Valor parcial |
|---------------------|--|---------------|
| Ocelos | Presentes | 0 |
| | Ausentes | 4 |
| Tamanho das antenas | Comprimento da antena maior que o comprimento do corpo | 0 |
| | Comprimento da antena maior que metade do comprimento do corpo | 2 |
| | Comprimento da antena menos que metade do comprimento do corpo | 4 |
| Fúrcula | Presente | 0 |
| | Presente, mas reduzida | 2 |
| | Ausente | 4 |
| Pelos/Escamas | Presentes | 0 |
| | Ausentes | 4 |
| Pigmentação | Presente, com padrões | 0 |
| | Presente, sem padrões | 2 |
| | Ausente | 4 |

Fonte: (OLIVEIRA FILHO et al., 2016).

3.4 ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO

Para análise dos atributos químicos e microbiológicos do solo, foram coletadas quinze subamostras no entorno de cada um dos pontos do grid de amostragem (Figura 5) na camada de 0-10 cm, com o propósito de obter uma amostra composta representativa. A determinação dos atributos químicos (Anexo B - Tabela 1 e Tabela 4) ocorreu conforme metodologia de

Tedesco et al. (1995), sendo avaliados: pH em água, índice SMP, P, K, MO, Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $H+Al$, CTC_{pH7} , N e relação C/N.

Para os atributos microbiológicos ligados a dinâmica do carbono no solo (Anexo B - Tabela 2 e Tabela 5), foram determinados o carbono da biomassa microbiana (CMic) pelo método de fumigação-extração (VANCE; BROOKS; JENKINSON, 1987) e atividade microbiana pela determinação da respiração basal microbiana (RMic) (ALEF; NANNIPIERI, 1995). Com os resultados da RMic e do CMic foi calculado o quociente metabólico (qCO_2) (TÓTOLA; CHAER, 2002). O carbono orgânico total (COT) foi determinado por combustão seca, em equipamento Elementar Vario EL Cube. A partir dos resultados de CMic e Carbono Orgânico Total (COT) calculou-se o quociente Microbiano ($qMic$) expresso pela percentagem de CMic em relação ao COT (ANDERSON, 1994).

Na avaliação dos atributos físicos do solo (Anexo B - Tabela 3 e Tabela 6), foram coletadas amostras com estruturas preservadas em cilindros de aço com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura. Os atributos densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro), bioporos (Bio) e densidade de partículas (Dp) seguiram a metodologia da Embrapa (1997). A umidade volumétrica do solo foi realizada no laboratório, com as amostras secas em estufa a 105 °C por um período de 24 horas. A granulometria do solo foi determinada seguindo o método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986) e a estabilidade de agregados foi realizada de acordo com Kemper e Chepil (1965).

3.5 ÍNDICE DE QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO

O índice de qualidade biológica do solo (*Biological Quality of Soil* - QBS) foi proposto por Parisi (2001) e consiste em quanto maior for a qualidade do solo, maior será o número de grupos de microartrópodes bem adaptados a ele. Esse índice (QBS) leva em consideração o índice eco-morfológico. Assim, Parisi et al. (2005) geraram valores de EMI para diferentes grupos de organismos edáficos, como uma maneira de tentar abranger todos os grupos da fauna do solo. No caso de organismos como os colêmbolos, que pudessem ter mais de um valor de EMI, o QBS é determinado apenas pelo EMI mais alto, ou seja, os organismos mais adaptados é que determinam o valor final do índice para o grupo. Porém, ressalta-se que no presente estudo foi utilizada uma adaptação para o cálculo do índice QBS, como forma de melhor explicar o comportamento dos colêmbolos, definido pela Equação 1.

$$\text{Equação 1: } QBS = \sum (n^{\circ} \text{ coll} \times \text{valor EMI})$$

Onde, “n° coll” é o total de colêmbolos de determinado grupo morfológico (morfotipo); o qual é multiplicado pelo valor EMI, correspondente a pontuação total do índice eco-morfológico deste mesmo morfotipo. Posteriormente, faz-se a soma para abranger todos os morfotipos de colêmbolos encontrados em cada SUS estudado. Desta forma, procura-se obter uma ideia mais abrangente em termos de escala de adaptação ao ambiente, pois trata-se da comparação entre SUS, em um gradiente de intensificação do uso do solo.

Além do QBS, utilizou-se o valor das características da comunidade (mT), calculada como média ponderada de um determinado morfotipo, a qual leva em consideração a abundância dos organismos (VANDEWALLE et al., 2010), avaliando sua participação real em relação ao total de colêmbolos, como expressa pela Equação 2.

$$\text{Equação 2: } mT = \sum \left[\left(\frac{n^{\circ} \text{ coll}}{\text{total coll}} \right) \times \text{valor EMI} \right]$$

Sendo, “n° coll” é o conjunto de colêmbolos de determinado grupo morfológico; e o “total coll” corresponde a soma de indivíduos distribuídos em todos os morfotipos presentes em cada SUS e o resultado desta divisão é então multiplicado pelo valor EMI. Ou seja, um índice de "0" indica que não há afinidade do morfotipo com a adaptação edáfica, enquanto um índice de "20" indica elevada afinidade para uma categoria de características de adaptação edáfica. Assim, através da mT tem-se uma informação complementar, que se trata da distribuição de frequências em cada categoria (VANDEWALLE et al., 2010).

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

As análises foram efetuadas ao nível de SUS, utilizando o valor de três municípios (réplicas verdadeiras dos SUS) e cinco amostras por município ($n=3 \times 5=15$). Cada município foi considerado como sendo réplica verdadeira de cada SUS. Os morfotipos de Collembola encontrados foram analisados por meio da abundância, índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') e Índice de Dominância de Simpson (D), uniformidade de Pielou (J), riqueza de morfotipos e diversidade de Margalef, para cada SUS, utilizando o *Software Past 3,0* (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

Para comparar os índices de diversidade entre os SUS em cada época, foi utilizado análise de variância (ANOVA) de efeitos principais utilizando o teste *post-hoc* de Newman

Keuls ($p < 0,05$), e para as variáveis que não atenderam os pressupostos de normalidade e homogeneidade foi utilizado teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, empregando o programa Statistica versão 7 (STATSOFT, 2004). Escolheu-se estes métodos por eles já terem sido utilizado em outros estudos (DOS SANTOS, 2017; POMPÊO et al., 2017). E, a fim de atender os pressupostos de normalidade e homogeneidade, hipóteses fundamentais para a ANOVA, transformou-se os dados, quando necessário. Para a elaboração dos textos e figuras foram utilizadas as médias dos dados não transformados (\pm erro padrão).

Os resultados de abundância de morfotipos foram submetidos a Análise de Correspondência Destendenciada (*Detrended Correspondence Analysis* - DCA), para obter o valor do comprimento do gradiente. Analisando o comprimento do gradiente, obteve-se um resultado inferior a três (≤ 3), significando assim, que os dados apresentaram uma resposta linear, recomendando-se a utilização da Análise de Componentes Principais - ACP (*Principal Component Analysis* - PCA) (ter BRAAK; SMILAUER, 2002).

A abundância de morfotipos foi utilizada como variável resposta (efeito) e os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo como variáveis ambientais explicativas nas ACPs. As variáveis explicativas colineares foram verificadas pelo fator de inflação (*Variance Inflation Factor* - VIF) e por intervenções de “*forward selection*”, realizando contínuas análises de redundância (*Redundancy Analysis* - RDA) com base em permutações por teste de Monte-Carlo para cada tipo de variável. Em que foram retiradas as variáveis explicativas que apresentaram colinearidade e selecionadas as que melhor explicaram a variação dos dados ($p \leq 0,05$). Assim, foi possível a escolha de um conjunto mínimo de variáveis físicas, químicas e microbiológicas significativas, que melhor explicassem a variação dos morfotipos de Collembola em cada época de coleta. Por fim, somente as variáveis significativas das RDAs foram posteriormente utilizadas na ACP como variáveis ambientais explicativas, que demonstrassem as mudanças observadas nos grupos eco-morfológicos (BARETTA et al., 2014). Para a realização das análises multivariadas (DCA, RDA e ACP) utilizou-se o software estatístico CANOCO versão 4.5 (ter BRAAK; SMILAUER, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

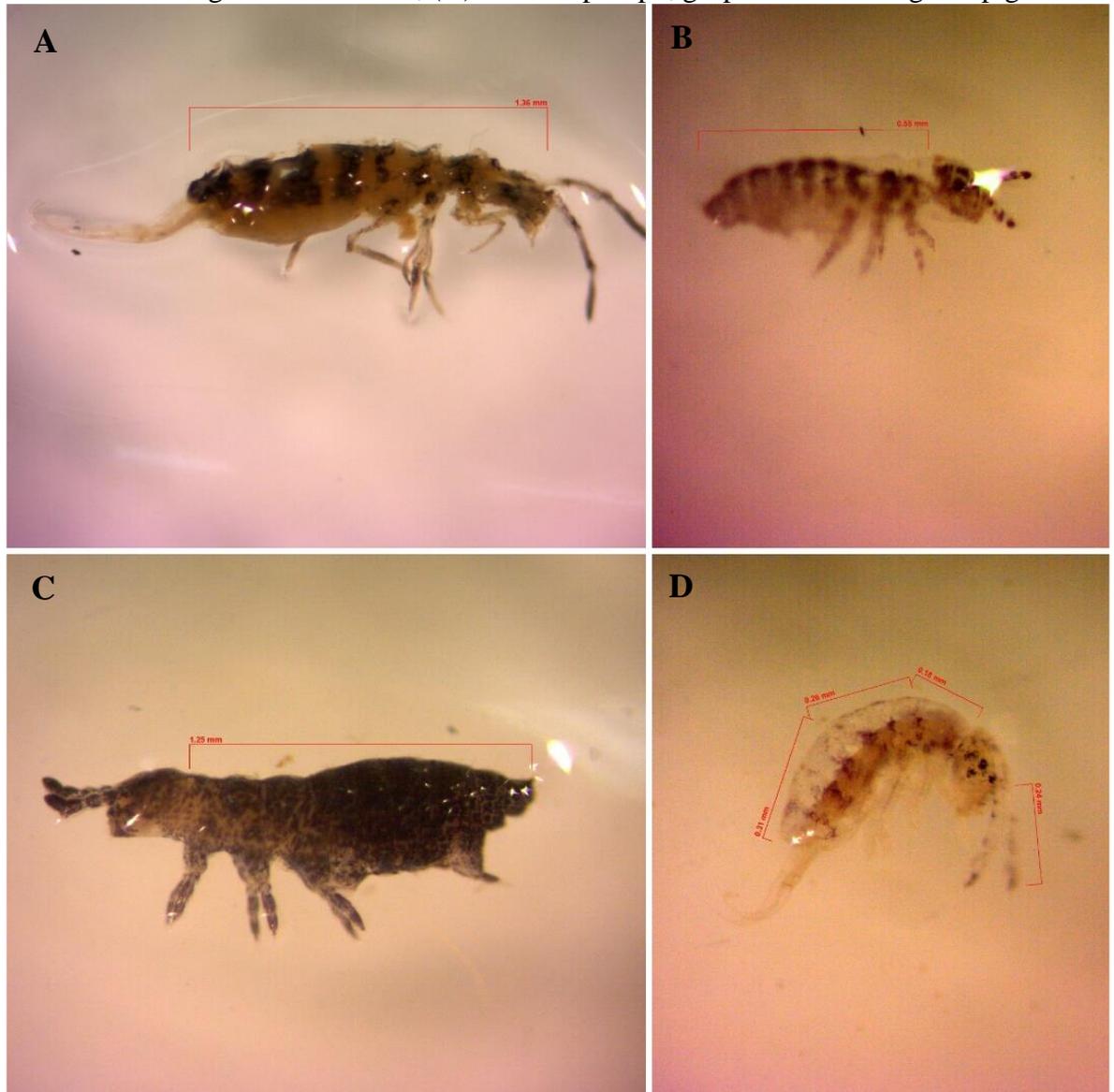
4.1 ABUNDÂNCIA, RIQUEZA E DIVERSIDADE DE MORFOTIPOS

Foram morfotipados 22.248 colêmbolos no verão, distribuídos em 18 morfotipos; e 24.376 colêmbolos no inverno, distribuídos em 12 morfotipos; totalizando 46.624 colêmbolos morfotipados, os quais foram distribuídos em 18 morfotipos de colêmbolos.

Foram encontrados 18 morfotipos de colêmbolos nos três grupos eco-morfológicos edáficos (Ed), hemiedáficos (H) e epígeos (Ep). O grupo eco-morfológico que apresentou maior representatividade foi o hemiedáfico com 46.002 indivíduos (98,67% da abundância total) seguido dos epígeos com 448 organismos (0,96%) e com o menor número os representantes dos edáficos, com 174 colêmbolos (0,37%).

Os morfotipos mais representativos foram: H48 (48,47%), H32 (37,44%), H50 (9,90%), H4 (2,70%), Ep9 (0,46%), Ep5 (0,38%), Ed15 (0,32%), H14 (0,11%) Ep17 (0,08%) e Ed6 (0,06), respectivamente. Já os menos expressivos, considerando a abundância igual e menor que 15 indivíduos foram os morfotipos: Ep21 (0,03%), H25 (0,02%), H30 (0,01%), H46 (0,01%), Ep 10 (0,01) e H16, H35, H57 e Ep24 (0,002%). A nomenclatura abreviada refere-se ao grupo eco-morfológico. Na Figura 7 são apresentados alguns dos morfotipos encontrados durante a morfotipagem.

Figura 7 - Ilustração de alguns colêmbolos morfotipados e seus respectivos grupos eco-morfológicos: (A): Morfotipo H50, grupo eco-morfológico hemiedáfico; (B): Morfotipo H32, grupo eco-morfológico hemiedáfico; (C): Morfotipo H48, grupo eco-morfológico hemiedáfico; (D): Morfotipo Ep5, grupo eco-morfológico epígeo.



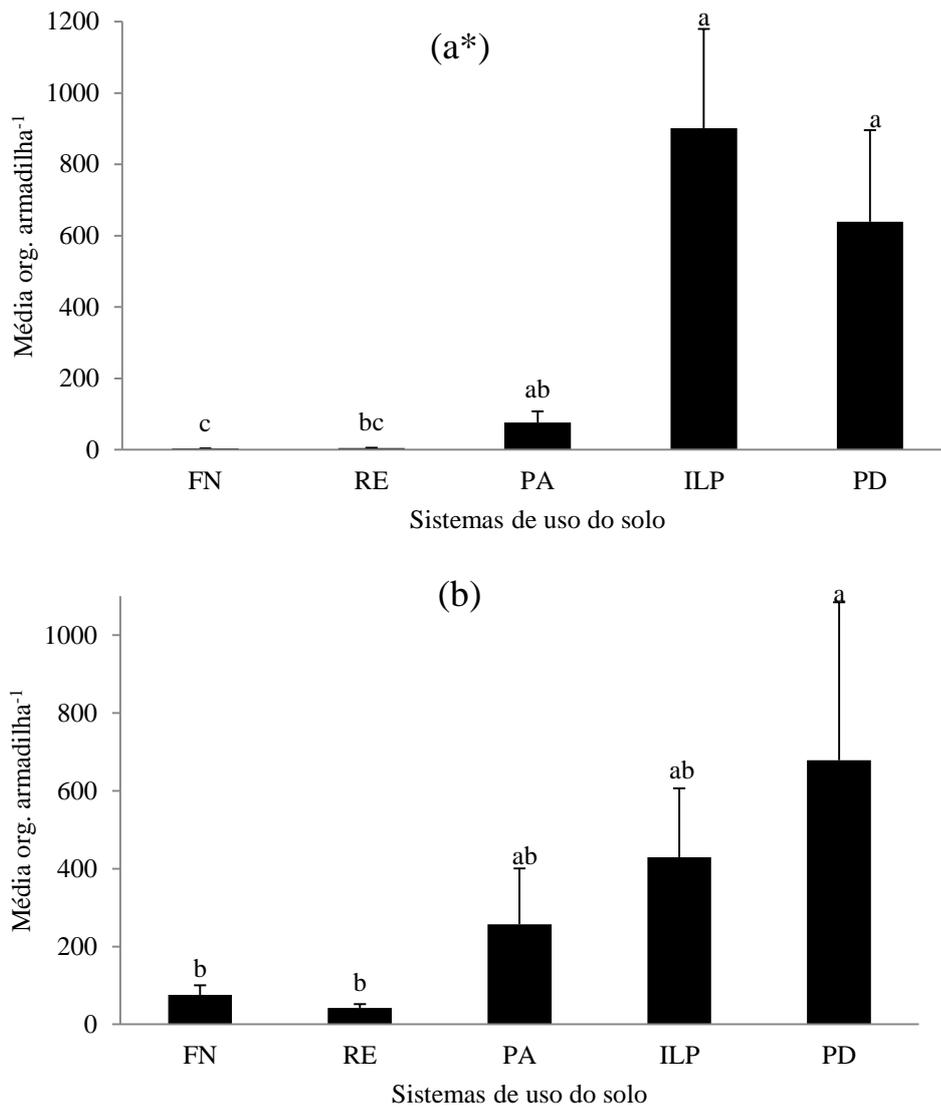
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A abundância total dos colêmbolos encontrados no inverno mostrou diferença estatística ($p < 0,05$) entre os SUS (Figura 8a), em que, o ILP apresentou a maior abundância de colêmbolos, porém sem diferir de PD e PA, os quais também não apresentaram diferenças entre si. Já a FN apresentou a menor abundância de colêmbolos, não diferindo de RE, sendo este último igual a PA.

Os dados do verão também mostraram diferenças estatísticas entre os SUS (Figura 8b), em que, o PD com a maior abundância de colêmbolos diferiu de FN e RE, os quais não apresentaram diferenças com PA e ILP. Os resultados demonstraram que os SUS que

apresentaram a maior abundância de colêmbolos foram o ILP (inverno) e PD (verão) e a menor abundância foram a FN (inverno) e o RE (verão).

Figura 8 - Abundância total de colêmbolos [organismos (org.) armadilha⁻¹] na região Sul de Santa Catarina, em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no inverno (a) e no verão (b).



(a*) Médias no inverno seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si, pelo teste de Kruskal-Wallis de comparações múltiplas ($p < 0,05$; $n = 15$).

(b) Médias no verão seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre si, pelo teste de *Newman Keuls* ($p < 0,05$; $n = 15$).

ns: não significativo.

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Dos Santos (2017), estudando os mesmos sistemas de usos do solo na região Leste de Santa Catarina, não encontrou diferenças significativas entre os SUS no verão, porém a autora

encontrou diferenças na abundância no inverno, em que, a maior abundância de colêmbolos foi encontrada nos sistemas ILP e PA, embora PA não tenha diferido de FN, PD e RE. Para a autora, o que pode ter favorecido esse resultado são as práticas utilizadas no sistema ILP, como a rotação de culturas e a diversificação de alimentos na serapilheira, junto com boas práticas de correção do solo e entrada de animais.

Normalmente, espera-se uma maior abundância de organismos nas áreas de FN, como geralmente é encontrado em outros estudos (DA SILVA et al., 2012; POMPEO et al., 2016). Por outro lado, a maior abundância em PD e ILP pode estar relacionada ao bom manejo adotado nestes sistemas, com a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, melhorando o microclima para a fauna edáfica (BARTZ; PASINI; BROWN, 2013). Além da manutenção dos resíduos culturais, como pode ser observado no histórico de PD e ILP, há também rotação de culturas entre o inverno e verão, o que favorece habitat mais diversificado e com diferentes ofertas de alimento, diferentemente do que seria em uma área de monocultura (plantio convencional).

No estudo de Portilho et al. (2011), os autores encontraram que os sistemas ILP e PD, interferem de forma positiva nos parâmetros ecológicos, na riqueza e na diversidade da comunidade de invertebrados da fauna do solo. Os mesmos autores destacaram que é possível inferir que sistemas de manejo mais conservacionistas favoreçam o equilíbrio dinâmico da fauna invertebrada do solo e, conseqüentemente, a conservação dos agroecossistemas.

Sobretudo, alguns estudos indicam que a aplicação de substâncias exógenas, por exemplo, adubos orgânicos, aumentam a atividade dos microrganismos (ZHANG et al., 2014), o que constitui fonte de alimento para muitos colêmbolos e ácaros (SCHEU; FOLGER, 2004). Através do histórico dos SUS, pode-se observar que o sistema ILP localizado em Orleans recebeu aplicação de cama de aviário, o que conseqüentemente disponibiliza maior quantidade de matéria orgânica, que serve indiretamente de alimento para os colêmbolos, favorecendo o desenvolvimento da sua população.

Outro fator determinante para a abundância de organismos nos SUS pode ser a presença de predadores naturais e, este fato, pode ter colaborado para que a FN não apresentasse nem no inverno e nem no verão os maiores valores de abundâncias de colêmbolos. A esse respeito, Machado et al. (2015) ao analisarem a comunidade de organismos edáficos em florestas com diferentes estágios sucessionais (floresta em estágio inicial; floresta secundária em estágio médio; e floresta secundária com estágio avançado) verificaram presença maior de grupos de predadores (Araneae, Opilionida, Chilopoda e Pseudoscorpionida) em áreas onde o processo de sucessão encontrava-se avançado.

No mesmo estudo de Machado et al. (2015), os autores encontraram nas áreas de estágio inicial e médio um maior número de indivíduos do grupo Entomobryomorpha (Collembola) do que nas áreas de estágio avançado. Para os autores, esses resultados podem ser decorrentes da maior incidência de precipitação e também porque nessas áreas, de maneira geral, não houve participação expressiva de grupos predadores, os quais poderiam controlar as populações do grupo Entomobryomorpha, e, conseqüentemente, em sua expressividade nos valores de abundância. Já a diminuição na composição relativa desse grupo na área de estágio avançado pode estar relacionada à melhor estruturação da cadeia trófica, em que, dentre os grupos funcionais constatados, verificou-se a maior presença de predadores.

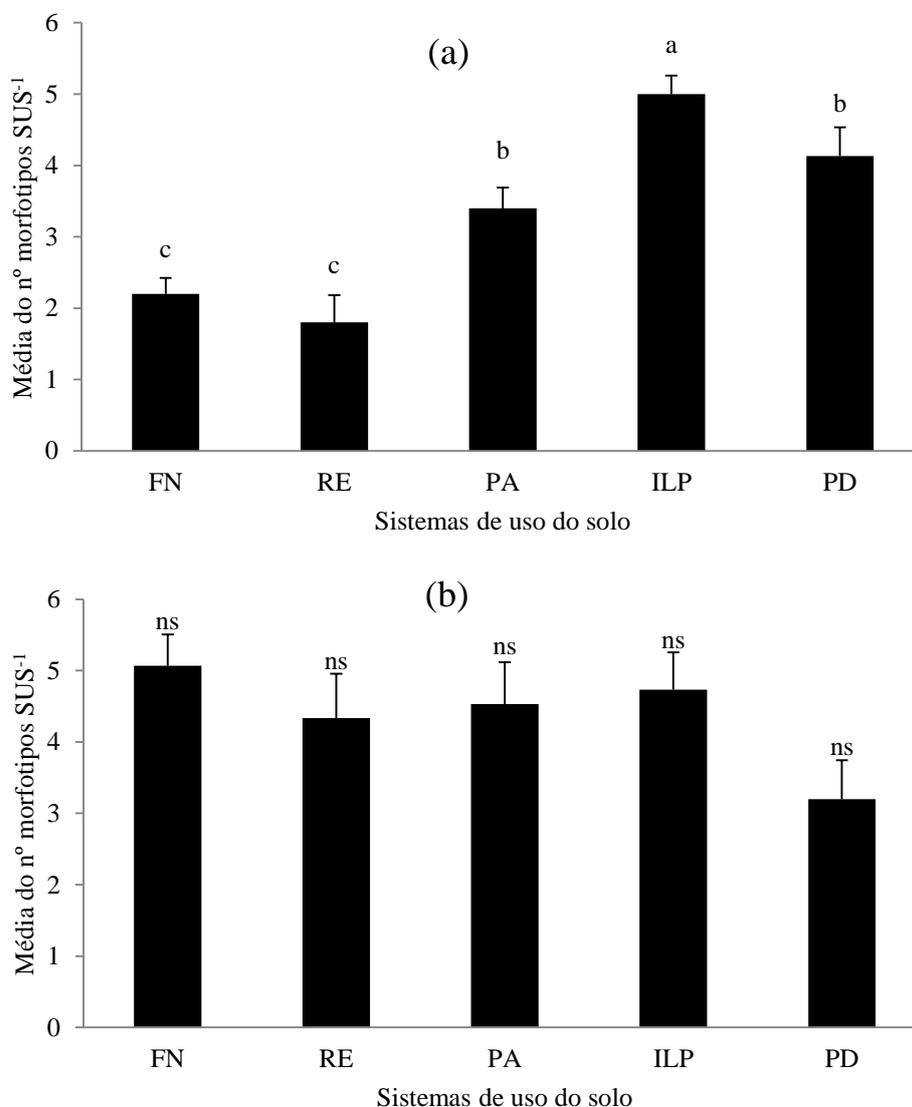
Os sistemas florestais, ao evoluírem ao longo dos estágios sucessionais, tendem a um equilíbrio dinâmico, com uma maior complexidade estrutural, redundância funcional e maior controle dos processos ecológicos. Neste contexto, a ocorrência de predadores indica uma estrutura trófica mais controlada, com redistribuição de energia entre grande número de espécies, havendo melhoria na estrutura da cadeia alimentar (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2005).

Já a baixa abundância de colêmbolos no reflorestamento de Eucalipto, tanto no inverno quanto no verão, pode ter relação com o material vegetal fornecidos aos organismos edáficos. Nesse sentido, Da Silva et al. (2012) verificaram que os eucaliptais são pobres biologicamente porque fornecem material de baixa qualidade nutritiva. As folhas dos eucaliptos possuem compostos químicos secundários, conhecidos como substâncias químicas voláteis que as tornam pouco palatáveis, ou seja, pouco atrativas para os organismos edáficos (PICKET et al., 2006; SILVA et al., 2012).

Em trabalho de Martins et al. (2013), ao analisarem o efeito dos óleos essenciais presente na degradação das folhas de *Eucalyptus globulus* utilizando teste de reprodução e fuga com colêmbolos da espécie *Folsomia candida*, verificaram que os óleos de eucalipto afetaram tanto a reprodução quanto a preferência alimentar dos colêmbolos. Os mesmos fugiram do local onde foi colocado óleo essencial juntamente com o alimento, neste caso, fermento biológico, que é utilizado em laboratório para alimentar esses organismos. A baixa qualidade dos recursos alimentares neste sistema pode ser uma explicação para a baixa abundância de colêmbolos.

Para riqueza de morfotipos encontrados no inverno (Figura 9a) o sistema RE, com a menor riqueza de morfotipos de colêmbolos não apresentou diferença estatística com a FN, porém foram diferentes de PA e PD, que não diferiram entre si. Já o sistema ILP diferiu estatisticamente de todos os SUS, apresentando a maior riqueza de morfotipos. Para o verão (Figura 9b) não foi verificada diferença estatística significativa entre os SUS estudados.

Figura 9 - Riqueza de morfotipos de colêmbolos [número (n°) de morfotipos] em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no inverno (a) e no verão (b) na região Sul de Santa Catarina.



Médias seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre si, pelo teste de *Newman Keuls* ($p < 0,05$; $n = 15$).
 ns: não significativo.
 Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Machado (2015) estudando os mesmos SUS e com o mesmo método de amostragem no Planalto Catarinense, encontrou maiores valores de riqueza de morfotipos de colêmbolos na FN no verão, já no inverno, a autora não encontrou diferença estatística entre os SUS.

Dos Santos (2017) estudando os mesmos SUS na região Leste de Santa Catarina, também não encontrou diferenças significativas entre os outros SUS no verão. No mesmo estudo, no inverno, a autora encontrou os maiores valores de riqueza nos sistemas FN e ILP, apesar do ILP não diferir dos sistemas de PD e PA. Para a autora o que influencia na riqueza

de espécies/morfotipos é a diversidade funcional e a menor perturbação em áreas de FN, associada a diversidade da vegetação, disponibilizando diversos recursos tróficos e de habitats para os colêmbolos.

Rosa et al. (2015) no Planalto-Sul Catarinense, avaliando a macrofauna edáfica como bioindicadora da qualidade do solo, encontraram maiores valores de riqueza na FN quando comparada aos mesmos SUS estudados no presente trabalho. Para os autores, ficou evidente que a intensidade de uso do solo é uma das fontes de variação na distribuição dos grupos da macrofauna edáfica. O estudo de Rosa et al. (2015) colabora com os resultados encontrados por Tsiafoul et al. (2015), que estudando os grupos de minhocas, colêmbolos e ácaros em todas as regiões da Europa observaram que a riqueza desses grupos, foram influenciadas negativamente pelo aumento da intensidade de uso da terra.

Os resultados dos índices de diversidade de Shannon-Wiener (H'), uniformidade de Pielou (J), riqueza de Margalef e Índice de Dominância de Simpson (D) para os morfotipos de colêmbolos, estão apresentados na Tabela 5. A diversidade de Shannon (H') no inverno, variou apenas entre RE e ILP. Os sistemas RE apresentou o menor valor do índice de Shannon (H') e ILP o maior valor de H' . No índice de Pielou (J) a FN apresentou o maior valor, não diferindo da RE, porém diferiu dos demais SUS estudados, que foram estatisticamente iguais entre si. Na riqueza de Margalef, a FN apresentou o maior valor, porém não diferindo estatisticamente de RE e PA, enquanto os demais SUS não diferiram entre si. Para o índice de dominância de Simpson (D) os SUS não diferiram estatisticamente.

Para os resultados do verão, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os SUS para os índices J e D. Para o índice H' , o sistema PD foi diferente de todos os SUS estudados, apresentando o menor valor de diversidade. Os demais SUS não apresentaram diferenças significativas. Para a riqueza de Margalef o PD apresentou o menor valor, não diferindo estatisticamente de PA e ILP, que não diferiram entre si e entre ao RE, e RE que não diferiu de FN. A FN apresentou o maior valor de riqueza de Margalef, porém demonstrou diferença significativa apenas de ILP e PD.

Tabela 5 - Valores dos índices de diversidade de Shannon (H'), uniformidade de Pielou (J) riqueza de Margalef, índice de Dominância de Simpson (D) nos sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração-Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no inverno e verão na região Sul de Santa Catarina.

| SUS | FN | RE | PA | ILP | PD |
|-----------------------------|--------|--------|---------|-------------------|--------|
| Inverno | | | | | |
| Diversidade de Shannon (H') | 0,65ab | 0,44b | 0,73ab | 0,85 ^a | 0,75ab |
| Uniformidade de Pielou (J)* | 0,95a | 0,73ab | 0,69b | 0,52b | 0,60b |
| Riqueza de Margalef | 0,92a | 0,48ab | 0,88ab | 0,78b | 0,70b |
| Dominância de Simpson (D) | 0,58ns | 0,55ns | 0,57ns | 0,52ns | 0,57ns |
| Verão | | | | | |
| Diversidade de Shannon (H') | 1,06a | 0,97a | 0,90a | 0,82 ^a | 0,53b |
| Uniformidade de Pielou (J) | 0,63ns | 0,60ns | 0,59ns | 0,48ns | 0,44ns |
| Riqueza de Margalef | 1,18a | 0,96ab | 0,82abc | 0,75bc | 0,50c |
| Dominância de Simpson (D) | 0,44ns | 0,37ns | 0,45ns | 0,49ns | 0,52ns |

ns: não significativo.

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de *Newman Keuls* ($p < 0,05$; $n = 15$).

*: Médias seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si, pelo teste de *Kruskal-Wallis* de comparações múltiplas ($p < 0,05$; $n = 15$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Pode-se observar no verão, que houve um aumento nos valores dos índices H' e J (Tabela 5), seguindo a ordem FN>RE>PA>ILP>PD. Essa escala de intensidade em relação ao uso do solo foi encontrada também por Rosa et al. (2015) apenas no verão, ao estudarem a riqueza de táxons da macrofauna edáfica. Em relação a H', os mesmos autores encontraram no verão para a macrofauna edáfica os maiores valores em FN, seguido do RE. O maior valor do índice H' na FN foi observado em diversos outros estudos avaliando a fauna edáfica (COPATTI; DAUDT, 2009; DA SILVA et al., 2012; POMPEO et al., 2016). Já no inverno, os índices estudados no presente estudo não apresentaram o padrão esperado de intensificação do uso do solo.

Um dos fatores que pode elevar a diversidade de Collembola em determinado ambiente, no caso de FN no verão e ILP no inverno é a riqueza de espécies vegetais presente. Sabais; Scheu e Eisenhauer (2011) encontraram que a riqueza de espécies de plantas levou a maior diversidade de Collembola em pastagens temperadas, assim como, Joimel (2015) também relatou resultados semelhantes, porém o autor estava estudando um ecossistema não cultivado recolonizado por vegetação espontânea. A resposta de Collembola ao aumento da riqueza vegetal pode ser devida a mudanças nos fatores abióticos, como exemplo, ambientes com maior diversidade de plantas do que ambiente com uma única espécie, proporcionam uma maior complexidade do habitat, refletindo em uma maior diversidade de recursos alimentares (VANHEE et al., 2017).

Fazendo uma observação geral dos valores de abundância de colêmbolos nos SUS (Figura 8), em comparação com os valores dos SUS na riqueza de morfotipos (Figura 9) e nos índices estudados (Tabela 5) verifica-se que ter um alto valor de abundância no sistema não necessariamente reflete em maior riqueza e índices de diversidade. Assim, quando observa-se o índice de dominância, nota-se que no SUS com alta abundância há uma maior dominância (valor de D) de apenas alguns indivíduos.

O índice de dominância de Simpson (D) reflete a probabilidade de dois indivíduos escolhidos ao acaso na comunidade pertencerem à mesma espécie, nesse caso grupos eco-morfológicos, e quanto mais alto for o valor de D, maior a dominância e menor a diversidade (URAMOTO; WALDER; ZUCCHI, 2005). Maiores valores de abundância de colêmbolos, como encontrados no PD no verão (Figura 8a) e maior valor no índice D (Tabela 4) podem significar maior dominância de uma ou poucas espécies, o que pode refletir em menor diversidade e consequentemente em uma menor resiliência para os serviços do ecossistema (BARETTA et al., 2011).

Já o fato do ILP, que no inverno apresentou maior abundância (Figura 8b) e o menor valor do índice D (Tabela 4) não seguir o mesmo padrão ocorrido no PD pode estar relacionado ao manejo adotado. Pois uma das desvantagens, dentre as inúmeras vantagens já citadas do sistema PD, assim como ocorre também no plantio convencional, é o uso de agrotóxicos para o controle de plantas espontâneas e de pragas (GUSSON, 2011; BORTOLETI JUNIOR et al., 2015), podendo ocasionar declínio de alguns táxons (ROSA et al., 2015).

Alguns estudos como de Zortéa et al. (2015) mostram que os colêmbolos podem ser sensíveis a alguns agrotóxicos, como a cipermetrina (piretróide), utilizada no controle de ectoparasitas de animais e de pragas em lavouras, que através do teste ecotoxicológico de fuga, comprovaram efeito negativo sobre o comportamento da espécie de colêmbolo *F. candida*. Em decorrência disto, algumas espécies de colêmbolos podem ser mais sensíveis e outras mais tolerantes, o que pode determinar a dominância de uma ou poucas espécies no sistema.

Odum (1988) aborda que a baixa diversidade seguida de uma alta dominância, pode estar relacionada com perturbações ocasionadas na população, principalmente de organismos numerosos e de rápida reprodução.

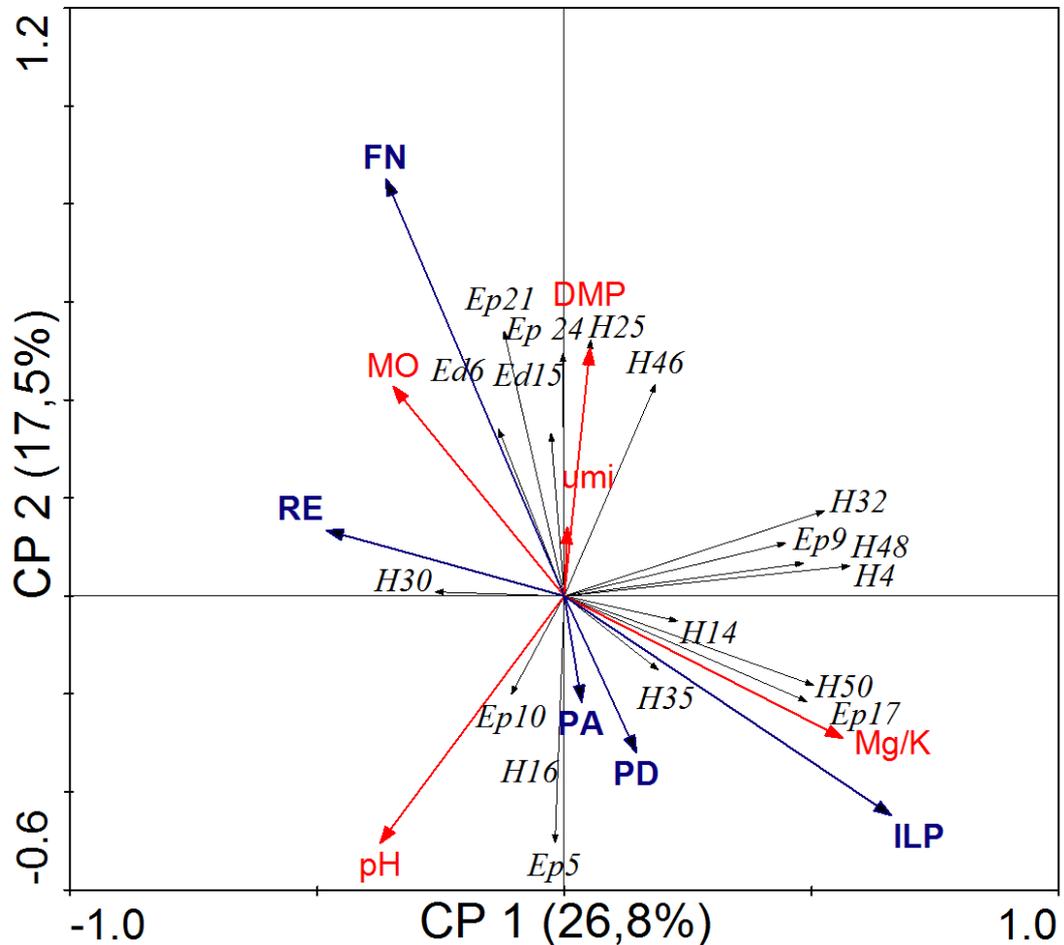
A diversidade de organismos edáficos está relacionada a complexidade estrutural do habitat, em que, presume-se que em ambientes mais complexos estruturalmente tem-se um maior diversidade de espécies (MAESTRI et al., 2013), pois há maior disponibilidade de nichos ecológicos, refúgios contra predadores (VIEIRA; MENDEL, 2002), recursos alimentares, homeostase do meio e maior diversidade de espécies vegetais (COPATTI; DAUDT, 2009).

4.2 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE

As análises de componentes principais (ACP) para abundância de morfotipos de colêmbolos, tanto no inverno (Figura 10) quanto no verão (Figura 11), apresentaram diferenças entre SUS. No verão, a variabilidade total dos dados da abundância dos morfotipos de colêmbolos foi explicada em 26,8% pela componente principal 1 (CP1) e 17,5% pela componente principal 2 (CP2), totalizando 44,3% (Figura 10). Observa-se através da ACP uma nítida separação dos SUS referente à intensidade de uso do solo, onde a FN e o RE ficaram separados dos outros sistemas (PA, PD e ILP).

A FN e o RE aparecem próximos, porém o RE se relacionou a somente um morfotipo hemiedáfico (H 30), enquanto que, a FN apresentou relação com seis morfotipos (Ed 6, Ed 15, Ep 21, Ep 24, H 25, H 46), distribuídos entre os grupos eco-morfológicos edáficos (Ed), hemiedáficos (S) e epígeos (Ep). Em seguida, PA e PD se mostram próximos, porém pouco relacionados com a abundância de colêmbolos e o ILP, mesmo com proximidade a PD e PA, apresenta a maior relação com os grupos eco-morfológico, oito morfotipos (H 32, H 48, H 4, H 14, H 35, H 50, Ep 17 e Ep9).

Figura 10 - Relação entre a componente principais 1 (CP 1) e componente principal 2 (CP 2) da Análise de Componentes Principais (ACP), dos morfotipos de Collembola (setas pretas) e sua relação com os sistemas de uso do solo (setas azuis) e as variáveis ambientais explicativas (setas vermelhas), no verão, na região Sul de Santa Catarina.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; ILP: integração lavoura-pecuária; PA: pastagem perene; PD: plantio direto; Ed: colêmbolo edáfico; H: colêmbolo hemiedáfico; Ep: colêmbolo epígeo; pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; COT: carbono orgânico total; Umi: Umidade; Mg/K: relação magnésio/potássio; DMP: diâmetro médio ponderado de agregados.

As variáveis ambientais utilizadas na ACP auxiliam na explicação da distribuição dos morfotipos em cada SUS, por meio da associação que demonstram após serem projetadas a *posteriori* na análise. Desta forma, os atributos MO, DMP e umidade explicaram a maior abundância de grupos eco-morfológicos na FN. Já a relação Mg/K explica os morfotipos associados à ILP e o pH foi a variável explicativa que melhor contribuiu para explicar os morfotipos mais associados ao PA e PD. O RE não teve nenhuma variável que contribuiu para a explicação da abundância de morfotipos de colêmbolos.

A variável ambiental MO foi maior na FN (Tabela 1 - Anexo B) e auxiliou a explicar a abundância de morfotipos de colêmbolos neste sistema. Em sistemas de FN não há

revolvimento ou preparo do solo e tem-se também maior diversidade de espécies vegetais e, em consequência, maior quantidade de raízes, que favorecem o aumento da deposição da serapilheira, influenciando em maior disponibilidade de matéria orgânica (MO) e recursos alimentares mais diversos para a fauna do solo. Os solos de florestas, de forma geral, são pobres em nutrientes e o que torna a floresta exuberante é justamente a dinâmica da MO no solo, através da eficiente atividade biológica dos organismos edáficos (POGGIANI, 2012).

Alguns morfotipos de colêmbolos são influenciados pela qualidade e quantidade de MO no solo, pois esses organismos se alimentam de material em decomposição, ou seja, participam na decomposição da MO e na ciclagem de nutrientes (BERUDE et al., 2015). Segundo Fernandes; Nessimian e Mendonça (2009), a diversidade e a riqueza de famílias de colêmbolos são sensíveis às interações antropogênicas e tornam-se mais diversas com o aumento dos níveis de MO.

A relação verificada pela ACP (Figura 10) entre FN, MO e alguns morfotipos de colêmbolos (especialmente Ed 6, Ed 15, H 57, H 46, H 25 e Ep 21) também já foi verificada em outros estudos, como exemplo o trabalho de Dos Santos (2017) no Leste Catarinense, o de Pompêo et al. (2016) no Planalto Sul Catarinense e o de Scoriza e Correia (2016) em Seropédica- RJ.

Além de maior quantidade de MO oferecida pela diversidade de espécies vegetais na FN, a maior quantidade de raízes favorece a agregação do solo (LOSS et al., 2011). O diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) é uma medida da estabilidade de agregados do solo, que indica a resistência do solo à erosão. Quanto maiores os valores de DMP melhor é para o solo, pois indica que o mesmo é resistente à desagregação, ocasionada pela ação da água da chuva, por exemplo. Portanto, a agregação do solo é importante para favorecer a presença de colêmbolos, pois estudos indicam que a estrutura do solo e a diminuição do espaço poroso habitável são essenciais na abundância de colêmbolos edáficos. Um espaço poroso habitável para os colêmbolos e outros organismos edáficos é aquele, em que, ele é capaz de favorecer o desenvolvimento de todas as suas estruturas morfológicas (OLIVEIRA FILHO; BARETTA, 2016).

O valor de DMP do presente estudo foi maior na FN (Tabela 3 - Anexo B), sendo também uma das variáveis que contribuiu para explicar a abundância de alguns morfotipos de colêmbolos neste sistema, principalmente dos morfotipos edáficos (Ed 6 e Ed 15), que são o grupo eco-morfológico mais influenciado por esta variável ambiental. Bonini e Alves (2011), também encontram em seu estudo maiores valores de DMP em área de FN, ao avaliarem a recuperação de um Latossolo Vermelho submetido há 17 anos com manejo agrícolas utilizando

adubos verdes, calcário, gesso e braquiária. Para os autores, a floresta nativa apresentou os maiores valores de DMP pelo fato do solo estar sob condição natural, ou seja, sem intervenção antrópica e com um teor médio de matéria orgânica.

O fornecimento contínuo de material orgânico pela serapilheira atua como agente de formação e estabilização dos agregados, proporcionando melhor estruturação do solo (CAMPOS; ALVES, 2008). Assim, pode-se dizer que as variáveis ambientais MO e DMP que ficaram próximas a FN favoreceram a abundância de alguns morfotipos de colêmbolos, pois a maior quantidade de MO presente nesse sistema auxilia na melhor estruturação do solo e na estabilidade de agregados (DMP). A relação entre essas variáveis também já foi verificada em outros estudos (LOSS et al., 2014; GAZOLLA et al., 2015).

Além da presença de MO, que influencia atributos como o DMP, as espécies de *Collembola* dependem de fatores abióticos como o pH e o teor de água no solo (SALAMON; SCHEU; SCHAEFER, 2008). Segundo Belini (2016), a maioria dos colêmbolos possuem uma íntima relação e dependência com o solo úmido, fazendo com que diversas espécies sejam sensíveis à dessecação. O autor explica que a umidade é vital a esses organismos porque eles apresentam dificuldade em reter água, devido à cutícula fina e à ausência de escleritos em parte do corpo, criando pontos de desidratação. A umidade, em conjunto também com a temperatura, são fatores que influenciam no habitat ideal e nas taxas de reprodução e crescimento dos indivíduos, bem como na sua distribuição vertical ao longo de um perfil (ARBEA; BASCO-ZUMETA, 2001).

Colêmbolos edáficos que habitam abaixo de 5 cm do solo são mais sensíveis às flutuações do microclima, em comparação com hemiedáficos e epígeos, em que, são fortemente influenciados pela umidade do solo, tendo preferência por alta umidade (OLIVEIRA FILHO; BARETTA, 2016). Ambientes florestais (RE e FN do presente estudo) oferecem um refúgio para a permanência de espécies mais sensíveis (com menor tolerância à seca), pois apresentam cobertura florestal que protege o solo de altas temperaturas e perda de umidade (VAN DOOREMALEN; BERG; ELLERS, 2013). Isto explica a presença de colêmbolos do morfotipo Ed 6 e Ed 15 na FN e a contribuição da umidade como variável ambiental explicativa nesse sistema.

Ainda em relação ao pH, Antonioli et al. (2013) encontraram em seu estudo que a diminuição do pH (maior acidez), dificulta o desenvolvimento dos colêmbolos no solo. E isso foi observado também por Steffen; Antonioli e Steffen (2007) estudando diferentes substratos para a reprodução de colêmbolos nativos, os quais utilizaram amostras de solo coletadas em área de pomar de citrus e bosque de pinus, e constaram que o solo pertencente a área de citrus

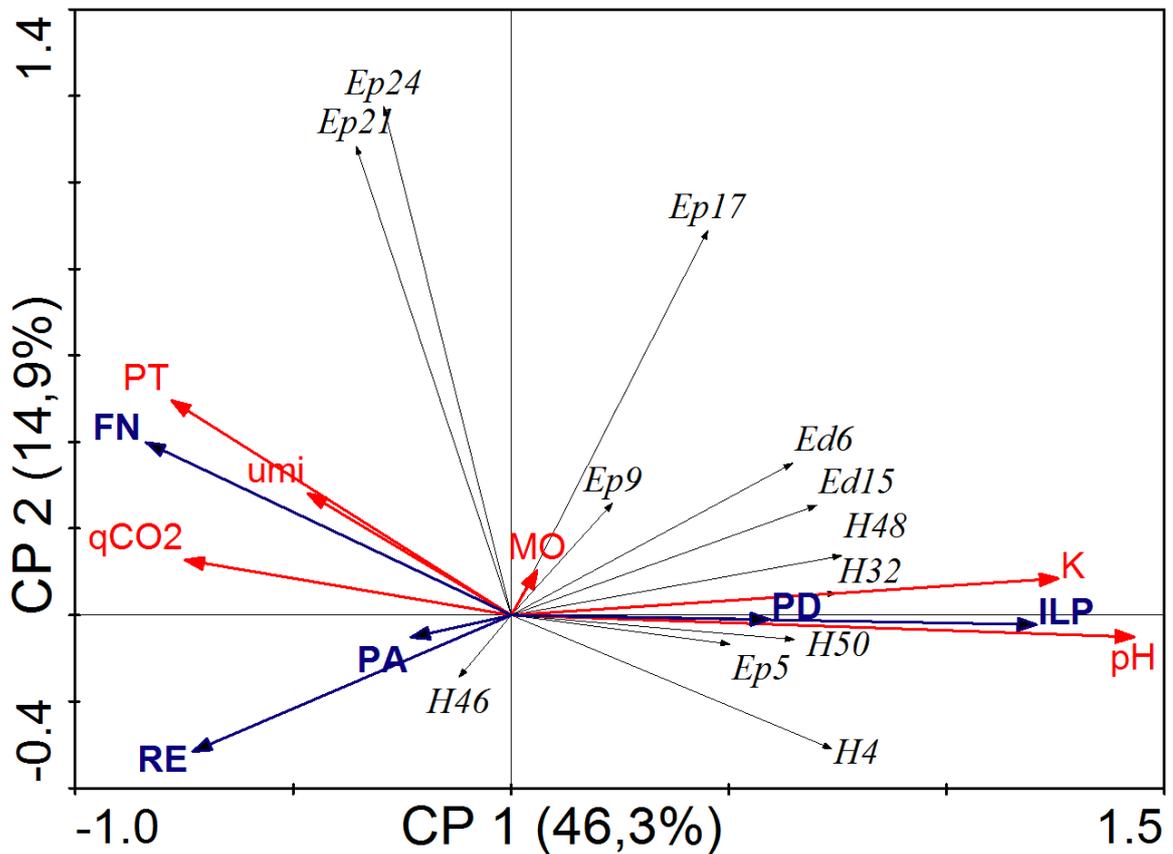
ofereceu melhores condições para a reprodução dos colêmbolos. Esses autores destacaram que os resultados podem estar relacionados ao pH, que na área de citrus se apresentou mais próximo à neutralidade.

Neste estudo, o pH foi a variável ambiental que auxiliou a explicar a abundância de colêmbolos nos sistemas PA e PD, que ficaram próximas e pouco relacionadas com a abundância de colêmbolos, se relacionando somente com os morfotipos Ep 10, H 16 e Ep 5. Porém, como pode se observar na Tabela 1 - anexo B, a PA foi o SUS que apresentou o menor pH e o PD o maior pH, comparando aos demais SUS estudados. Destacando que a relação dos colêmbolos com pH é um pouco mais complexa, visto que há diferentes espécies (evidenciada por morfotipos), e que elas possuem capacidades e limitações diferentes. Ponge (2000) verificou através de análises multivariadas a existência de dois grupos de colêmbolos em relação a sua sensibilidade às condições de pH do solo; os tolerantes à acidez; os que sobrevivem às condições de pH inferiores a 5; e os intolerantes, que necessitam de pH superior a 5. Isso explica a maior ou menor relação dos diferentes morfotipos ao pH do solo do presente estudo.

No inverno, a variabilidade total dos dados da abundância dos morfotipos dos colêmbolos foi explicada em 46,3% pela componente principal 1 (CP1) e 14,9% pela componente principal 2 (CP2), totalizando 61,3% (Figura 11). Observa-se através da ACP para a abundância dos morfotipos de colêmbolos uma nítida separação dos SUS referente a intensidade de uso do solo, onde a FN ficou separada dos demais SUS, sendo que o RE e PA ficaram próximas entre si e afastadas de PD e ILP que também ficaram relacionadas.

O RE e a PA aparecem próximos, porém o RE não se relacionou a nenhum morfotipo específico, enquanto que, PA se relacionou a um morfotipo hemiedáfico (H 46). O PD e ILP, que aparecem próximos e mais similares foram os SUS que relacionaram com a maioria dos morfotipos (Ep 17, Ep 9, Ep 5, Ed 6, Ed 15, H 48, H 32, H 50 e H 4). Já a FN que apareceu sem proximidade a nenhum SUS e no inverno se relacionou com apenas dois morfotipos epígeos (Ep 24 e Ep 21).

Figura 11 - Relação entre a componente principais 1 (CP 1) e componente principal 2 (CP 2) da Análise de Componentes Principais (ACP), dos morfotipos de Collembola (setas pretas) e sua relação com os sistemas de uso do solo (setas azuis) e as variáveis ambientais (setas vermelhas) utilizadas como explicativas, no inverno, na região Sul de Santa Catarina.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; ILP: integração lavoura-pecuária; PA: pastagem perene; PD: plantio direto; Ed: colêmbolo edáfico; H: colêmbolo hemiedáfico; Ep: colêmbolo epígeo; K: Potássio; pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; qCO_2 : quociente metabólico; PT: Porosidade total; Umi: Umidade.

As variáveis ambientais utilizadas na ACP auxiliam na explicação da distribuição dos morfotipos em cada SUS, por meio da associação que demonstram após serem projetadas a *posteriori* na análise. Desta forma, as variáveis ambientais PT, qCO_2 e umidade contribuem para explicar a abundância de alguns grupos eco-morfológicos (Ep 24 e Ep 21) na FN. Já o K e pH explicam os morfotipos associados ao PD e ILP. A variável MO ficou muito próxima ao centro de ordenação, não se associando fortemente a nenhum SUS no inverno, ficando mais próximo do grupo eco-morfológico Ep 9. Para os SUS RE e PA, os mesmos não tiveram nenhuma variável que contribuiu para a explicação da abundância de morfotipos de colêmbolos.

A variável ambiental PT é uma propriedade influenciada pelo manejo do solo (MESQUITA; DIAS JUNIOR, 2013) e é importante para o desenvolvimento das plantas,

porque nos poros ocorrem fenômenos que estimulam condições favoráveis ao crescimento do sistema radicular, como as reações químicas e biológicas, fluxo de fluídos e difusão de gases e íons (AMARO FILHO; ASSIS JR; MOTA, 2008). Normalmente as florestas nativas possuem maior PT do solo em comparação com áreas de reflorestamento, pastagem e cultivos agrícolas, e isso se dá pela conservação do solo e presença de raízes nessas áreas (MELLONI et al. 2008; LOSS et al., 2014). Sperandio et al. (2013) encontraram maiores valores de porosidade total do solo em área de FN, comparando-a com área de pastagem e cultivo de café, e os autores atribuíram os resultados ao fato da FN ser um ambiente pouco perturbado e mais protegido de intempéries.

Além disso, a PT é uma propriedade que impacta a comunidade de colêmbolos, pois esses organismos buscam abrigo e se movimentam principalmente através das estruturas porosas do solo (MOÇO et al. 2005). Dos Santos (2017) estudando morfotipos de Collembola no inverno e verão na região Leste Catarinense nos mesmos SUS, encontrou no verão a PT como variável ambiental explicativa na área de FN, destacando que os morfotipos de todos os grupos eco-morfológicos associados à FN, são conseqüentemente beneficiados pela melhor PT do solo.

O qCO_2 é um parâmetro que indica a atividade microbiológica do solo e colabora para verificar se o solo está aumentando ou não seu estoque de carbono (PRIMIERI; MUNIZ; LISBOA, 2017). Na FN, o qCO_2 contribuiu pouco para explicar a abundância de alguns morfotipos, em que, de acordo com a análise microbiológica (Tabela 5 - Anexo B), esse SUS juntamente com o ILP apresentaram os menores valores desta variável. Já os maiores valores de qCO_2 foram encontrados nas áreas de RE e PA. Estudos como o de Islan e Weil, (2000) destacam que maiores valores desse quociente são encontrados em locais com condições ambientais estressantes, indicando que quanto tem-se o aumento de qCO_2 reflete em maiores perdas de C no sistema, através do processo respiratório, que indica uma condição de estresse ou distúrbio.

Primieri; Muniz; Lisboa (2017) encontraram em seu estudo através da avaliação da dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos (Campo Nativo e Floresta Ombrófila Mista) e plantações florestais (plantio de Eucalipto e Pinus) de Santa Catarina, maiores valores de qCO_2 nas plantações florestais. Para os autores, os resultados demonstram que os sistemas de uso da terra com reflorestamento estão desequilibrados e perdem muito carbono para a atmosfera, e os menores valores de qCO_2 nos ecossistemas nativos, indicam que esses sistemas possuem menor interferência humana, apresentam menor perda de CO_2 para a atmosfera e desta forma, a biomassa é mais eficiente na ciclagem de nutrientes e no armazenamento de carbono.

Os maiores valores de $q\text{CO}_2$ nos sistemas RE e PA, que ficaram próximos e relacionados a somente um morfotipo hemiedáfico (H 46), podem indicar que as práticas de manejo nesses locais estão causando um estresse na biomassa microbiana do solo e, conseqüentemente, prejudicando a presença de morfotipos colêmbolos, principalmente dos grupos eco-morfológicos edáficos e epígeos.

4.3 ÍNDICE DE QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO (QBS)

Os resultados do índice QBS (Tabela 6), para os morfotipos de Collembola, não seguiram o gradiente de intensificação do uso do solo (FN>RE>PA>ILP>PD) nas duas épocas de amostragem.

No inverno, o ILP apresentou o maior valor do índice QBS em relação aos demais SUS (ILP>PD>PA>RE>FN) (Tabela 6). Já no verão, o SUS PD foi o que apresentou o maior valor do índice (PD>ILP>PA>FN>RE). Valores superiores do índice QBS indicam maior adaptação dos morfotipos de colêmbolos em determinado SUS (PARISI et al., 2005).

Tabela 6 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) para os grupos eco-morfológicos edáficos (Ed), hemiedáficos (H) e epígeos (Ep) nos sistemas de uso do solo na região Sul de Santa Catarina.

| SUS | QBS Ed | QBS H | QBS Ep | QBS total |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|-----------|
| Inverno | | | | |
| Floresta Nativa (FN) | 14 | 442 | 32 | 488 |
| Reflorestamento de Eucalipto (RE) | 0 | 702 | 6 | 708 |
| Pastagem Perene (PA) | 70 | 9840 | 22 | 9932 |
| Integração Lavoura Pecuária (ILP) | 862 | 118240 | 112 | 119190 |
| Plantio Direto (PD) | 1072 | 85324 | 20 | 86416 |
| Verão | | | | |
| Floresta Nativa (FN) | 90 | 10554 | 100 | 10744 |
| Reflorestamento de Eucalipto (RE) | 276 | 5042 | 372 | 5690 |
| Pastagem Perene (PA) | 58 | 33858 | 942 | 34858 |
| Integração Lavoura Pecuária (ILP) | 46 | 58590 | 588 | 59224 |
| Plantio Direto (PD) | 0 | 85636 | 382 | 86018 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O resultado do índice QBS no verão foi maior no SUS PD e menor no RE, não correspondendo com resultados encontrados por Dos Santos (2017) e Machado (2015), as quais avaliaram morfotipos de colêmbolos nos mesmos SUS, porém na região Leste e Planalto Catarinense, respectivamente. O mesmo padrão de resultado do índice QBS encontrado no

estudo de Dos Santos (2017) e Machado (2015) foi verificado no estudo de Pompêo et al. (2017) ao estudarem morfotipos de coleóptera nos mesmos SUS no Planalto Catarinense também encontraram o maior QBS na área de FN e o menor na PA.

Já para o inverno, Machado (2015) encontrou maior QBS na FN e menor no ILP, o que foi totalmente oposto ao verificado neste estudo, em que o QBS maior foi encontrado no ILP e o menor na FN, colaborando com o mesmo encontrado para Dos Santos (2017) que teve o maior QBS no ILP no inverno, porém o menor QBS foi observado no RE. Contudo, a região do Planalto Catarinense estudada por Machado (2015) apresenta condições climáticas e de solo bem diferente do presente estudo, demonstrando assim a importância de se estudar diferentes regiões e mais do que uma época de amostragem.

No estudo de Menta et al. (2018) os autores abordam que a agricultura convencional afeta mais a biodiversidade do solo do que as práticas mais conservacionistas como plantio direto, culturas de cobertura e rotação cultural; e que os valores de QBS podem ser afetados não apenas pelo preparo do solo (ex:arado), mas também por outras práticas, como fertilização orgânica ou química e culturas de cobertura.

Cluzeau et al. (2012) em estudo na França observaram uma maior abundância de colêmbolos nos sistemas agrícolas com intensidade moderada de uso em comparação com sistemas sustentáveis. Para os autores, esse resultado confirma que o impacto dos sistemas de gestão agrícola na biodiversidade, particularmente de Collembola, depende fortemente da natureza e intensidade das práticas agrícolas empregadas, incluindo rotações de culturas e preparo no solo.

O PD e ILP, em geral, apresentam revolvimento mínimo (ou nulo) do solo e também rotação de culturas e manutenção de restos culturais (palhada) no sistema, que favorecem o aumento da matéria orgânica e diversidade de habitat para a fauna invertebrada. Neste sentido, trabalhos realizados na região Centro-Oeste do País indicam que os sistemas ILP favorecem a manutenção e a diversidade da fauna edáfica (PORTILHO et al., 2011). Bem como o PD, devido às características de mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e cobertura do solo com restos vegetais (matéria orgânica) favorecem abrigo, alimento e conservação da biodiversidade de organismos edáficos (CASÃO JUNIOR et al., 2012; BARETTA et al., 2014).

Vale destacar que o único SUS que seguiu o grau de intensidade esperado no estudo foi o PA, que ficou na terceira posição em ambas as coletas (tanto no inverno quanto no verão), demonstrando uma maior estabilidade em relação a qualidade biológica. No estudo de Rosa et al. (2015) avaliando a macrofauna edáfica nos mesmos SUS, os autores verificaram que a PA

foi um dos SUS que se mostrou mais estável em termos de biodiversidade de grupos da macrofauna do solo.

Já o fato do QBS na FN ter sido menor no inverno e no RE ter sido menor no verão pode estar relacionado ao método de captura de colêmbolos, que no presente estudo foi armadilhas *Pitfalls*, que no geral, capturam organismos que habitam a serapilheira (epígeos) (AQUINO; AGUIAR-MENEZES; QUEIROZ, 2006). Segundo Vanhee et al. (2017) ambientes arborizados favorecem colêmbolos com hábitos edáficos e ambientes abertos colêmbolos com hábitos epígeos. Desta forma, notamos que os colêmbolos que mais influenciaram para o maior valor do QBS de PD e ILP foram a maior abundância (Figura 8) de colêmbolos, representados em sua maioria pelos grupos eco-morfológicos hemiedáficos e epígeos.

Em relação aos valores do QBS encontrados no inverno comparando com o verão (Tabela 6), observa-se que no geral os valores foram maiores durante o verão do que durante o inverno. Mohamedova e Lecheva (2013) também encontraram em seu estudo diferenças entre os valores do QBS entre as estações do ano, em que, para eles o maior valor de QBS foram encontrados no outono, seguido da primavera e depois verão. E de acordo com isso, os autores verificaram que entre os grupos estudados, os colêmbolos foram um dos que apresentaram maiores flutuações sazonais.

Em relação aos morfotipos de colêmbolos utilizados para obtenção do índice QBS, verificamos que alguns foram mais representativos para o total no seu grupo eco-morfológico, em cada época de amostragem (Tabela 7 e Tabela 8).

No inverno (Tabela 7), no grupo dos edáficos o morfotipo Ed 15 deteve a maior representatividade, principalmente em FN, PA e ILP, nos quais totalizou 100% do QBS edáficos em cada SUS. No PD o morfotipo Ed 15 ficou responsável por 84%. Em RE nenhum morfotipo edáfico apresentou alta abundância. Quanto aos hemiedáficos, o morfotipo H 4 foi mais representativo em FN (46%) e RE (38%), enquanto o morfotipo H 48 teve maior representatividade em PA (62%) e ILP (55%). No PD o morfotipo H 32 deteve 53% do QBS hemiedáfico. Em relação aos morfotipos epígeos, o Ep 9 apresentou boa frequência na maioria dos SUS: FN (56%), RE (100%), PA (82%) e ILP (54%), enquanto o Ep 17 foi mais representativo no PD (40%).

Tabela 7 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) dos morfotipos mais representativos para os grupos eco-morfológicos, nos sistemas Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no inverno, na região Sul de Santa Catarina.

| Edáficos (Ed) | | | | |
|------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| FN | RE | PA | ILP | PD |
| Ed15 (14) | 0 | Ed15 (70) | Ed15 (798) | Ed15 (896) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | Ed6 (176) |
| Outros 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiedáficos (H) | | | | |
| H4 (204) | H4 (264) | H48 (6072) | H48 (65224) | H32 (45120) |
| H 50 (152) | H50 (168) | H 32 (2960) | H32 (49300) | H48 (38896) |
| Outros (86) | 270 | 808 | 3692 | 1308 |
| Epígeos (Ep) | | | | |
| Ep9 (18) | Ep9 (6) | Ep 9 (18) | Ep9 (60) | Ep17 (8) |
| Ep17 (8) | 0 | Ep21 (4) | Ep17 (16) | Ep9 (6) |
| Outros 6 | 0 | 0 | 36 | 6 |

Outros: somas do QBS dos demais morfotipos.

Valores dentro dos parênteses indicam o valor do QBS representado pelo grupo eco-morfológico dentro do SUS.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Em relação a representatividade dos morfotipos no verão (Tabela 8), para os edáficos, o morfotipo Ed 6 teve maior representatividade no QBS edáficos em FN (53%) e ILP (70%), já o morfotipo Ed15 foi mais frequente nos sistemas RE (72%) e PA (70%). Para os hemiedáficos, o morfotipo H 32 foi encontrado mais frequentemente em todos os SUS, especialmente em FN (64%), RE (43%), PA (53%) e ILP (56%), já o morfotipo H 48 foi o mais frequente em PD (69%). Em relação aos epígeos, da mesma forma que foi observado no inverno, o morfotipo que deteve a maior representatividade na grande maioria dos SUS foi o Ep 9, especialmente em FN (54%), RE (90%), ILP (50%) e PD (63%). Já para PA o morfotipo Ep 5 representou 68% do QBS epígeo.

Tabela 8 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) dos morfotipos mais representativos para os grupos eco-morfológicos, nos sistemas Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no verão, na região Sul de Santa Catarina.

| Edáficos (Ed) | | | | |
|------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| FN | RE | PA | ILP | PD |
| Ed 6 (48) | Ed 15 (196) | Ed 15 (42) | Ed 6 (32) | 0 |
| Ed 15 (42) | Ed 6 (108) | Ed 6 (16) | Ed 15 (14) | 0 |
| Outros 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiedáficos (H) | | | | |
| H 32 (6710) | H32 (2160) | H32 (18020) | H32 (33100) | H48 (58760) |
| H50 (2704) | H50 (1960) | H48 (9264) | H 50 (19504) | H32 (17000) |
| Outros 1140 | 882 | 6574 | 5986 | 9876 |
| Epígeos (Ep) | | | | |
| Ep9 (54) | Ep9 (336) | Ep5 (642) | Ep9 (294) | Ep9 (240) |
| Ep21 (40) | Ep5 (24) | Ep9 (264) | Ep5 (222) | Ep5 (114) |
| Outros 6 | 12 | 36 | 72 | 28 |

Outros: somas do QBS dos demais morfotipos.

Valores dentro dos parênteses indicam o valor do QBS representado pelo grupo eco-morfológico dentro do SUS.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Pode-se observar que no verão houve melhor distribuição da ocorrência entre os SUS de colêmbolos edáficos quando comparado ao inverno. No inverno os sistemas ILP e PD foram as que mais tiveram representatividade de colêmbolos edáficos, enquanto no verão o PD não apresentou nenhum morfotipo edáfico. Esse resultado pode ter relação com o tipo de rotação de culturas que ocorre durante inverno e verão e também pode estar relacionado ao próprio clima da região, pois no inverno a temperatura é mais amena e favoreceu maior presença dos colêmbolos edáficos no sistema de PD do que o verão.

O grupo dos colêmbolos edáficos apresentam no geral como características morfológicas antenas curtas e ausência de ocelos, fúrcula (se presente é reduzida), pelos e pigmentação, e habitam as camadas inferiores do solo (abaixo de 5 cm). E devido a tais características são mais sensíveis a flutuações do microclima do que os grupos eco-morfológicos hemiedáficos e epígeos.

Embora nos sistemas de PD a palhada seja mantida sobre o solo e auxilia a manutenção e a menor oscilação da temperatura e umidade, o sistema é aberto e sofre mais influência do clima do que FN, por exemplo. Vanhee et al. (2017) encontraram em seu estudo que organismos da classe Collembola que vivem em ambientes abertos possuem ocelos, pelos e longas fúrculas e pernas, enquanto aqueles que vivem em ambientes arborizados exibem características opostas.

As florestas possuem um efeito de amortecimento contra o vento, geada e aridez (seca), permitindo a presença de espécies menos móveis e mais sensíveis (com menor tolerância a

condições do microclima, ex: espécies edáficas), pois encontram refúgios em ambientes florestais (CHERNOVA et al., 2010; ASHCROFT et al., 2012; VAN DOOREMALEN; BERG; ELLERS, 2013), possibilitando habitat favorável para o seu desenvolvimento e permanência. Assim, tais estudos trazem a possível explicação de uma menor ocorrência de colêmbolos edáficos nos SUS PD, ILP e PA durante o verão em comparação a FN e o RE.

Em relação aos colêmbolos epígeos, durante o verão também observou-se uma melhor distribuição desses organismos entre os SUS. Destacando que para o RE durante o verão, apresentou maior influência deste grupo eco-morfológico do que durante o inverno. Por outro lado, os hemiedáficos se apresentaram de forma muito similar durante o inverno e o verão e demonstraram maior representatividade em ambas as estações no SUS.

Os colêmbolos do grupo eco-morfológico epígeo vivem próximos à superfície do solo e na serapilheira, são mais tolerantes a flutuações do microclima, possuem fúrcula bem desenvolvida e no geral antenas grandes (podem ser maiores que a metade do corpo ou maiores que o corpo) e por isso possuem maior capacidade de dispersão em relação aos outros dois grupos eco-morfológicos. Além disso, possuem como característica presença de pigmentação, ocelos e pelos (Anexo C).

Através da avaliação dos valores obtidos pelo índice QBS é possível obter uma interpretação rápida e fácil da adaptação dos colêmbolos dentro de cada SUS e quais os morfotipos apresentaram maior representatividade. Além de apontar a influência dos SUS, também ficou evidente a interferência das épocas de coleta (inverno e verão) sobre a abundância de morfotipos de colêmbolos, onde através do valor de QBS notou-se que no verão os organismos possuem uma maior adaptação.

O índice QBS mostrou-se uma ferramenta rápida para avaliar a qualidade biológica do solo, e para próximos estudos seria interessante abranger uma maior quantidade de grupos de organismos do solo para o cálculo do índice, além de organismos com hábitos de vida e funções diferentes. Como exemplo o estudo de Mohamedova e Lecheva (2013), que os autores utilizaram Collembola, Chilopoda, Diplopoda, Diplura, Aracnida, Isopoda, Orthoptera, Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera e Hemiptera para o cálculo do QBS, afim de avaliar um solo contaminado por metais e um solo não contaminado, e os resultados demonstraram que o QBS na área com solo contaminado foi menor, indicando que a saúde e a funções do solo foram prejudicadas.

Assim, com representantes de diferentes grupos, com funções ecológicas diferentes teríamos uma melhor avaliação sobre a complexidade estrutural presente nos SUS, podendo

identificar qual sistema mantém a qualidade biológica do solo com uma estrutura trófica mais controlada.

4.4 MÉDIA PONDERADA DO VALOR DO *TRAIT* NA COMUNIDADE (mT)

O valor de mT de um SUS é calculado pela soma da mT de cada um dos morfotipos que ocorreram no sistema. Sendo assim, quando um SUS apresenta o valor de mT baixo, indica que as características dos morfotipos encontrados neste sistema, não tem afinidade com a adaptação edáfica, para as condições ali encontradas. Porém, quando o valor da mT do SUS for alta, indica elevada afinidade de determinadas características dos grupos morfológicos, para adaptação edáfica. Isso ocorre, porque, a relação entre o número de colêmbolos de determinado morfotipo e o número total de colêmbolos (independente do grupo morfológico), é multiplicada pelo EMI do morfotipo em questão; logo os edáficos possuem valores mais altos e os epígeos valores mais baixos (DOS SANTOS, 2017).

Os valores de mT para os SUS estudados foram similares no inverno (Tabela 9), variando em 8,64 em FN e 9,57 em RE. Observando o número de morfotipos epígeos (EMI menor) na FN, percebe-se que foi encontrado cinco e apenas um edáfico (EMI maior). Assim, a justificativa para o mT deste SUS ser mais baixo é que mesmo tendo presença de morfotipo edáfico, a maior quantidade de morfotipos estava distribuído igualmente entre os grupos morfológicos hemiedáficos (EMI intermediário) e epígeos (EMI menor).

Tabela 9 - Média ponderada do valor do *trait* (mT), desvio padrão (DP), total de grupos morfológicos (N_MF), número de morfotipos edáficos (N_Ed), hemiedáficos (N_H) e epígeos (N_Ep), nos sistemas de uso do solo na região Sul de Santa Catarina.

| SUS | mT | SD | N_MF | N_Ed | N_H | N_Ep |
|-----------------------------------|------|------|------|------|-----|------|
| Inverno | | | | | | |
| Floresta Nativa (FN) | 8,64 | 1,08 | 11 | 1 | 5 | 5 |
| Reflorestamento de Eucalipto (RE) | 9,57 | 1,26 | 5 | 0 | 4 | 1 |
| Pastagem Perene (PA) | 8,66 | 1,91 | 8 | 1 | 4 | 3 |
| Integração Lavoura Pecuária (ILP) | 8,82 | 1,87 | 9 | 2 | 4 | 3 |
| Plantio Direto (PD) | 9,02 | 1,93 | 9 | 2 | 4 | 3 |
| Verão | | | | | | |
| Floresta Nativa (FN) | 9,40 | 1,62 | 14 | 1 | 10 | 3 |
| Reflorestamento de Eucalipto (RE) | 8,96 | 1,24 | 11 | 1 | 7 | 3 |
| Pastagem Perene (PA) | 9,04 | 1,43 | 12 | 1 | 7 | 4 |
| Integração Lavoura Pecuária (ILP) | 9,21 | 1,48 | 15 | 2 | 10 | 3 |
| Plantio Direto (PD) | 8,47 | 2,07 | 8 | 0 | 5 | 3 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Para o verão (Tabela 9), novamente os valores de mT nos SUS estudados foram semelhantes, variando em 8,47 no PD e 9,40 no FN. Porém, diferentemente do observado no inverno, no verão foi a FN que deteve o maior valor de mT e o menor valor foi observado no PD. Quando observamos o número de morfotipos edáficos no PD notamos que não foi encontrado nenhum morfotipo desse grupo eco-morfológico, sendo seu mT distribuído em morfotipos hemiedáficos e epígeos.

Dos Santos (2017) estudando morfotipos de colêmbolos no Leste Catarinense, observou resultados diferentes do presente estudo, em que, no inverno, a autora encontrou menor valor de mT em PA (10,78) e maior em PD (13,09) e no verão o menor em ILP (8,45) e maior em RE (10,62).

Como análise geral de ambas as épocas de coleta, nota-se uma alta quantidade de morfotipos hemiedáficos (valores de EMI intermediários) em todos os SUS, presumindo que esse grupo eco-morfológico foi o que obteve o maior número de colêmbolos. Já para os morfotipos edáficos, observa-se que foi o grupo eco-morfológico que deteve o menor número de morfotipos de colêmbolos, e mesmo com o valor de EMI maior, os morfotipos hemiedáficos com valor de EMI intermediários foram os que mais contribuíram para o maior valor de mT no RE (inverno) e FN (verão).

O que pode ter influenciado na menor quantidade de morfotipos edáficos nos SUS é o método de coleta utilizado, que foi armadilhas *Pitfalls traps*. Esse é um método com potencial para amostragem quantitativa da população de invertebrados epígeos (WOODCOCK, 2005),

ou seja, no caso da população de colêmbolos, são classificados como epígeos aqueles que vivem dentro da camada da serapilheira e sobre a vegetação (OLIVEIRA-FILHO; BARETTA, 2016).

Porém, evidenciamos que a quantidade de morfotipos epígeos foi menor do que os morfotipos hemiedáficos, (que são aqueles que vivem na parte intermediária - 5 cm da superfície do solo (OLIVEIRA-FILHO; BARETTA, 2016). Segundo Freire, Araújo e Berbara (2015) as diferenças que ocorrem nas taxas de captura dos distintos organismos podem ser atribuídas aos hábitos particulares de cada grupo, incluindo a mobilidade e a resistência às condições adversas provocadas pelo sistema de captura. Neste caso, a mobilidade dos colêmbolos epígeos é maior comparando com os hemiedáficos e edáficos, e eles podem ter um efeito de "fuga" maior também, favorecendo os mesmos há escaparem das armadilhas, e sendo uma possível explicação para os resultados aqui encontrados. Além disso, nos estudos sobre a abundância de colêmbolos não se sabe ao certo o quanto de abundância/representatividade tem-se de cada forma de vida (morfotipos – grupo eco-morfológico), assim, mesmo utilizando outro método de captura pode ser que encontrássemos um maior número de hemiedáficos novamente.

No que diz respeito ao valor de mT, através dele é possível avaliar a participação de determinados morfotipos em relação ao total de colêmbolos em cada SUS. Também demonstra a existência de afinidade ou não das características desses morfotipos às condições edáficas encontradas, permitindo observar, qual grupo eco-morfológico apresenta maior participação nos SUS, ou seja, as condições edáficas encontradas em determinado SUS, favorece o grupo eco-morfológico dos morfotipos que demonstraram maior participação.

5 CONCLUSÃO

O impacto dos sistemas de uso do solo (SUS) sobre a diversidade morfológica de Collembola depende da intensidade das práticas florestais/agrícolas utilizadas, incluindo rotações culturais, material vegetal e preparo do solo. Desta forma, os colêmbolos possuem potencial para monitorar a qualidade do solo, confirmando a hipótese de que haveria diferença na diversidade morfológica de Collembola entre os SUS estudados.

Assim, através dos resultados foi possível observar variação nos valores de abundância total e índices de diversidade referente ao sistema de uso do solo e também em relação a época de coleta (inverno e verão).

No inverno, a maior abundância total de colêmbolos foi encontrada no sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP), porém sem diferir estatisticamente dos sistemas Plantio Direto (PD) e Pastagem Perene (PA). O ILP também apresentou maiores valores nos resultados de riqueza de morfotipos e no índice de diversidade de Shannon (H'), enquanto na uniformidade de Pielou (J) e riqueza de Margalef a Floresta Nativa (FN) apresentou os valores mais elevados. Para os dados do verão, a maior abundância de colêmbolos foi encontrada no PD, que apresentou diferença estatística com FN e Reflorestamento de Eucalipto (RE), que foram os SUS com as menores abundâncias. Já para os resultados de diversidade de Shannon (H') e riqueza de Margalef os valores mais elevados foram verificados na FN.

Contudo, os SUS que conservaram a maior diversidade morfológica de Collembola foram ILP (no inverno) e na FN (no verão). A diferença dos resultados entre as épocas de coleta foram importantes para ressaltar a relevância de se fazer duas coletas em épocas distintas, pois os recursos alimentares e atributos como temperatura e umidade do solo podem ser diferentes e interferirem nos resultados.

As variáveis ambientais que explicaram a presença de morfotipos de colêmbolos no verão, independente do SUS foram MO, Mg/K, pH, DMP e umidade, enquanto no inverno foram K, pH, MO, qCO_2 , PT e umidade do solo.

Os valores do índice QBS para os morfotipos de Collembola, não seguiram o gradiente de intensificação do uso do solo esperado (FN>RE>PA>ILP>PD), independente das épocas de amostragens. No inverno, o ILP apresentou o maior valor do índice QBS em relação aos demais SUS (ILP>PD>PA>RE>FN), já no verão, o PD foi o que apresentou o maior valor do índice (PD>ILP>PA>FN>RE).

O índice de qualidade biológica do solo (QBS) apresentou-se como uma análise de fácil interpretação e rápida, porém, com pequenas limitações. Pois, os resultados do QBS foram os

mesmos resultados da abundância total de colêmbolos (maior valor do ILP no inverno e maior valor do PD no verão), diferindo dos resultados encontrados através dos índices de diversidade, que avaliam a estrutura da comunidade. Já em relação a técnica de morfotipagem utilizada como forma alternativa a taxonomia tradicional, pode-se dizer que é uma boa ferramenta para estudar a qualidade biológica do solo, em conjunto com os índices de diversidade e análise multivariada dos dados. Como vantagens da morfotipagem verificadas durante este trabalho pode-se citar: rapidez na identificação dos morfotipos; não necessidade de um treinamento muito longo e específico e materiais simples e de baixo custo utilizados durante o trabalho.

REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.

ALMEIDA, H. S. DE et al. Organismos edáficos em sistema de integração lavoura pecuária. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 6, n. n. especial, p. 23-40, 2017.

ALVARES, C. A et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p.711-728, 2014.

ALVES, M. V.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no estado de São Paulo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.5, n.1, p. 33-43, 2006.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JR., R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008, 290 p.

ANDERSON, T. H. **Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations**. In: RITZ, K. D.; GILLER, K. E. (Eds.). Beyond the biomass. London: British Society of Soil Science, 1994. p. 67-76.

ANDRADE, L. B. **O uso da fauna edáfica como bio-indicadora de modificações ambientais em áreas degradadas**. 2000. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências Ambientais, RJ, 2000.

ANTONIOLLI, Z. I et al. Metais pesados , agrotóxicos e combustíveis: efeito na população de colêmbolos no solo. **Ciência Rural**, v. 43, n. 6, p. 992-998, 2013.

AQUINO, A. M. **Fauna do solo e sua inserção na regulação funcional do agroecossistema**. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Eds.). Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. p. 47-75.

AQUINO, A. M. DE.; AGUIAR-MENEZES, E. D. L.; QUEIROZ, J. M. DE. Recomendações para Coleta de Artrópodes Terrestres por Armadilhas de Queda ("Pitfall-Traps"). **Embrapa**, v. 18, 2006.

ARAÚJO, C. C. et al. Comparação da abundância de invertebrados de solo por meio da estimação intervalar encontrados em diferentes ambientes na cidade de Ituiutaba – MG. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 5, 2010.

ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, p.187-206, 2012.

ARBEA, J. I.; BASCO-ZUMETA, J. Ecología de los Colembolos (Hexapoda, Collembola) en Los Monegros (Zaragoza, España). **ARACNET 7- Boletín Electrónico de Entomología de la SEA**, n. 28, p. 35-48, 2001.

BARDGETT, R.D.; PUTTEN, W. H. V. D. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, v. 515, p. 505-511, 2014.

BARETTA, D. et al. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 2, p. 108-117, 2006.

BARETTA, D. et al. Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2693-2699, 2008, Número Especial.

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**, v. 2, n. 2, 2003.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GATIBONI, L.C. (Eds). **Tópicos Especiais em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 141-192, 2011.

BARETTA, D. et al. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 5, p. 871-879, 2014.

BARTZ, M. L. C. et al. The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 5, p. 880-887, 2014, Número Especial.

BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**. v. 69, 39-48, 2013.

BASTIDA, F. et al. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. **Geoderma**, v. 147, p.159-171, 2008.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology from individuals to ecosystems**. Malden, Blackwell Publishing, 2005. 738p.

BELLINGER, P. F.; CHRISTIANSEN, K. A.; JANSSENS, F. **Collembola of the World**. Disponível em: <<http://www.collembola.org>>. Acesso em: 12 jun. de 2017.

BELLINI, B. C. Colêmbolos: uma riqueza microscópica no Semiárido, p. 43-53. In: BRAVO, F.; CALOR, A. R. **Conhecendo os artrópodes do Semiárido**. 1.ed. – São Paulo: Métis Produção Editorial, 2016, 192 p.

BELLINI, B. C.; ZEPPELINI, D. Registros da fauna de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n.3, p. 386–390, 2009.

BERTOL, I et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

BERUDE, M. et al. **A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora**. Enciclopédia Biosfera: Centro científico Conhecer, v. 11, p. 14-28, 2015.

BOHM, G. M. B.; CASTILHOS, D. D.; ROMBALDI, C. V. Manejo de soja transgênica com glifosato e imazetapir: efeito sobre a mesofauna e microbiota do solo. **Revista Thema**, v. 7, n. 2, p. 1-12, 2010.

BORTOLETI JUNIOR, A. et al. A importância do plantio direto e do plantio convencional e as suas relações com o manejo e conservação do solo. **Revista Conexão Eletrônica** – Três Lagoas, MS – v.12, n.1, 2015.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Estabilidade de agregados de um latossolo vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, 2011.

BRUSSAARD, C. P. D. et al. Discovery of a dsRNA virus infecting the marine photosynthetic protist *Micromonas pusilla*. **Virology**, v. 319, p. 280-291, 2004.

BROWN, G. G. et al. **Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais**. In: PARRON, L. M et al. (Editores). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: Embrapa, 2015, 370p.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.1389-1397, 2008.

CARVALHO de, Y. **Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional, na região de Carambeí - PR**. 1997. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 1997.

CARVALHO, F. C. **Efeito de diferentes tipos de gestão em olivais nos microestrópodes de solo usando abordagem funcional**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

CASSAGNE, N. et al. Changes in humus properties and collembolan communities following the replanting of beech forests with spruce. **Pedobiologia**, v. 48, p. 267–276, 2004.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 117-124, 2003.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de.; LANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil: fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 2012. 77p.

CATANOZI, G. Importância dos aspectos ecológicos na análise quali-quantitativa da macrofauna edáfica. **Revista Ibirapuera**, São Paulo, n. 1, p. 42-52, 2011.

CHERNOVA, N. M. et al. Ecological significance of parthenogenesis in Collembola. **Entomological Review**, v. 90, n.1, p.23–38, 2010.

COPATTI, C.; DAUDT, C. Diversidade de artrópodes na serapilheira em fragmentos de mata nativa e *Pinus elliottii* (Engelm. Var *elliottii*). **Ciência e Natura**, v. 31, n. 1, p. 95-113, 2009.

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso de pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p. 107-114, 1995.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. **Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes.** In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (2ªed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, p. 137-157. 2008.

CLUZEAU, D. et al. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. **European Journal of Soil Biology**, v. 49, p. 63-72, 2012.

CRUZ, J C. **No plantio direto o milho é o melhor.** 2014. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=50>>. Acesso em: 28/10/2017.

CRUZ, J. C. et al. Sistema de Plantio Direto de milho. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica.** 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html>. Acesso em: 28/10/2017.

CROTTY, F. V. et al. Assessing the impact of agricultural forage crops on soil biodiversity and abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 91, p. 119-126, 2015.

DA SILVA, R. I. et al. Comparação da artropodofauna em monocultura de eucaliptos e Cerrado da FLONA no Distrito Federal. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 16, n. 2, p. 105-114, 2012.

DE BELLO, F. et al. The partitioning of diversity: showing Theseus a way out of the labyrinth. **Journal of Vegetation Science**, v. 21, p. 992-1000, 2010.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p.3-11, 2000.

DOS SANTOS, M. A. B. **Diversidade morfológica de collembola em sistemas de uso do solo no Leste de Santa Catarina.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FERNANDES, L. H.; NESSIMIAN, J. L.; MENDONÇA, M. C. Structure of Poduromorpha (Collembola) communities in “restinga” environments in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 8, p.1033-1039, 2009.

FERRIS, H., TUOMISTO, H. Unearthing the role of biological diversity in soil health. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 85, p. 101-109, 2015.

FREIRE, L. R.; ARAÚJO, E. DA S.; BERBARA, R. L. L. Tempo de captura de organismos da mesofauna do solo e seus reflexos na interpretação de índices da comunidade edáfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1282-1291, 2015.

GAZOLLA, P. R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, mar./abr. 2015.

GARCÍA-PRÉCHAC, F. et al. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. **Soil & Tillage Research**, v.77, p.1-13, 2004.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. **Particle-size analysis**. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais** - Piracicaba, IPEF, 2002. 498 p.

GUSSON, M. F. **O lado obscuro do plantio direto**. 2011. Monografia (Curso de Especialização em Agricultura Familiar Camponesa e Educação do Campo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

GREENWOOD, K.L.; MCKENZIE, B.M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.41, p.1231-1250, 2001.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. **Past: Paleontological statistics software Packaged for education and data analysis**. Version 3.0. *Palaentologia Electronica*, v. 4, n. 1, p. 1-9. 2001. Disponível em: <<http://folk.uio.no/ohammer/past/>>.

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora do INPA, 2014. 724p.

HAVLICEK, E. Soil biodiversity and bioindication: from complex thinking to simple acting. **European Journal Soil Biology**, v. 49, p.80-84, 2012.

INKOTTE, J. **Produção de serapilheira e aporte de nutrientes e carbono em plantações de eucalipto e florestas nativas em duas regiões de Santa Catarina**. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo, Lages, 2013.

ISLAN, K. R.; WEIL R. R. Soil Quality Indicator Properties in Mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**. V.55, p.69-78, 2000.

JANSSENS, F.; CHRISTIANSEN, K. A. **Class Collembola Lubbock, 1870**. In: ZHANG, Z.-Q. (Ed.). Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Zootaxa 3148). Auckland: Magnolia Press., 2011. p. 192-194.

JOIMEL, S. **Biodiversité et caractéristiques physico-chimiques des sols de jardins associatifs urbains français**. 2015. These. (Doctoral dissertation). University of Lorraine, 2015.

KARLEN, D. L. et al. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. **Soil Tillage Research**, v.31, p.149-167,1994.

KEESSTRA, S. D. et al. **The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals**. *Soil* 2, p.111-128, 2016.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. **Size distribution of aggregation**. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

KOMONEN, A.; KATAJA-AHO, S. Springtails (Collembola) in meadows, pastures and road verges in Central Finland. **Entomologica Fennica**, v. 28, p. 157-163, 2017.

KORASAKI, V.; MORAIS, J. W.; BRAGA, R. F.; **Macrofauna**. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STURMER, S. L. *O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e feitos na produção vegetal*. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 352 p.

LAURANCE, W. F et al. Ecosystem decay of amazonian Forest fragments: a 22-year investigation. **Conservation Biology**, v. 16, n.3, p. 605-618, 2002.

LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal Soil Biology**, v. 42, 2006.

LINS, V. S.; SANTOS, H. R.; GONÇALVES, M. C. The effect of the glyphosate, 2,4-D, atrazine e nicosulfuron herbicides upon the Edaphic collembolan (Arthropoda: Ellipura) in a no tillage system. **Neotropical Entomology**, v, 36, p. 261-267, 2007.

LORANGER, G.; PONGE, J. F.; BLANCHART, E.; LAVELLE, P. Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique). **European Journal Soil Biology**, v.34, n.4, p.157-165, 1998.

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1269-1276, 2011.

LOSS, A. et al. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**. v. 113, n.1, p.1-8, 2014.

MACHADO, J. S. **Diversidade morfológica de colêmbolos (Hexapoda:Collembola) em sistemas de manejo do solo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

MACHADO, D. L. et al. Fauna edáfica na dinâmica sucessional da Mata Atlântica em Floresta Estacional Semidecidual no Rio Paraíba do Sul, RJ. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 91-106, 2015.

MAESTRI, R. et al. Efeito de mata nativa e bosque de eucalipto sobre a riqueza de artrópodos na serrapilheira. **Perspectiva**, v. 37, p. 31-40, março 2013.

MANHÃES, C. M. C.; FRANCELINO, F. M. A. estudo da inter-relação da qualidade do solo e da serapilheira com a fauna edáfica utilizando análise multivariada. **Nucleus**, v.9, n.2, 2012.

MANHÃES.C. M. **Caracterização da fauna edáfica de diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2011.

MARTINS, C. et al. Effects of Essential Oils from *Eucalyptus globulus* Leaves on soil organisms involved in leaf degradation. **Plos One**, v.8, n. 4, 2013.

MEIRA, M. J. C. **Descrição de novas espécies de Entomobryoidea, Womersley, 1934 Collembola, Hexapoda em remanescentes urbanos de Mata Atlântica no Estado do Rio Grande do Norte**. 2014. Dissertação (Mestrado pós-graduação em Ciências Biológicas) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2014.

MELO, F. V. et al. **A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores**. *Biologia do Solo. Boletim informativo da SBCS*. jan.-abr. 2009.

MELLONI, R. et al. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 1, p. 2461-2470, 2008.

MENDES, I. C.; DE SOUZA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 185-203, 2015.

MENEZES, C. E. G. et al. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1647-1656, 2009.

MENTA, C. Soil Fauna Diversity – Function, Soil Degradation, Biological Indices, Soil Restoration. In: LAMEED, G. A. **Biodiversity Conservation and Utilization in a Diverse World**. Department of Evolutionary and Functional Biology, University of Parma, Parma, Italy, 2012. p. 60-94.

MENTA, C. et al. Soil Biological Quality index (QBS-ar):15 years of application at global scale. **Ecological Indicators**, v. 85, p.773-780, 2018.

MOHAMEDOVA, M.; LECHEVA, I. Effect of heavy metals on microarthropod community structure as an indicator of soil ecosystem health. **Scientific Papers. Series A. Agronomy**, Vol. LVI, 2013.

MORAIS, J. W. et al. **Mesofauna**. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STURMER, S. L. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e feitos na produção vegetal. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 352 p.

MOÇO, M. K. S. et al. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 555-564, 2005.

MUÑOZ-ROJAS, M. et al. Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. **Restoration Ecology**, v. 24, n. S2, p. S43-S5, 2016.

MUSSURY, R. M. et al. Flutuação populacional da mesofauna em fragmentos de mata na região de Dourados, MS. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 645-650, 2008.

NOGUEIRA, L. R. et al. Epigeal Fauna and Soil Chemical Attributes in Grazing and Regeneration Areas. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

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

OLIVEIRA FILHO, L. C. I. et al. Collembola community structure as a tool to assess land use effects on soil quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-18, 2016.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D. Por que devemos nos importar com os colêmbolos edáficos? **Scientia Agraria**, v. 17, n. 2, p. 21-40, 2016.

PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Eds.), **Biological Indicators of Soil Health**. CAB International, Wallingford, 1997.

PARISI, V. The biological soil quality, a method based on microarthropods. **Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense**, v. 37, p. 97-106, 2001.

PARISI, V. et al. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, n. 1-2, p. 323-333, 2005.

PEREIRA, G. H. A et al. Decomposição da serrapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em um fragmento de floresta atlântica. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 1, p.1317-1327, 2013.

PICKETT, J. A. et al. **Plant volatiles yielding new ways to exploit plant defence**. In: Dicke M, Takken W, eds. Chemical ecology: from gene to ecosystem. The Netherlands: Springer, p. 161-173, 2006.

- POGGIANI, F. **Ciclagem de Nutrientes em Florestas do Brasil**. In: MARTINS, S. V. (Editor). *Ecologia de florestas tropicais do Brasil*. 2. ed. rev. e ampl. - Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012, 317p.
- POLLIERER, M. M.; SCHEU, S. Driving factors and temporal fluctuation of Collembola communities and reproductive mode across forest types and regions. **Ecology and Evolution**, p.1-14, 2017.
- POMPÊO, P. N. et al. Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa Catarina – Brasil. **Scientia Agraria**, v. 17, n.1, p. 42-51, 2016.
- POMPÊO, P. N. et al. Morphological Diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in Agriculture and Forest Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017.
- PONGE, J. F. Vertical distribution of Collembola (Hexapoda) and their food resources in organic horizons of beech forests. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, p.508-522, 2000.
- PORTILHO, I. I. R. et al. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1310-1320, 2011.
- POTAPOV, A. A. et al. Connecting taxonomy and ecology: trophic niches of collembolans as related to taxonomic identity and life forms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 101, p. 20-31, 2016.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1990.
- PRIMIERY, S.; MUNIZ, A.W.; LISBOA, H. M. Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.
- RACHWAL, M. F. G. et al. **Uso e manejo da terra e aspectos pedológicos na avaliação de serviços ambientais**. In: PARRON, L. M et al. (Editores). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: Embrapa, 2015, 370p.
- REIS, F. et al. The use of a functional approach as surrogate of Collembola species richness in European perennial crops and forests. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 676-682, 2016.

RIEFF, G. G. et al. Diversidade de famílias de ácaros e colêmbolos edáficos em cultivo de eucalipto e áreas nativas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 16, n.1, p. 57-61, 2010.

RODRIGUES, W. Competitividade e mudança institucional na cadeia produtiva de plantas medicinais no Brasil. **Interações**, v. 17, n. 2, p.267-277, 2016.

ROLT, V. A. **Insetos fitófagos associados as plantas medicinais *Calendula officinalis* L. (Astereceae) e *Foeniculum vulgare* Mill. (Apiaceae) em uma propriedade rural de Grão-Pará, Santa Catarina.** 2009. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, 2009.

ROSA, M. G. et al. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1544-1553, 2015.

ROVEDDER, A. P. et al. Fauna edáfica em solo susceptível à arenização na região Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista de ciências agroveterinárias**, v. 3, n. 2, p. 87-96, 2004.

SABAIS, A.C.W.; SCHEU, S.; EISENHAUER, N. Plant species richness drives the density and diversity of Collembola in temperate grassland. **Acta Oecologica**, v. 37, p. 195-202, 2011.

SAUTER, K. D.; SANTOS, H. R. Avaliação da estrutura da população da mesofauna edáfica, em diferentes regimes de reabilitação de um solo degradado pela mineração do xisto. **Revista Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1-2, p. 31-34. 1994.

SALAMON, J. A.; SCHEU, S.; SCHAEFER, M. The Collembola community of pure and mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) of different age. **Pedobiologia**, v.51, p. 385-396, 2008.

SANTANA, R. C. et al. Estimativa de biomassa de plantas de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.4, p.697-706, 2008.

SANTOS, H. P. et al. Lucratividade e risco de sistemas de manejo de solo e de rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 97-103, 2004.

SANTOS, H. G. et al., **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed - Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SCORIZA, R. N.; CORREIA, M. E. F. Fauna do solo como indicadora em fragmentos florestais na encosta de Morrotes. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 598-601, 2016.

SCHEU, S.; FOLGER, M. Single and mixed diets in Collembola: effects on reproduction and stable isotope fractionation. **Functional Ecology**, v. 18, p.94-102, 2004.

SILVA, J et al. Fauna do solo em sistemas de manejo com café. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, N.2: pp. 59-71, 2012.

SIMINSKI, A.; FANTINI, A. C. A. Mata Atlântica cede lugar a outros usos da terra em Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**, v.23, n. 2, p. 51-59, 2010.

SOUZA, M. H. et al. **Macrofauna Do Solo**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v. 11, n. 22, p. 115-131, 2015.

SOUZA, S. T. **Macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo nas regiões Leste e Sul catarinense**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2014.

STATSOFT. **Statistica - Data analysis software system**. Tulsa, 2004.

STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K. Avaliação de substratos para reprodução de colêmbolos nativos em condições de laboratório. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 265-269, 2007.

SPERANDIO, H. V et al. Atributos físicos sob diferentes sistemas de uso no sul do Espírito Santo. **Scientia Plena**, v. 9, n. 7, 2013.

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

SWIFT, M. J.; IZAC, A. M. N.; VAN NOORDWIJK M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes: are we asking the right questions? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 104, p. 113-134, 2004.

TACCA, D.; KLEIN, C. Artropodofauna do solo em um bosque de eucalipto e um remanescente de mata nativa no sul do Brasil. **Revista Thema**, v. 14, n. 2, p. 249-261, 2017.

ter BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5)**. Ithaca: Microcomputer Power, 2002. 500p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TESFAHUNEGN, G. B. Soil quality indicators response to land use and soil management systems in Northern Ethiopia's catchment. **Land Degradation & Development**, v. 27, p. 438-448, 2016.

TSIAFOULI, M. A. et al. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. **Global Change Biology**, v. 21, n. 2, p. 973-985, 2015.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: AVAREZ, V.H. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 195-276, 2002.

URAMOTO, K.; WALDER, J. M. M.; ZUCCHI, R. A. Análise quantitativa e distribuição de populações de espécies de *Anastrepha* (Diptera, Tephritidae) no campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 1, p. 033-039, 2005.

VANHEE, B. et al. The “terril” effect: Coal mine spoil tips select for collembolan functional traits in post-mining landscapes of northern France. **Applied Soil Ecology**, v. 121, p. 90-101, 2017.

VAN DOOREMALEN, C.; BERG, M. P.; ELLERS, J. Acclimation responses to temperature vary with vertical stratification: Implications for vulnerability of soil-dwelling species to extreme temperature events. **Global Change Biology**, v. 19, n. 3, p. 975-984, 2013.

VANCE, E. D.; BROOKS, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

VANDEWALLE, M. et al. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 10, p. 2921-2947, 2010.

VELLEND, M. Conceptual synthesis in community ecology. **Quarterly Review of Biology**, v. 85, p. 183-206, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O solo como sistema**. 1ª ed. Curitiba: Edição dos autores, 2011.

VIBRANS, A. C. et al. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: o que você deve saber sobre as florestas de Santa Catarina**. Blumenau: FURB, 2015. 20 p.

VIEIRA, L. M.; MENDEL, S. M. **Riqueza de Artrópodes Relacionada à Complexidade Estrutural da Vegetação: Uma Comparação entre Métodos**. UFMS. In: VENTICINQUE, E.; HOPKINS, M. (Eds.). *Ecologia de Campo – Curso de Campo*. Campo Grande, MS. 2002.

VILELA, L et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, n.10, 2011.

VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional. **Oikos**, v. 116, p. 882-892, 2007.

WAGG, C. et al. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, p. 5266-5270, 2014.

WAHL, J. J.; THERON, P. D.; MABOETA, M. S. Soil mesofauna as bioindicators to assess environmental disturbance at a platinum mine in South Africa. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 86, p. 250-260, 2012.

WILKINS, R.J. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B – Biological Sciences*, v.363, p.517-525, 2008.

WINCK, B. R. et al. Relationship between land-use types and functional diversity of epigeic Collembola in Southern Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 109, p. 49-59, 2017.

WOODCOCK, B. A. Pitfall trapping in ecological studies. In: Leather SR, editor. **Insect sampling in forest ecosystems**. Victoria, Australia: Blackwell Science; 2005. p.37-57.

YAN, S. et al. A soil fauna index for assessing soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 47, p. 158-165, 2012.

YEATES, G. W. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, p. 1999-2010, 2003.

ZATORRE, N. P. Atributos biológicos do solo como indicadores de qualidade do solo. **Gaia Scientia**, v. 2, n.1, p. 9-13, 2008.

ZEPPELINI FILHO, D.; BELLINI, B. C. **Introdução ao estudo dos Collembola**. Paraíba: Editora Universitária, Universidade Federal da Paraíba, 2004. 82p.

ZHANG, Z. Q. Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. **Zootaxa**, v. 3148. 1 ed. Auckland: Magnolia Press, 2011.

ZHANG, B. et al. Effects of land use changes on winter-active Collembola in Sanjiang Plain of China. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 51-58, 2014.

ZORTÉA, T. et al. Comportamento De Fuga De Colêmbolos Expostos a Solos Contaminados Com Cipermetrina. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 4, p. 49-58, 2015.

ANEXOS

Anexo A – Tabela de classificação dos colêmbolos. (Continua)

| Valor eco-morfológico parcial | | | | | EMI final | Grupo eco-morfológico | Morfortipo |
|-------------------------------|---------|---------|-------------------|-------------|-----------|--------------------------|------------|
| Ocelos | Antenas | Fúrcula | Pelos/ escamas | Pigmentação | | | |
| 0-4 | 0-2-4 | 0-2-4 | 0-4 | 0-2-4 | | | |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 20 | Edáfico | Ed 1 |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 18 | Edáfico | Ed 2 |
| 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 18 | Edáfico | Ed 3 |
| 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 18 | Edáfico | Ed 4 |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 0 | 16 | Edáfico | Ed 5 |
| 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 16 | Edáfico | Ed 6 |
| 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 16 | Edáfico | Ed 7 |
| 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 16 | Edáfico | Ed 8 |
| 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 16 | Edáfico | Ed 9 |
| 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 16 | Edáfico | Ed 10 |
| 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 16 | Edáfico | Ed 11 |
| 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 | Edáfico | Ed 12 |
| 4 | 4 | 4 | 0 | 2 | 14 | Edáfico | Ed 13 |
| 4 | 4 | 2 | 4 | 0 | 14 | Edáfico | Ed 14 |
| 4 | 4 | 2 | 0 | 4 | 14 | Edáfico | Ed 15 |
| 4 | 4 | 0 | 4 | 2 | 14 | Edáfico | Ed 16 |
| 4 | 2 | 4 | 4 | 0 | 14 | Edáfico | Ed 17 |
| 4 | 2 | 4 | 0 | 4 | 14 | Edáfico | Ed 18 |
| 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 14 | Edáfico | Ed 19 |
| 4 | 2 | 0 | 4 | 4 | 14 | Edáfico | Ed 20 |
| 4 | 0 | 4 | 4 | 2 | 14 | Edáfico | Ed 21 |
| 4 | 0 | 2 | 4 | 4 | 14 | Edáfico | Ed 22 |
| 0 | 4 | 4 | 4 | 2 | 14 | Edáfico | Ed 23 |
| 0 | 4 | 2 | 4 | 4 | 14 | Edáfico | Ed 24 |
| 0 | 2 | 4 | 4 | 4 | 14 | Edáfico | Ed 25 |
| 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 12 | Hemiedáfico | H 1 |
| 4 | 4 | 2 | 0 | 2 | 12 | Hemiedáfico | H 2 |
| 4 | 4 | 0 | 4 | 0 | 12 | Hemiedáfico | H 3 |
| 4 | 4 | 0 | 0 | 4 | 12 | Hemiedáfico | H 4 |
| 4 | 2 | 4 | 0 | 2 | 12 | Hemiedáfico | H 5 |
| 4 | 2 | 2 | 4 | 0 | 12 | Hemiedáfico | H 6 |
| 4 | 2 | 2 | 0 | 4 | 12 | Hemiedáfico | H 7 |
| 4 | 2 | 0 | 4 | 2 | 12 | Hemiedáfico | H 8 |
| 4 | 0 | 4 | 4 | 0 | 12 | Hemiedáfico | H 9 |
| 4 | 0 | 4 | 0 | 4 | 12 | Hemiedáfico | H 10 |
| 4 | 0 | 2 | 4 | 2 | 12 | Hemiedáfico | H 11 |
| 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 12 | Hemiedáfico | H 12 |
| 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 12 | Hemiedáfico | H 13 |
| 0 | 4 | 4 | 0 | 4 | 12 | Hemiedáfico | H 14 |
| 0 | 4 | 2 | 4 | 2 | 12 | Hemiedáfico | H 15 |
| 0 | 4 | 0 | 4 | 4 | 12 | Hemiedáfico | H 16 |

Fonte: Oliveira Filho et al. 2016.

Anexo A – Tabela de classificação dos colêmbolos. (Continuação)

| Valor eco-morfológico parcial | | | | | EMI final | Grupo eco-morfológico | Morfortipo |
|-------------------------------|---------|---------|-------------------|-------------|-----------|--------------------------|------------|
| Ocelos | Antenas | Fúrcula | Pelos/ escamas | Pigmentação | | | |
| 0-4 | 0-2-4 | 0-2-4 | 0-4 | 0-2-4 | | | |
| 0 | 2 | 4 | 4 | 2 | 12 | Hemiedáfico | H 17 |
| 0 | 2 | 2 | 4 | 4 | 12 | Hemiedáfico | H 18 |
| 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 12 | Hemiedáfico | H 19 |
| 4 | 4 | 2 | 0 | 0 | 10 | Hemiedáfico | H 20 |
| 4 | 4 | 0 | 0 | 2 | 10 | Hemiedáfico | H 21 |
| 4 | 2 | 4 | 0 | 0 | 10 | Hemiedáfico | H 22 |
| 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 10 | Hemiedáfico | H 23 |
| 4 | 2 | 0 | 4 | 0 | 10 | Hemiedáfico | H 24 |
| 4 | 2 | 0 | 0 | 4 | 10 | Hemiedáfico | H 25 |
| 4 | 0 | 4 | 0 | 2 | 10 | Hemiedáfico | H 26 |
| 4 | 0 | 2 | 4 | 0 | 10 | Hemiedáfico | H 27 |
| 4 | 0 | 2 | 0 | 4 | 10 | Hemiedáfico | H 28 |
| 4 | 0 | 0 | 4 | 2 | 10 | Hemiedáfico | H 29 |
| 0 | 4 | 4 | 0 | 2 | 10 | Hemiedáfico | H 30 |
| 0 | 4 | 2 | 4 | 0 | 10 | Hemiedáfico | H 31 |
| 0 | 4 | 2 | 0 | 4 | 10 | Hemiedáfico | H 32 |
| 0 | 4 | 0 | 4 | 2 | 10 | Hemiedáfico | H 33 |
| 0 | 2 | 4 | 4 | 0 | 10 | Hemiedáfico | H 34 |
| 0 | 2 | 4 | 0 | 4 | 10 | Hemiedáfico | H 35 |
| 0 | 2 | 2 | 4 | 2 | 10 | Hemiedáfico | H 36 |
| 0 | 2 | 0 | 4 | 4 | 10 | Hemiedáfico | H 37 |
| 0 | 0 | 4 | 4 | 2 | 10 | Hemiedáfico | H 38 |
| 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 10 | Hemiedáfico | H 39 |
| 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8 | Hemiedáfico | H 40 |
| 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 8 | Hemiedáfico | H 41 |
| 4 | 2 | 0 | 0 | 2 | 8 | Hemiedáfico | H 42 |
| 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 8 | Hemiedáfico | H 43 |
| 4 | 0 | 2 | 0 | 2 | 8 | Hemiedáfico | H 44 |
| 4 | 0 | 0 | 4 | 0 | 8 | Hemiedáfico | H 45 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 8 | Hemiedáfico | H 46 |
| 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 8 | Hemiedáfico | H 47 |
| 0 | 4 | 2 | 0 | 2 | 8 | Hemiedáfico | H 48 |
| 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 8 | Hemiedáfico | H 49 |
| 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 8 | Hemiedáfico | H 50 |
| 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 8 | Hemiedáfico | H 51 |
| 0 | 2 | 2 | 4 | 0 | 8 | Hemiedáfico | H 52 |
| 0 | 2 | 2 | 0 | 4 | 8 | Hemiedáfico | H 53 |
| 0 | 2 | 0 | 4 | 2 | 8 | Hemiedáfico | H 54 |
| 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 8 | Hemiedáfico | H 55 |
| 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 8 | Hemiedáfico | H 56 |
| 0 | 0 | 2 | 4 | 2 | 8 | Hemiedáfico | H 57 |
| 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 8 | Hemiedáfico | H 58 |
| 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 | Epígeo | Ep 1 |
| 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 6 | Epígeo | Ep 2 |

Fonte: Oliveira Filho et al. 2016.

Anexo A – Tabela de classificação dos colêmbolos. (Conclusão)

| Valor eco-morfológico parcial | | | | | EMI final | Grupo eco-morfológico | Morfotipo |
|-------------------------------|---------|---------|-------------------|-------------|-----------|--------------------------|-----------|
| Ocelos | Antenas | Fúrcula | Pelos/ escamas | Pigmentação | | | |
| 0-4 | 0-2-4 | 0-2-4 | 0-4 | 0-2-4 | | | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | Epígeo | Ep 3 |
| 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 6 | Epígeo | Ep 4 |
| 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 6 | Epígeo | Ep 5 |
| 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 6 | Epígeo | Ep 6 |
| 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 6 | Epígeo | Ep 7 |
| 0 | 2 | 0 | 4 | 0 | 6 | Epígeo | Ep 8 |
| 0 | 2 | 0 | 0 | 4 | 6 | Epígeo | Ep 9 |
| 0 | 0 | 4 | 0 | 2 | 6 | Epígeo | Ep 10 |
| 0 | 0 | 2 | 4 | 0 | 6 | Epígeo | Ep 11 |
| 0 | 0 | 2 | 0 | 4 | 6 | Epígeo | Ep 12 |
| 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 6 | Epígeo | Ep 13 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | Epígeo | Ep 14 |
| 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | Epígeo | Ep 15 |
| 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 4 | Epígeo | Ep 16 |
| 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 4 | Epígeo | Ep 17 |
| 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | Epígeo | Ep 18 |
| 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | Epígeo | Ep 19 |
| 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | Epígeo | Ep 20 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | Epígeo | Ep 21 |
| 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | Epígeo | Ep 22 |
| 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | Epígeo | Ep 23 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | Epígeo | Ep 24 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Epígeo | Ep 25 |

Fonte: Oliveira Filho et al. 2016.

Anexo B - Tabelas das propriedades químicas, microbiológicas e físicas dos sistemas de usos do solo (SUS) estudados no verão e no inverno.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo (média \pm desvio padrão) na camada de 0-10 cm, em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), na região Sul de Santa Catarina (n = 15), no verão.

| Atributos químicos | Sistemas de Uso do Solo (SUS) | | | | |
|--|-------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | FN | RE | PA | ILP | PD |
| pH H ₂ O | 4,57 \pm 0,66 | 4,83 \pm 0,58 | 4,81 \pm 1,11 | 4,89 \pm 0,74 | 5,16 \pm 0,43 |
| pH SMP | 5,55 \pm 0,71 | 5,85 \pm 0,61 | 5,50 \pm 0,96 | 5,89 \pm 0,78 | 6,12 \pm 0,43 |
| P (mg dm ⁻³) | 32,68 \pm 46,45 | 12,43 \pm 7,85 | 42,24 \pm 51,08 | 8,11 \pm 5,15 | 58,35 \pm 49,25 |
| K (mg dm ⁻³) | 127,37 \pm 78,98 | 111,23 \pm 43,58 | 83,97 \pm 35,08 | 67,36 \pm 16,98 | 201,35 \pm 142,4 |
| N (%) | 2,45 \pm 0,79 | 2,23 \pm 0,66 | 18,48 \pm 23,56 | 2,34 \pm 1,66 | 6,56 \pm 7,71 |
| C/N | 11,37 \pm 1,77 | 9,40 \pm 0,92 | 7,25 \pm 5,25 | 13,25 \pm 2,34 | 6,50 \pm 4,35 |
| MO | 4,96 \pm 0,94 | 3,30 \pm 0,68 | 3,35 \pm 0,84 | 3,89 \pm 1,67 | 2,72 \pm 0,47 |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | 2,47 \pm 2,92 | 2,20 \pm 2,61 | 3,00 \pm 2,37 | 2,47 \pm 1,77 | 0,85 \pm 0,98 |
| Sat. Al (%) | 42,01 \pm 41,02 | 33,73 \pm 27,92 | 56,48 \pm 41,55 | 53,22 \pm 36,32 | 12,04 \pm 14,23 |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | 2,52 \pm 2,72 | 2,35 \pm 1,68 | 1,41 \pm 1,65 | 2,18 \pm 2,62 | 4,51 \pm 1,82 |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | 0,94 \pm 0,77 | 1,09 \pm 0,58 | 0,84 \pm 0,76 | 1,14 \pm 1,17 | 1,73 \pm 0,50 |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | 11,29 \pm 9,13 | 4,70 \pm 3,28 | 11,77 \pm 8,45 | 7,22 \pm 6,64 | 4,34 \pm 2,66 |
| CTC | 15,06 \pm 7,90 | 8,41 \pm 3,88 | 14,22 \pm 6,52 | 10,71 \pm 5,62 | 11,10 \pm 2,36 |
| Bases | 28,77 \pm 25,94 | 46,63 \pm 17,53 | 28,37 \pm 34,43 | 35,24 \pm 33,20 | 62,05 \pm 16,30 |
| K CTC (CTC ¹) | 2,42 \pm 1,42 | 4,50 \pm 3,29 | 2,07 \pm 1,64 | 2,29 \pm 1,82 | 5,36 \pm 4,60 |
| Ca CTC (CTC ¹) | 19,39 \pm 19,42 | 28,15 \pm 12,23 | 16,88 \pm 22,06 | 21,19 \pm 23,78 | 40,95 \pm 12,69 |
| Mg CTC (CTC ¹) | 6,95 \pm 5,29 | 13,98 \pm 5,08 | 9,42 \pm 10,87 | 11,76 \pm 10,04 | 15,75 \pm 3,72 |
| Ca/Mg | 1,99 \pm 1,52 | 1,99 \pm 0,57 | 1,20 \pm 0,76 | 1,44 \pm 0,83 | 2,58 \pm 0,56 |
| Ca/K | 5,88 \pm 5,28 | 9,02 \pm 7,07 | 5,09 \pm 5,16 | 13,27 \pm 16,26 | 13,99 \pm 9,04 |
| Mg/K | 2,63 \pm 0,95 | 4,15 \pm 2,27 | 3,41 \pm 2,07 | 6,88 \pm 7,19 | 5,76 \pm 4,15 |

pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; K: potássio; N: nitrogênio; C/N: relação carbono/nitrogênio; MO: matéria orgânica; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; H+AL: acidez potencial; CTC: capacidade de troca de cátions pH 7,0; Sat. Al: saturação por alumínio; Bases: soma de bases trocáveis; Ca/Mg: relação cálcio/magnésio; Ca/K: relação cálcio/potássio; Mg/K: relação magnésio/potássio; ¹: % de saturação na CTC a pH 7,0.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo B - Tabelas das propriedades químicas, microbiológicas e físicas dos sistemas de usos do solo (SUS) estudados no verão e no inverno.

Tabela 2 – Atributos do solo ligados à atividade biológica (média ± desvio padrão) na camada de 0-10 cm em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no verão na região Sul de Santa Catarina (n = 15), no verão.

| Atributo | Sistemas de Uso do Solo (SUS) | | | | |
|---|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | FN | RE | PA | ILP | PD |
| | VERÃO | | | | |
| CMic ($\mu\text{g C g}^{-1}$) | 266,17 ± 92,47 | 361,21 ± 140,65 | 337,41 ± 108,34 | 265,79 ± 125,1 | 260,91 ± 170,91 |
| RMic ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ¹ | 25,45 ± 6,98 | 37,78 ± 11,70 | 34,70 ± 10,45 | 40,91 ± 16,49 | 18,44 ± 10,43 |
| $q\text{CO}_2$ ($\mu\text{g } \mu\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ² | 0,10 ± 0,03 | 0,11 ± 0,03 | 0,12 ± 0,07 | 0,17 ± 0,08 | 0,11 ± 0,10 |
| $q\text{Mic}$ (%) | 1,17 ± 0,75 | 1,79 ± 0,67 | 2,20 ± 1,27 | 1,10 ± 0,77 | 2,45 ± 1,49 |
| COT (%) | 28,00 ± 10,49 | 20,90 ± 6,19 | 22,77 ± 19,73 | 29,60 ± 19,33 | 12,06 ± 6,90 |

CMic: carbono da biomassa microbiana; RMic: respiração microbiana do solo; $q\text{CO}_2$: quociente metabólico; $q\text{Mic}$: quociente microbiano; COT: carbono orgânico total; ¹: quantidade de C-CO₂ no solo; ²: quantidade de C-CO₂ na biomassa microbiana do solo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo B - Tabelas das propriedades químicas, microbiológicas e físicas dos sistemas de usos do solo (SUS) estudados no verão e no inverno.

Tabela 3 – Atributos físicos do solo (média \pm desvio padrão) na camada de 0-10 cm em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e plantio direto (PD), na região Sul de Santa Catarina (n = 15), no verão.

| Atributos físicos | Sistemas de Uso do Solo (SUS) | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | FN | RE | PA | ILP | PD |
| Ds (g cm ⁻³) | 1,22 \pm 0,20 | 1,27 \pm 0,24 | 1,13 \pm 0,23 | 1,27 \pm 0,23 | 1,43 \pm 0,20 |
| PT (m ³ m ⁻³) | 0,55 \pm 0,07 | 0,54 \pm 0,10 | 0,59 \pm 0,07 | 0,52 \pm 0,08 | 0,48 \pm 0,07 |
| Micro (m ³ m ⁻³) | 0,39 \pm 0,14 | 0,42 \pm 0,04 | 0,44 \pm 0,07 | 0,39 \pm 0,10 | 0,38 \pm 0,06 |
| Macro (m ³ m ⁻³) | 0,16 \pm 0,10 | 0,12 \pm 0,09 | 0,15 \pm 0,06 | 0,14 \pm 0,07 | 0,10 \pm 0,07 |
| Bio (m ³ m ⁻³) | 0,06 \pm 0,05 | 0,13 \pm 0,37 | 0,07 \pm 0,04 | 0,04 \pm 0,03 | 0,03 \pm 0,01 |
| Areia (%) | 58,04 \pm 12,36 | 56,42 \pm 18,94 | 61,84 \pm 10,33 | 71,55 \pm 7,17 | 64,32 \pm 13,04 |
| Argila (%) | 25,64 \pm 11,21 | 24,39 \pm 9,95 | 28,30 \pm 8,69 | 19,48 \pm 8,25 | 19,33 \pm 8,88 |
| Silte (%) | 16,32 \pm 6,64 | 19,18 \pm 12,15 | 9,86 \pm 5,53 | 8,98 \pm 4,05 | 16,35 \pm 11,02 |
| DMP (mm) | 5,63 \pm 0,39 | 5,16 \pm 0,95 | 4,88 \pm 1,16 | 4,99 \pm 1,11 | 4,99 \pm 0,87 |
| Umi (%) | 31,12 \pm 12,62 | 31,39 \pm 17,24 | 36,24 \pm 19,77 | 32,51 \pm 19,45 | 19,88 \pm 4,95 |

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Micro: microporosidade; Macro: macroporosidade; Bio: bioporos; DMP: diâmetro médio ponderado de agregados; Umi: umidade no verão.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo B - Tabelas das propriedades químicas, microbiológicas e físicas dos sistemas de usos do solo (SUS) estudados no verão e no inverno.

Tabela 4 – Atributos químicos do solo (média \pm desvio padrão) na camada de 0-10 cm, em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), na região Sul de Santa Catarina (n = 15), no inverno.

| Atributos químicos | Sistemas de Uso do Solo (SUS) | | | | |
|--|-------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| | FN | RE | PA | ILP | PD |
| pH H ₂ O | 4,01 \pm 0,19 | 4,39 \pm 0,38 | 4,72 \pm 0,40 | 5,27 \pm 0,31 | 5,83 \pm 0,56 |
| pH SMP | 5,14 \pm 0,35 | 5,49 \pm 0,71 | 5,47 \pm 0,80 | 6,21 \pm 0,27 | 6,55 \pm 0,30 |
| P (mg dm ⁻³) | 7,87 \pm 7,44 | 5,62 \pm 2,65 | 6,95 \pm 5,37 | 74,84 \pm 50,49 | 58,72 \pm 41,71 |
| K (mg dm ⁻³) | 81,96 \pm 37,48 | 78,01 \pm 34,89 | 84,88 \pm 36,04 | 242,58 \pm 124,28 | 105,02 \pm 33,73 |
| N (%) | 2,63 \pm 1,43 | 6,99 \pm 7,42 | 18,94 \pm 23,21 | 2,37 \pm 0,76 | 1,25 \pm 0,52 |
| C/N | 11,11 \pm 1,14 | 8,42 \pm 5,92 | 7,24 \pm 5,26 | 9,15 \pm 0,68 | 11,70 \pm 3,35 |
| MO | 4,06 \pm 0,88 | 3,57 \pm 0,93 | 4,29 \pm 1,40 | 3,89 \pm 1,48 | 2,41 \pm 0,26 |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | 3,36 \pm 2,39 | 3,68 \pm 2,09 | 3,48 \pm 2,09 | 0,41 \pm 0,50 | 0,23 \pm 0,57 |
| Sat. Al (%) | 65,21 \pm 27,02 | 65,58 \pm 29,97 | 61,26 \pm 28,37 | 6,00 \pm 7,30 | 2,90 \pm 7,28 |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | 0,81 \pm 0,83 | 1,25 \pm 1,76 | 0,90 \pm 0,48 | 4,61 \pm 1,35 | 5,29 \pm 1,63 |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | 0,49 \pm 0,29 | 0,80 \pm 0,67 | 0,55 \pm 0,22 | 1,69 \pm 0,42 | 2,20 \pm 0,64 |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | 10,70 \pm 5,79 | 10,82 \pm 9,62 | 11,17 \pm 8,22 | 4,63 \pm 2,18 | 2,42 \pm 0,89 |
| CTC | 12,19 \pm 5,30 | 13,08 \pm 8,99 | 12,83 \pm 7,72 | 11,56 \pm 3,05 | 10,17 \pm 2,40 |
| Bases | 17,92 \pm 17,94 | 22,40 \pm 21,67 | 22,21 \pm 21,34 | 60,94 \pm 10,69 | 75,73 \pm 8,29 |
| K CTC (CTC ¹) | 2,69 \pm 3,18 | 2,33 \pm 1,91 | 2,82 \pm 2,76 | 6,04 \pm 4,19 | 2,81 \pm 1,23 |
| Ca CTC (CTC ¹) | 9,39 \pm 9,70 | 12,04 \pm 15,57 | 12,40 \pm 12,59 | 40,03 \pm 7,43 | 51,04 \pm 5,51 |
| Mg CTC (CTC ¹) | 5,85 \pm 6,02 | 8,04 \pm 6,13 | 6,99 \pm 6,33 | 14,87 \pm 2,88 | 21,87 \pm 5,03 |
| Ca/Mg | 1,42 \pm 1,12 | 0,90 \pm 1,01 | 1,58 \pm 0,39 | 2,72 \pm 0,36 | 2,44 \pm 0,57 |
| Ca/K | 3,29 \pm 2,78 | 6,32 \pm 9,15 | 4,13 \pm 1,51 | 10,40 \pm 6,72 | 22,30 \pm 11,18 |
| Mg/K | 2,30 \pm 0,83 | 4,41 \pm 4,15 | 2,60 \pm 0,56 | 3,84 \pm 2,53 | 9,54 \pm 5,59 |

pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; K: potássio; N: nitrogênio; C/N: relação carbono/nitrogênio; MO: matéria orgânica; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; H+AL: acidez potencial; CTC: capacidade de troca de cátions pH 7,0; Sat. Al: saturação por alumínio; Bases: soma de bases trocáveis; Ca/Mg: relação cálcio/magnésio; Ca/K: relação cálcio/potássio; Mg/K: relação magnésio/potássio; ¹: % de saturação na CTC a pH 7,0.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo B - Tabelas das propriedades químicas, microbiológicas e físicas dos sistemas de usos do solo (SUS) estudados no verão e no inverno.

Tabela 5 – Atributos do solo ligados à atividade biológica (média ± desvio padrão) na camada de 0-10 cm em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), no verão na região Sul de Santa Catarina (n = 15), no inverno.

| Atributo | Sistemas de Uso do Solo (SUS) | | | | |
|---|-------------------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | FN | RE | PA | ILP | PD |
| | VERÃO | | | | |
| CMic ($\mu\text{g C g}^{-1}$) | 279,56 ± 106,44 | 256,12 ± 122,91 | 274,36 ± 97,20 | 267,31 ± 71,30 | 195,29 ± 107,80 |
| RMic ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ¹ | 25,72 ± 14,94 | 35,19 ± 10,31 | 43,19 ± 25,64 | 20,35 ± 8,17 | 22,42 ± 10,96 |
| $q\text{CO}_2$ ($\mu\text{g } \mu\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ² | 0,09 ± 0,04 | 0,16 ± 0,07 | 0,16 ± 0,09 | 0,08 ± 0,03 | 0,14 ± 0,07 |
| $q\text{Mic}$ (%) | 1,15 ± 0,49 | 1,90 ± 1,17 | 1,30 ± 0,67 | 1,32 ± 0,45 | 1,54 ± 1,16 |
| COT (%) | 28,17 ± 17,18 | 20,71 ± 14,58 | 28,17 ± 20,48 | 21,72 ± 7,39 | 14,56 ± 6,50 |

CMic: carbono da biomassa microbiana; RMic: respiração microbiana do solo; $q\text{CO}_2$: quociente metabólico; $q\text{Mic}$: quociente microbiano; COT: carbono orgânico total; ¹: quantidade de C - CO₂ no solo; ²: quantidade de C - CO₂ na biomassa microbiana do solo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo B - Tabelas das propriedades químicas, microbiológicas e físicas dos sistemas de usos do solo (SUS) estudados no verão e no inverno.

Tabela 6 – Atributos físicos do solo (média \pm desvio padrão) na camada de 0-10 cm em sistemas de Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem Perene (PA), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e plantio direto (PD), na região Sul de Santa Catarina (n = 15), no inverno.

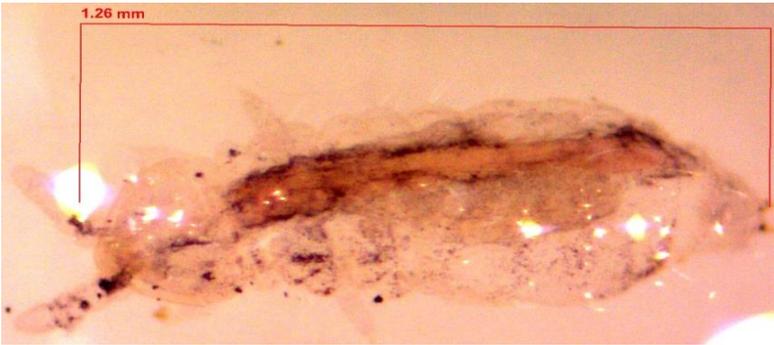
| Atributos físicos | Sistemas de Uso do Solo (SUS) | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | FN | RE | PA | ILP | PD |
| Ds (g cm ⁻³) | 1,14 \pm 0,19 | 1,22 \pm 0,18 | 1,07 \pm 0,20 | 1,41 \pm 0,19 | 1,49 \pm 0,10 |
| PT (m ³ m ⁻³) | 0,58 \pm 0,08 | 0,54 \pm 0,06 | 0,60 \pm 0,06 | 0,48 \pm 0,08 | 0,47 \pm 0,05 |
| Micro (m ³ m ⁻³) | 0,38 \pm 0,13 | 0,40 \pm 0,10 | 0,46 \pm 0,07 | 0,43 \pm 0,03 | 0,34 \pm 0,05 |
| Macro (m ³ m ⁻³) | 0,20 \pm 0,09 | 0,14 \pm 0,06 | 0,14 \pm 0,06 | 0,06 \pm 0,07 | 0,12 \pm 0,07 |
| Bio (m ³ m ⁻³) | 0,08 \pm 0,03 | 0,05 \pm 0,03 | 0,03 \pm 0,01 | 0,12 \pm 0,37 | 0,05 \pm 0,04 |
| Areia (%) | 54,56 \pm 18,53 | 55,99 \pm 14,13 | 65,66 \pm 9,75 | 62,85 \pm 7,40 | 73,12 \pm 7,38 |
| Argila (%) | 27,59 \pm 10,87 | 27,28 \pm 12,02 | 24,79 \pm 8,24 | 21,40 \pm 5,87 | 16,07 \pm 7,03 |
| Silte (%) | 17,85 \pm 11,78 | 16,73 \pm 11,26 | 9,55 \pm 5,33 | 15,75 \pm 8,73 | 10,81 \pm 4,07 |
| DMP (mm) | 5,57 \pm 0,55 | 5,79 \pm 0,42 | 5,57 \pm 0,41 | 4,86 \pm 0,80 | 3,86 \pm 0,89 |
| Umi (%) | 28,05 \pm 8,49 | 26,00 \pm 9,14 | 43,47 \pm 20,06 | 24,66 \pm 7,86 | 24,59 \pm 14,26 |

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Micro: microporosidade; Macro: macroporosidade; Bio: bioporos; DMP: diâmetro médio ponderado de agregados; Umi: umidade no verão.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo C - Quadros das fotos dos morfotipos dos grupos eco-morfológicos edáficos, hemiedáficos e epígeos encontrados na região Sul de Santa Catarina.

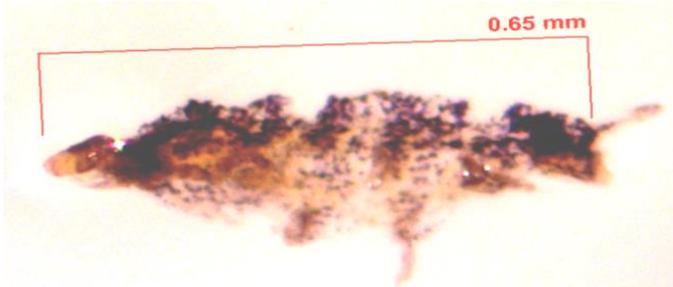
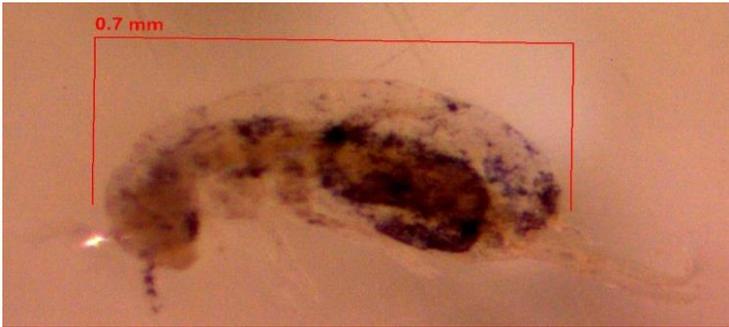
Quadro 1: Fotos dos morfotipos edáficos encontrados na região Sul de Santa Catarina.

| Morfotipos edáficos | |
|---|--------------------|
| Morfotipo: | Edáfico 6 (Ed 6) |
|  | |
| Morfotipo: | Edáfico 15 (Ed 15) |
|  | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo C - Quadros das fotos dos morfotipos dos grupos eco-morfológicos edáficos, hemiedáficos e epígeos encontrados na região Sul de Santa Catarina.

Quadro 2: Fotos dos morfotipos hemiedáficos encontrados na região Sul de Santa Catarina. (Continua).

| Morfotipos Hemiedáficos | |
|--|----------------------|
| Morfotipo: | Hemiedáfico 4 (H 4) |
|  | |
| Morfotipo: | Hemiedáfico 14 (H14) |
|  | |
| Morfotipo: | Hemiedáfico 16 (H16) |
|  | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo C - Quadros das fotos dos morfotipos dos grupos eco-morfológicos edáficos, hemiedáficos e epígeos encontrados na região Sul de Santa Catarina.

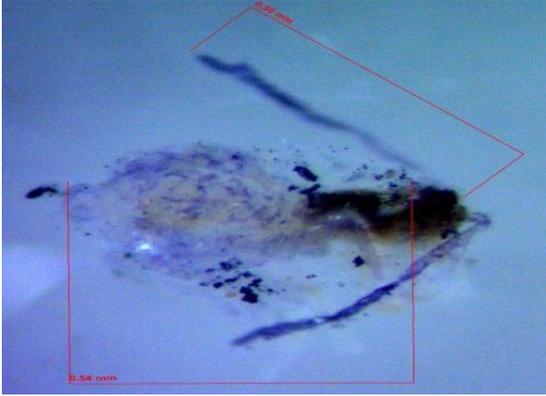
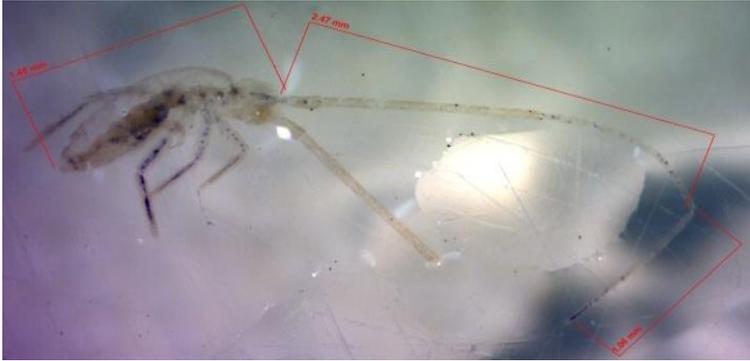
Quadro 2: Fotos dos morfotipos hemiedáficos encontrados na região Sul de Santa Catarina. (Continuação)

| Morfotipos Hemiedáficos | |
|--|-----------------------|
| Morfotipo: | Hemiedáfico 25 (H 25) |
|  | |
| Morfotipo: | Hemiedáfico 30 (H30) |
|  | |
| Morfotipo: | Hemiedáfico 32 (H32) |
|  | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo C - Quadros das fotos dos morfotipos dos grupos eco-morfológicos edáficos, hemiedáficos e epígeos encontrados na região Sul de Santa Catarina.

Quadro 2: Fotos dos morfotipos hemiedáficos encontrados na região Sul de Santa Catarina. (Continuação)

| Morfotipos Hemiedáficos | |
|--|-----------------------|
| Morfotipo: | Hemiedáfico 35 (H 35) |
|  | |
| Morfotipo: | Hemiedáfico 46 (H 46) |
|  | |
| Morfotipo: | Hemiedáfico 48 (H 48) |
|  | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo C - Quadros das fotos dos morfotipos dos grupos eco-morfológicos edáficos, hemiedáficos e epígeos encontrados na região Sul de Santa Catarina.

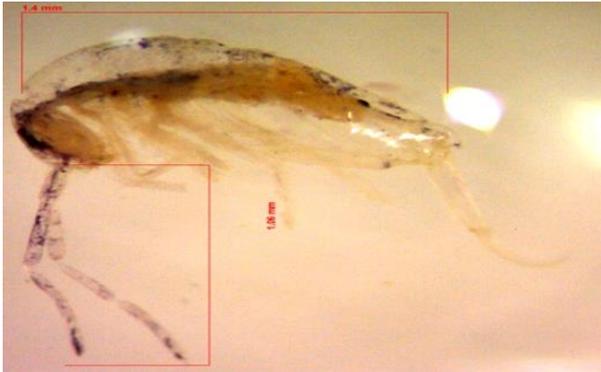
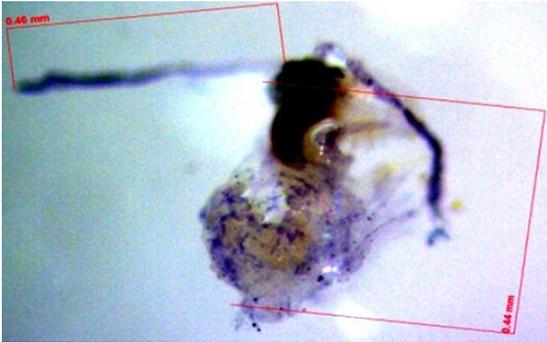
Quadro 2: Fotos dos morfotipos hemiedáficos encontrados na região Sul de Santa Catarina. (Conclusão)

| Morfotipos Hemiedáficos | |
|--|-----------------------|
| Morfotipo: | Hemiedáfico 50 (H 50) |
|  | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo C - Quadros das fotos dos morfotipos dos grupos eco-morfológicos edáficos, hemiedáficos e epígeos encontrados na região Sul de Santa Catarina.

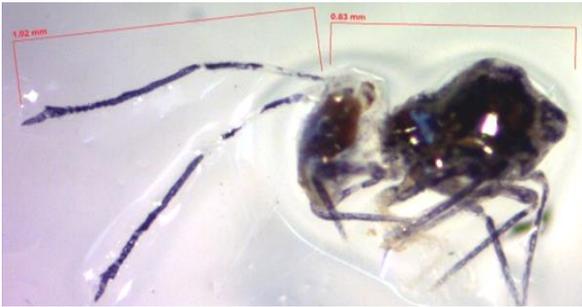
Quadro 3: Fotos dos morfotipos epígeos encontrados na região Sul de Santa Catarina. (Continua)

| Morfotipos Epígeos | |
|--|-------------------|
| Morfotipo: | Epígeo 5 (Ep 5) |
|  | |
| Morfotipo: | Epígeo 9 (Ep 9) |
|  | |
| Morfotipo: | Epígeo 10 (Ep 10) |
|  | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Anexo C - Quadros das fotos dos morfotipos dos grupos eco-morfológicos edáficos, hemiedáficos e epígeos encontrados na região Sul de Santa Catarina.

Quadro 3: Fotos dos morfotipos epígeos encontrados na região Sul de Santa Catarina. (Conclusão)

| Morfotipos Epígeos | |
|--|-------------------|
| Morfotipo: | Epígeo 17 (Ep 17) |
|  | |
| Morfotipo: | Epígeo 21 (Ep 21) |
|  | |
| Morfotipo: | Epígeo 24 (Ep 24) |
|  | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.