



**UDESC**

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DE  
COLÊMBOLOS (HEXAPODA:  
COLLEMBOLA) EM SISTEMAS DE  
MANEJO DO SOLO**

JULIA DA SILVA MACHADO

LAGES, 2015

**JULIA DA SILVA MACHADO**

**DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DE COLÊMBOLOS  
(HEXAPODA: COLLEMBOLA) EM SISTEMAS DE MANEJO  
DO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientador: Dr. Dilmar Baretta  
Coorientador: Dr. Julio Cesar Pires Santos

**LAGES  
2015**

Machado, Julia da Silva  
Diversidade morfológica de colêmbolos  
(Hexapoda: Collembola) em sistemas de manejo do  
solo / Julia da Silva Machado. - Lages, 2015.  
90 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Dilmar Baretta  
Coorientador: Julio Cesar Pires Santos  
Inclui bibliografia  
Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado  
de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo, Lages, 2015.

1. Qualidade do solo. 2. Biologia do solo.  
3. Biodiversidade do solo. 4. Mesofauna do solo.  
I. Machado, Julia da Silva. II. Baretta, Dilmar.  
III. Universidade do Estado de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.  
IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pelo aluno.

**JULIA DA SILVA MACHADO**

**DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DE COLÊMBOLOS  
(HEXAPODA: COLLEMBOLA) EM SISTEMAS DE MANEJO  
DO SOLO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Aprovado em: 25 / 07 / 2015

Homologado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**Banca Examinadora**

Orientador:



---

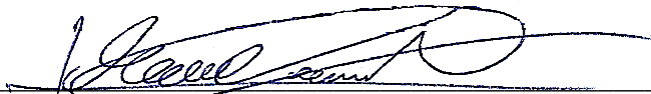
Prof. Dr. Dilmar Baretta  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membros:



---

Prof. Dr. Julio Cesar Pires Santos  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC



---

Prof. Dr. Mauricio Vicente Alves  
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC



---

Prof. Dr. Luis Carlos Luñes de Oliveira Filho  
Faculdades Integradas - FACVEST

Lages, 25 de julho de 2015.

Dedico esta dissertação  
aos meus pais, por todo  
amor e apoio envolvidos  
no processo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me manter firme e persistente no objetivo durante esses anos.

Agradeço especialmente aos meus pais, por terem um amor e uma paciência inesgotável, e pôr se fazerem presentes em todos os momentos da minha vida.

A minha mentora e amiga, Maria de Lourdes e a toda a sua equipe, pelos cuidados dispendidos a mim e minha família.

Ao Prof. Dr. Julio Cesar Pires Santos, por ter me dado a oportunidade de desenvolver esse projeto, e ter sido um amigo paciente sempre que necessário.

Ao Prof. Dr. Dilmar Baretta, por aceitar entrar nessa maratona que se tornou o fim do mestrado, e me orientar de forma tão compreensiva.

Ao Prof. Dr. Mauricio Vicente Alves pelo estímulo e todo apoio para que iniciasse essa caminhada.

Ao Dr. Luís Luñes, por ter me ensinado absolutamente tudo que era necessário para a realização deste experimento, por estar sempre disposto a ajudar (técnica ou psicologicamente) e por ter se tornado um grande amigo.

Aos amigos Márcio Gonçalves da Rosa e Julia Segat, por todas as dicas e conversas.

Aos amigos Douglas Alexandre e Rafaela Peron, por simplesmente serem quem são, e tornar leve, divertido e surpreendente qualquer que seja o acontecimento.

As amigas Priscila Stocco, Jaqueline Gerber, Leticia Scopel, Marithsa Marchetti e Gilvani Mallmann, por participarem tanto da minha vida acadêmica quanto

pessoal, ouvindo, incentivando, instruindo, dando bronca e socorrendo (literalmente).

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, pela oportunidade do mestrado.

A FAPESC (nº 6.309/2011-6), CNPq (nº 563251/2010-7) e CAPES/UDESC pelo apoio financeiro e disponibilização da bolsa de mestrado.

A todos que de alguma forma tornaram possível à realização deste projeto.

“Todos os dias os animais nos prestam diversos serviços de graça. Deveríamos ser gratos a eles”.

São Francisco de Assis



## RESUMO

MACHADO, Julia da Silva. **Diversidade morfológica de colêmbolos (Hexapoda: Collembola) em sistemas de manejo do solo.** 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2015.

Todo e qualquer manejo inadequado do solo, causa impacto ambiental negativo sobre a diversidade da fauna edáfica. A presente dissertação objetivou avaliar a influência de sistemas de uso e manejo do solo (SUS) sobre a diversidade morfológica de colêmbolos, bem como sua relação com atributos físicos e químicos do solo. Foram estudados cinco SUS no Planalto Catarinense, Brasil: floresta nativa (F), reflorestamento de eucalipto (Reu), pastagem perene (P), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), em duas épocas distintas (inverno e verão). A avaliação dos colêmbolos foi realizada instalando-se armadilhas do tipo *Pitfall traps* em um grid amostral (3 x 3). Nos mesmos pontos foram avaliados atributos físicos e químicos do solo. A morfotipagem dos colêmbolos consistiu na observação de cinco características e para cada característica foi atribuído um valor parcial do índice ecomorfológico (EMI) para a obtenção do Índice de Qualidade do Solo (QBS) modificado. Os dados foram submetidos a análises multivariadas. No inverno, o SUS F apresentou a maior abundância de morfotipos devido a melhores valores de relação Ca/Mg, carbono orgânico total (COT), bioporos, microporos e umidade do solo em comparação aos demais SUS. Já os sistemas ILP e PD se correlacionaram com o atributo macroporos. No verão, novamente a F apresentou maior abundância de

morfotipos, porém, a maior diversidade de níveis de adaptação foi encontrada em PD. No verão, a F apresentou relação com o COT e microporos, enquanto ILP e PD se correlacionaram com pH, bioporos e densidade do solo. No inverno, o valor de QBS foi maior em F, seguido por Reu, P, PD e ILP, respectivamente, sendo menor quanto maior a intensificação do SUS. Já no verão, os valores de QBS foram maiores em F, seguido por ILP, Reu, PD e P, respectivamente. A separação ao nível de morfotipos se mostrou uma eficiente alternativa para indicar o nível de intensificação de uso do solo, principalmente em conjunto com outras variáveis ambientais explicativas.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo. Biologia do solo. Biodiversidade do solo. Mesofauna do solo.

## ABSTRACT

MACHADO, Julia da Silva. **Morphological diversity of springtails (Hexapoda: Collembola) in soil management systems.** 2015. 90 p. Dissertation (MSc in Soil Science) – University of the State of Santa Catarina. Graduate Program in Soil Science, Lages, 2015.

Any inappropriate soil management, cause negative environmental impact on the diversity of soil fauna. This dissertation aimed to evaluate the influence of land use systems (LUS) on the morphological diversity of springtails, as well as its relationship with physical and chemical soil attributes. Were studied five LUS on the Plateau of Santa Catarina, Brazil: native forest (F), *Eucalyptus* plantation (Reu), perennial pasture (P), integrated crop-livestock (ILP) and no-tillage (PD), in two different seasons (winter and summer). The evaluation was performed by installing traps of type *Pitfall traps* per sampling grid (3 x 3). The same points were evaluated physical and chemical soil attributes. The morphotyping of the springtails consisted in observing five characteristics and each feature has been assigned a partial value of Eco-morphological index (EMI) for Biological Quality of Soil Index (QBS) modified. The data were subjected to multivariate analysis. In winter, the LUS (F) presented the highest abundance of morphotypes due the best values of Ca/Mg ratio, total organic carbon (TOC), bioporos, micropores and soil moisture in comparison to other LUS. ILP systems and PD already correlated with the Macropores. In the summer, again the F showed the highest abundance of morphotypes, however, the greatest diversity of levels of adaptation was found in PD. In summer, the F presented related to the TOC and micropores, while ILP and PD

correlated with pH, bioporos and soil density. In winter, the value of QBS was greater in F, followed by Reu, P, PD and ILP, respectively, being smaller the higher the intensification of the LUS. In the summer, the QBS values were higher in F, followed by ILP, Reu, PD and P, respectively. The separation to the level of morphotypes proved an efficient alternative to indicate the level of intensification of land use, especially in combination with other explanatory environmental variables.

**Keywords:** Soil quality. Soil biology. Soil biodiversity. Mesofauna soil.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Anatomia externa básica de um colêmbolo.. 21
- Figura 2 - Aspectos morfológicos das principais ordens da Classe Collembola..... 23
- Figura 3 - Diferenças entre as características morfológicas de colêmbolos, de acordo com o nível de adaptação ao solo..... 30
- Figura 4 - Localização das áreas de estudo na Região do Planalto Catarinense, nos municípios de Campo Belo do Sul, Lages e Otacílio Costa. .... 33
- Figura 5 - Detalhe do grid de amostragem para as coletas das amostras químicas, físicas e armadilhas (*Pitfall Traps*)..... 42
- Figura 6 - Características morfológicas observadas para a distinção de morfotipos e valoração do *Eco-morphological index*. .... 45
- Figura 7 - Abundância de colêmbolos em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno (a) e verão (b), na região do Planalto Sul Catarinense.. .... 51
- Figura 8 - Riqueza de morfotipos de colêmbolos em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno (a) e verão (b), na região do Planalto Sul Catarinense.. .... 52
- Figura 9 - Análise de Componentes Principais (ACP), considerando os sistemas de uso do solo, os morfotipo e as variáveis ambientais

explicativas selecionadas para o inverno na Região Planalto Sul Catarinense. .... 57

Figura 10 - Análise de Componentes Principais (ACP), considerando os sistemas de uso do solo, os morfotipo e as variáveis ambientais explicativas selecionadas para o verão na Região do Planalto Sul Catarinense. .... 61

Figura 11 - Dendograma apresentando a distância de ligação referente aos morfotipos da classe Collembola (B), em diferentes sistemas de uso e manejo do solo (A) no período de inverno, no planalto catarinense.. .... 71

Figura 12 - Dendograma apresentando a distância de ligação referente aos morfotipos da classe Collembola (B), em diferentes sistemas de uso e manejo do solo (A) no período de verão, no planalto catarinense..... 73

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Histórico e caracterização dos sistemas de uso do solo. Floresta nativa (F), reflorestamento de eucalipto (Reu), pastagem (P), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), em cada município na região do Planalto Catarinense. Santa Catarina. .... 35
- Tabela 2 - Atributos químicos do solo na camada de 0 - 10 cm, em sistemas de Floresta nativa (F), Reflorestamento de eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração lavoura-pecuária (ILP) e Plantio direto (PD) no Planalto Catarinense. .... 39
- Tabela 3 - Atributos físicos do solo na camada de 0 - 10 cm, em sistemas de Floresta nativa (F), Reflorestamento de eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração lavoura-pecuária (ILP) e Plantio direto (PD) no Planalto Catarinense. .... 41
- Tabela 4 - Características e valores usados no cálculo do valor EMI para a distinção de diferentes morfotipos. .... 46
- Tabela 5 - Valores dos índices de Diversidade de Shannon, Equitabilidade de Pielou e Riqueza de Margalef, em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno e verão, na região do Planalto Sul Catarinense. .... 53
- Tabela 6 - Valores do Índice de Qualidade do Solo (QBS) para os grupos ecomorfológicos edáficos (E), semi-edáficos (S) e epígeos (EP) em Floresta

Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno, na região do Planalto Sul Catarinense..... 63

Tabela 7 - Valores do Índice QBS atribuídos aos morfotipos mais representativos para cada um dos grupos ecomorfológicos, em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno na região do Planalto Sul Catarinense. .... 66

Tabela 8 - Valores do Índice QBS para os grupos ecomorfológicos edáficos (E), semi-edáficos (S) e epígeos (EP) em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no verão, na região do Planalto Sul Catarinense..... 67

Tabela 9 - Valores do Índice QBS, atribuídos aos morfotipos mais representativos para os grupos ecomorfológicos, em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no verão, na região do Planalto Sul Catarinense..... 69



## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>  | <b>21</b> |
| 2.1      | CLASSE COLLEMBOLA .....  | 21        |
| 2.2      | QUALIDADE DO SOLO E SEUS INDICADORES .....                                   | 25        |
| 2.2.1    | <b>Colêmbolos como bioindicadores de qualidade do solo .....</b>             | <b>27</b> |
| 2.2.2    | <b>Relação dos atributos físicos e químicos com a qualidade do solo.....</b> | <b>30</b> |
| <b>3</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>   | <b>33</b> |
| 3.1      | DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO.....  | 33        |
| 3.2      | AMOSTRAGEM DOS COLÊMBOLOS E OUTROS ATRIBUTOS EDÁFICOS .....                  | 42        |
| 3.3      | CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA E CÁLCULO DO ÍNDICE QBS .....                      | 44        |
| 3.4      | ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....  | 47        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>50</b> |
| 4.1      | ABUNDÂNCIA E RIQUEZA DE MORFOTIPOS ..  | 50        |
| 4.2      | ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO DE COMUNIDADES .....                                   | 54        |
| 4.3      | ÍNDICE DE QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO (QBS) .....                            | 62        |
| 4.4      | ANÁLISE DE AGRUPAMENTO .....   | 70        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>  | <b>74</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                      | <b>75</b> |
|          | <b>ANEXO.....</b>  | <b>88</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Na busca por sanar todas as necessidades humanas, a expansão das áreas pelos sistemas agrícolas, agropecuários e florestais se tornou uma prática comum, causando grande pressão sob o meio ambiente, através da utilização indiscriminada dos recursos naturais. O solo é um recurso natural não renovável, extremamente dinâmico, com interações das atividades físicas, químicas e biológicas, que resultam no bom funcionamento do ecossistema terrestre.

Porém, em sistemas de exploração é o recurso a ser mais exigido, e se mal manejado, acaba por resultar em perdas significativas para todo o ambiente. Perdas de matéria orgânica, erosão, contaminação do solo, contaminação das águas subterrâneas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007), prejuízos à diversidade e riqueza de organismos edáficos, são alguns exemplos do reflexo de atividades mal manejadas no solo.

O solo é habitat de uma enorme biodiversidade, em termos de abundância, número de espécies e funções dos organismos. Essa interação solo-organismos resulta em muitos processos e funções, como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, formação da estrutura do solo e biorremediação de contaminantes. A perda dessa biodiversidade resulta de maneira indireta em um declínio no suporte dado pelo ecossistema ao bem-estar humano; em função de abalos em atividades como a produção de alimentos, regulação climática e fornecimento de água potável.

Sabendo da importância dos organismos edáficos, dos serviços ecológicos prestados por eles e da sensibilidade com a qual reagem as modificações ambientais; a sua análise se tornou parâmetro

importante na avaliação e monitoramento da qualidade do solo.

Os organismos pertencentes à mesofauna do solo, especialmente os colêmbolos (Hexapoda: Collembola), possuem a capacidade de indicar o nível de degradação e/ou o estágio de recuperação de áreas que sofreram alguma ação antrópica (BARETTA et al., 2008; LEIVAS; FISHER, 2008).

Por estarem entre as maiores populações da mesofauna edáfica, e possuírem funções importantes no solo, como atuação na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e alteração da estrutura do solo; o conhecimento de sua diversidade em diferentes sistemas de uso torna-se indispensável para o monitoramento da qualidade do solo. Principalmente quando se tem em mente que, junto com os fungos e as bactérias, os colêmbolos são responsáveis pela formação e enriquecimento da maior parte do solo disponível para a sustentação de sistemas florestais e agrícolas (ZEPPELINI; BELLINI, 2004).

Todavia, trabalhos envolvendo indicadores biológicos de qualidade do solo têm sido limitados, especialmente, pelo pequeno número de especialistas no assunto e a baixa capacidade de identificação dos exemplares coletados. Pensando neste entrave, muitos métodos vêm sendo propostos para avaliar a qualidade do solo com base na mesofauna, mas com um enfoque funcional. Alguns destes métodos utilizam características morfológicas de fácil identificação, como é o caso da morfotipagem de colêmbolos. O Eco-morphological index, como é chamado este índice, é capaz de revelar o nível de adaptação dos colêmbolos ao solo, sem, no entanto, exigir uma complexa identificação taxonômica (PARISI et al., 2005; CARVALHO, 2012).

Por meio deste método, é possível avaliar e monitorar as diferenças entre sistemas de manejo, assim como desenvolver estratégias de uso e conservação do solo (RIBEIRO-TROIAN et al., 2009; CARVALHO, 2012). A hipótese deste estudo é que determinados sistemas podem influenciar a diversidade e abundância desses organismos, principalmente pelas mudanças de micro-habitat e microclima que impõem, através das alterações nos atributos físicos e químicos do solo. Contudo, praticamente não existem informações no Brasil sobre a diversidade morfológica de colêmbolos, especialmente em um gradiente de intensificação do uso do solo em Santa Catarina.

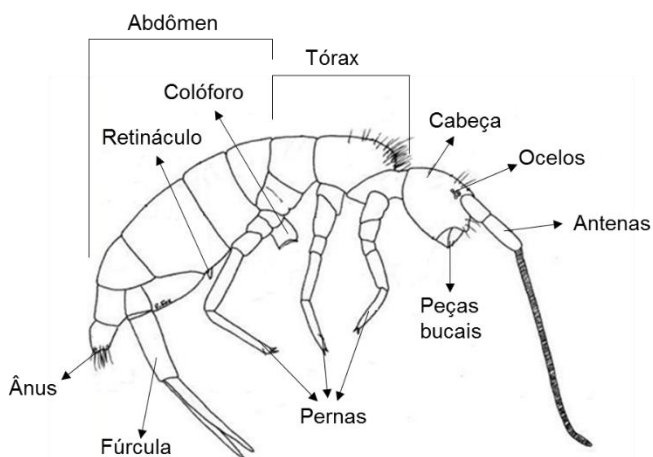
Pensando nisso, a presente dissertação objetivou avaliar a influência de sistemas de uso e manejo do solo no Planalto Catarinense, sobre a diversidade morfológica de colêmbolos, bem como sua relação com atributos físicos e químicos do solo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CLASSE COLLEMBOLA

Colêmbolos são pequenos artrópodes, pouco conhecidos, de tamanho entre 0,2 e 8,0 mm, ápteros, com padrão de tagmose corporal semelhante à de insetos, com subdivisão em cabeça, tórax e abdômen (Figura 1) (ZEPPELINI; BELLINI, 2004).

Figura 1 - Anatomia externa básica de um colêmbolo.



Fonte: Adaptado de Hopkin, 1997.

De maneira geral são organismos de corpo subcilíndrico ou globoso, muito delicado, que possuem uma cutícula revestindo seu exoesqueleto. A mesma, pode apresentar coloração variável, formada por duas ou mais cores, ou ser desprovida de pigmento. Esses organismos possuem ainda, variados padrões de ornamentação, normalmente formando figuras geométricas e essa variação da cutícula tem como

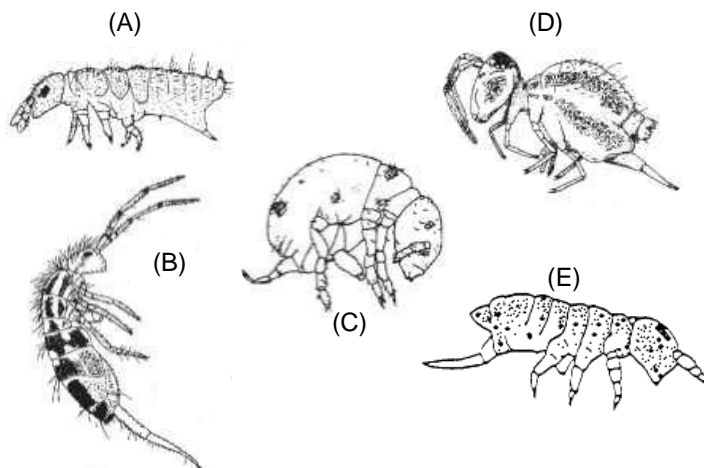
principal função torná-la altamente hidrofóbica (HAMADA et al., 2014).

Colêmbolos são ametábolos, ou seja, o recém emergido possui características morfológicas semelhantes ao adulto, diferenciando-se apenas, pela pigmentação reduzida, pelos e/ou escamas também reduzidos e ausência de abertura genital (ZEPPELINI; BELLINI, 2004). O número de estágios antes da maturidade sexual varia geralmente de 5-8. Porém, ao atingir a maturidade, os colêmbolos adultos continuam com o processo de muda, que em algumas espécies pode ocorrer até 40 ou mais vezes (HOPKIN, 1997).

Embora existam semelhanças morfológicas com organismos da classe Insecta, os colêmbolos são classificados como hexápodes pertencentes à classe Collembola. Essa classificação é bastante recente e fundamentada, entre outras coisas, pela localização de suas peças bucais, que se encontram internas à cavidade oral (MOREIRA, et al., 2013). Tradicionalmente, a classe é dividida em cinco grupos, Poduromorpha, Entomobryomorpha, Neelipleona, Symphyleona e Metaxypleona (DEHARVENG, 2004).

Cada grupo possui característica específica (Figura 2). A ordem Poduromorpha é considerada como o padrão morfológico mais generalizado, com pró-tórax distinto, apresentando cerdas na parte dorsal. Já a ordem Entomobryomorpha possui um pró-tórax reduzido, com ausência de cerdas (D'HAESE, 2003). A ordem Neelipleona apresenta o meso e meta tórax aumentados, formando a maior parte do corpo; enquanto na ordem Symphyleona, a maior parte do corpo é formada pelos quatro primeiros segmentos abdominais e, finalmente os outros grupos mais derivados apresentam um corpo globoso, com fusão de segmentos (ZEPPELINI; BELLINI, 2004).

Figura 2 - Aspectos morfológicos das principais ordens da Classe Collembola. (A) Poduomorpha, (B) Entomobryomorpha, (C) Neelipleona, (D) Symphypleona, (E) Metaxypleona



Fonte: Adaptado de Zeppelini; Bellini, 2004.

A classe Collembola possui uma ampla distribuição em todo o mundo, com relatos de ocorrência no círculo polar Ártico à latitude 83° Sul, na Antártida. Podem ser encontrados nos mais variados habitats, entre eles, cavernas, pequenos corpos aquíferos, rochas, praias, ninhos de animais (aves, mamíferos e insetos sociais), copas de árvores, entre tantos outros locais (ZEPPELINI; BELLINI, 2004). Porém, sua maior abundância e diversidade está relacionada ao habitat solo, mais precisamente o sistema solo-serapilheira. Este fato é favorecido pela preferência desses organismos por locais mais úmidos e que apresentem fonte de alimentação. Nesta última, há preferência por fungos relacionados à matéria orgânica do solo, bactérias, detritos vegetais e animais (CASTAÑO-MENESES et al., 2004).

Em relação aos seus predadores, diferentes grupos de animais podem ser citados, entre eles, ácaros (Acarina), coleópteros (Coleoptera), aranhas (Araneae) de pequeno porte e formigas (Hymenoptera: Formicidae) (BELLINGER, et al., 2015). Porém, os colêmbolos possuem alguns mecanismos para escapar da predação, entre eles, a já citada fúrcula, que quando bem desenvolvida, oferece um meio de escape eficiente. Além disso, há ainda espécies que apresentam o corpo recoberto por cerdas e escamas, que obstruem o aparelho bucal do predador e facilitam a fuga de teias de aranha e há também a produção de substâncias impalatáveis que afastam os seus predadores (ZEPPELINI; BELLINI, 2004).

Por apresentar corpo delicado, os colêmbolos são organismos sensíveis a abrasões físicas e baixos teores de umidade, porém, isso não significa que não haja a ocorrência dos mesmos nos mais diferentes lugares do mundo; junto com os ácaros, eles integram a maior população da mesofauna edáfica (STEFFEN et al., 2007). Hoje no mundo, já estão descritas mais de 8000 espécies de colêmbolos, incluídos em aproximadamente 690 gêneros (BELLINGER et al., 2015). As informações mundiais sempre atualizadas podem ser obtidas em <http://www.collembola.org>.

No Brasil, um levantamento indica que há, atualmente, 270 espécies registradas, distribuídas em 19 famílias e 92 gêneros (ABRANTES et al, 2010). Ainda são escassos os trabalhos com enfoque na diversidade de colêmbolos no país, esse fato dificulta o entendimento da evolução e biogeografia (ZEPPELINI; BELLINI, 2004).

Em Santa Catarina, praticamente não existem trabalhos envolvendo diversidade de colêmbolos, sendo os primeiros trabalhos iniciados pelo pela Universidade do Estado de Santa Catarina nos Campus de Lages e



Chapecó. Não encontramos relatos de taxonomistas treinados em Santa Catarina para identificação ao nível de espécies ou mesmo em nível de diversidade morfológica de colêmbolos (morfotipagem), sendo essa a primeira dissertação com essa ênfase.

## 2.2 QUALIDADE DO SOLO E SEUS INDICADORES

A preocupação com o recurso solo já se segue por alguns anos. Em 1953, Lowdermilk afirmava que se o solo fosse destruído, então nossa liberdade de escolha e ação também seria, e condenaríamos esta e as futuras gerações a perigos e privações desnecessários. A princípio esta declaração pode parecer um pouco exagerada, pois solo é algo tão comum, tão abundante, qual a necessidade de nos preocuparmos?

Pensando dessa maneira, por muitos anos esse assunto foi deixado em segundo plano e veio à tona de maneira intensa apenas no início dos anos 90. Nesse período, começou a haver um interesse maior da comunidade científica com a degradação dos recursos naturais e a sustentabilidade agrícola e, conseqüentemente, com o papel do solo nesse contexto (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). A partir daí muitas publicações acerca desse assunto foram feitas (DORAN; ZEISS, 2000; SCHLOTTER et al., 2003; GARRIGUES et al., 2012).

De forma concisa, um dos primeiros conceitos reconhecidos foi o de Larson e Pierce (1991), e trazia qualidade do solo como “aptidão para utilização”. Mais tarde, em 1997, um conceito mais abrangente foi publicado pela Soil Science Society of America's Ad Hoc Committee on Soil Quality (S-581) como sendo “a capacidade de um tipo específico de solo de funcionar, dentro de um ecossistema natural ou manejado, para

sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade do ar e da água, e promover a saúde e habitação humana” (KARLEN et al., 1997; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; GARRIGUES et al., 2012).

De maneira geral, é impossível mensurar a qualidade do solo de forma direta, pois este é um conceito de contexto muito amplo. Porém, há uma grande variedade de medidas de representação, que juntas fornecem uma ideia sobre como está o funcionamento do solo, das mais variadas perspectivas. Essas medidas são indicadoras de qualidade do solo, que em um conceito mais estruturado, “são propriedades mensuráveis (quantitativas e/ou qualitativas) do solo ou da planta acerca de um processo ou atividade e que permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas num dado ecossistema” (KARLEN et al., 1997; LAISHRAM et al., 2012).

A escolha por um indicador segue alguns critérios mínimos, que garantem a eficácia da avaliação. Entre os critérios, pode-se citar: i – significância, é necessário que os indicadores estejam relacionados às funções ecológicas do solo; ii – padronização, esse quesito garante que os dados de diferentes locais possam ser comparados; iii – mensurável e eficiente em termos de custo, precisa ser de fácil investigação e com preços acessíveis a qualquer interessado; iv – relevância política, os parâmetros precisam ser sensíveis a mudanças em escalas de espaço e tempo relevantes para a política, permitindo capturar progressos no sentido de objetivos políticos; v – cobertura espacial e temporal, devem ocorrer em diferentes tipos e usos de solo, sendo passíveis de agregação ou desagregação em diferentes escalas espaciais; vi - facilidade de entendimento, os indicadores devem ser simples e de

fácil compreensão e vii – precisão, os valores dos indicadores devem refletir com precisão e de forma robusta as mudanças que monitoram (TURBÉ et al., 2010).

De maneira geral, existem três categorias principais de indicadores de qualidade do solo, os químicos, os físicos e os biológicos (DORAN; PARKIN, 1996). No entanto, a integração dos três se faz necessária para que haja uma quantificação da qualidade do solo, isso porque cada categoria possui uma correlação específica com alguma função do solo (DORAN; PARKIN, 1996; LAISHRAM et al., 2012).

A escolha de um indicador depende da função do solo que será avaliada para mesurar a qualidade. Por exemplo, se o impacto de diferentes cultivos, sobre a biodiversidade de organismos edáficos, for a função a ser avaliada, então serão escolhidos indicadores que se relacionarão com o tema. Como exemplos, pode se citar a diversidade, riqueza e abundância de organismos, resistência à penetração, porosidade, matéria orgânica, capacidade de retenção de água, pH, entre muitos outros parâmetros.

### **2.2.1 Colêmbolos como bioindicadores de qualidade do solo**

O uso de organismos edáficos como indicadores da qualidade do solo (bioindicadores), está principalmente relacionado aos fatos de serem sensível as perturbações antrópicas, estarem correlacionados com inúmeras funções do solo, serem de fácil estimativa e representarem muito bem o ambiente que promovem (DORAN; ZEISS, 2000; BARETTA et al., 2011).

Muitos organismos edáficos já são reconhecidos e largamente utilizados como bioindicadores, sejam em

avaliações que incluem toda a diversidade da área ou que observem apenas o comportamento de um único grupo da fauna. Com base nesta segunda hipótese, os colêmbolos têm sido alvo de alguns estudos, que visam averiguar seu potencial como bioindicador. Muitas pesquisas afirmam que eles desempenham muito bem esse papel, por apresentarem respostas rápidas, através de sua abundância e composição, aos diferentes usos e manejos do solo (GARDI et al., 2002; PARISI et al., 2001; SOUSA et al., 2006; BARETTA et al., 2008).

Sua sensibilidade permite que respondam a uma variedade de fatores ambientais e ecológicos, como mudanças na química do solo, nas condições microclimáticas, no micro-habitat e na qualidade e quantidade de serapilheira (SOUSA et al., 2004; CHANG et al., 2013; ALVES et al., 2014). Porém, essa sensibilidade é variável entre as espécies, algumas são tolerantes a uma vasta gama de condições ambientais (CASSAGNE et al., 2006).

Várias espécies de colêmbolos têm sido utilizadas como bioindicadoras em análises de risco ambiental; a espécie *Folsomia candida*, por exemplo, é largamente utilizada em ensaios ecotoxicológicos padrão ISO 11267 (ISO, 2014; ZORTÉA et al., 2015).

Entretanto, estudos envolvendo o conhecimento da diversidade dos colêmbolos, ou mesmo, as alterações causadas neste grupo por ações antrópicas, são escassos e ficam em sua maioria, restritos a taxonomistas; o que torna tudo mais demorado e caro (BARETTA et al., 2011). Como citado anteriormente, uma das características necessárias a um indicador de qualidade do solo, é ser facilmente mensurado e compreendido, e para tal, nos últimos anos se tem desenvolvido medidas de diversidade morfológica, que

podem ser mensuradas por não taxonomistas (DORAN; ZEISS, 2000; YAN et al., 2012; CARVALHO, 2012).

Nos últimos anos, diferentes autores propuseram novos métodos para avaliar a qualidade do solo, baseado em organismos da mesofauna (PARISI et al., 2005; YAN et al., 2012; CARVALHO, 2012). Porém, entre estes métodos, o mais relevante para o estudo dos microartrópodes provavelmente foi o proposto por Parisi (2001). Em seu estudo intitulado *Evaluation of Soil Quality and Biodiversity in Italy: The Biological Quality of Soil Index (QBS) Approach*, ele sugere a criação de um índice com o seguinte conceito, quanto maior for a qualidade do solo, maior será o número de grupos de microartrópodes bem adaptados a ele.

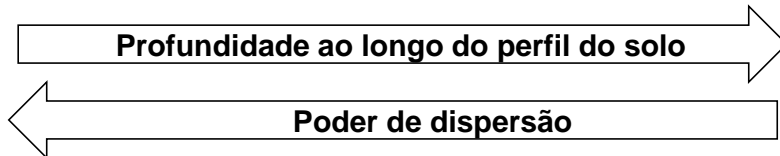
Para aplicar este índice, é necessário separar os microartrópodes do solo, de acordo com sua forma biológica; por dois principais motivos: o primeiro seria a avaliação do nível de adaptação desses organismos a vida no solo e o segundo, a superação das dificuldades das análises taxonômicas (PARISI et al., 2005).

A avaliação do nível de adaptação ocorre por meio da morfotipagem, que de maneira geral, é a observação de algumas características morfológicas, que revelam a adaptação de determinado organismo. Entre estas características, pode-se citar a redução ou perda da pigmentação e dos ocelos; forma do corpo simplificada, com redução de alguns apêndices (pelos, antenas e pernas); redução ou perda das adaptações para voar, pular ou correr e redução da capacidade de retenção de água (PARISI et al., 2005).

Para cada grupo da fauna, foi proposto um valor ecomorfológico (EMI), proporcional ao seu nível de adaptação. Porém para os colêmbolos, devido ao grupo possuir espécies com diferentes níveis de adaptação (Figura 3), foi necessário atribuir valores as diferentes

características, resultando em uma gama de EMIs. De forma sucinta, há a separação dos colêmbolos em três diferentes níveis de adaptação ao solo, são eles, edáficos, que mantem contato direto com o solo por toda a vida; semi-edáficos, os intermediários e epígeos, que vivem na superfície do solo, mais próximo a serapilheira (PARISI et al., 2005).

Figura 3 - Diferenças entre as características morfológicas de colêmbolos, de acordo com o nível de adaptação ao solo.



Fonte: Produção da própria autora, 2015.

Por meio da morfotipagem e da atribuição final de um valor QBS, é possível diferenciar os sistemas de uso e manejo do solo com base na diversidade estrutural de morfotipos, ou seja, baseada na relação entre os colêmbolos e a qualidade do solo naquele ambiente.

### **2.2.2 Relação dos atributos físicos e químicos com a qualidade do solo**

Muitas vezes é difícil separar claramente as funções do solo em processos químicos, físicos e biológicos, principalmente pela natureza dinâmica e interativa do solo. As relações entre esses processos

funcionam quase que simultaneamente. Nesse sentido, as propriedades químicas, por exemplo, influenciam os processos microbiológicos, que junto com os processos físicos e químicos, acabam por determinar propriedades como a capacidade de retenção da água, o fornecimento e o ciclo de nutrientes, entre outras (SCHOENHOLTZ et al., 2000).

Dessa forma, o conhecimento dos atributos químicos é uma ferramenta importante na compreensão da dinâmica da decomposição da matéria orgânica e liberação dos nutrientes essenciais para as plantas. Para tal, usam-se variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo, acidez, conteúdo de nutrientes e determinadas relações como a saturação de bases e de alumínio como indicadores.

Já os atributos físicos do solo também são extremamente importantes, principalmente visando às atividades agrícolas, por estarem envolvidos no suporte ao crescimento radicular; armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (ARSHAD et al., 1996; CARDOSO et al., 2013). Como indicadores físicos, têm-se comumente utilizado a textura, a densidade do solo, resistência do solo a penetração, porosidade total e a sua distribuição em questão do tamanho dos poros, capacidade de retenção de água e estrutura do solo.

Todavia, são praticamente inexistentes estudos com essa metodologia; que avaliam a diversidade morfológica de colêmbolos e sua relação com os atributos físicos e químicos do solo coletados nos mesmo pontos com métodos padronizados e utilização de réplicas verdadeiras dos sistemas de uso e manejo do solo no Brasil. A maioria dos estudos coletam amostras para biologia de uma forma e os atributos físicos e químicos do solo em outras épocas e

equidistantes entre os pontos de amostragem da fauna edáfica. Dificultando assim, as comparações e robustez nas possíveis correlações significativas para as discussões e explicações científicas e, com isso, a ciência do solo perde muito em termos de inovação do conhecimento sobre a qualidade do solo.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

O presente estudo faz parte do projeto SISBIOTA (Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade) para avaliação da biodiversidade edáfica no estado de Santa Catarina. Outras informações sobre esse projeto temático podem ser obtidas no site [www.biotasc.com](http://www.biotasc.com). A região amostrada compreendeu o Planalto Catarinense, envolvendo os municípios de Campo Belo do Sul, Lages e Otacílio Costa (Figura 4).

Figura 4 - Localização das áreas de estudo na Região do Planalto Catarinense, nos municípios de Campo Belo do Sul, Lages e Otacílio Costa.



Fonte: Produção da autora, 2015.

Os três municípios foram selecionados de acordo com suas características geográficas, tipo de solo, sistemas de uso do solo (SUS) e histórico de manejo. Cada município foi considerado como uma réplica verdadeira dos SUS estudados. Em cada município, foram garantidos cinco SUS, sendo: Floresta Nativa (F); Reflorestamento de Eucalipto (Reu); Pastagem Perene (P); Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD), com o intuito de se estabelecer um gradiente de intensificação de uso do solo. O histórico de cada sistema de uso nos municípios selecionados é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Histórico e caracterização dos sistemas de uso do solo: Floresta nativa (F), reflorestamento de eucalipto (Reu), pastagem (P), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), em cada município na região do Planalto Catarinense: Santa Catarina. (Continua)

| Município | SUS | Coordenada geográfica    | Altitude (m) | Descrição da área de estudo  |
|-----------|-----|--------------------------|--------------|--|
| Lages     | F   | S27 47.963<br>W50 35.743 | 895          | Fragmento de Floresta Atlântica, Floresta Ombrófila Mista (FOM). Com entrada de animais na área.   |
|           | Reu | S27 47.752<br>W50 36.069 | 852          | Plantio de eucalipto ( <i>Eucalyptus</i> sp.). Anteriormente era utilizado como área de pastagem. Com entrada de animais na área   |
|           | P   | S27 47.873<br>W50 36.000 | 858          | Pastagem nativa. Pisoteio de animais de produção zootécnica.   |
| Lages     | ILP | S27 47.544<br>W50 35.802 | 873          | Manejo de plantio direto (PD). No verão plantio de soja ( <i>Glycine max</i> L.) e inverno de avevém ( <i>Lolium</i> sp.) e aveia ( <i>Avena</i> sp.). Realizada calagem (2009) e utiliza-se agroquímicos. |
|           | PD  | S27 47.123<br>W50 35.972 | 883          | No verão plantio de soja e inverno de avevém e aveia. Realizada calagem e utiliza-se agroquímicos.   |

Tabela 1 - Histórico e caracterização dos sistemas de uso do solo. Floresta nativa (F), reflorestamento de eucalipto (Reu), pastagem (P), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), em cada município na região do Planalto Catarinense. Santa Catarina. (Continuação)

| Município         | SUS | Coordenada geográfica    | Altitude (m) | Descrição da área de estudo  |
|-------------------|-----|--------------------------|--------------|--|
| Campo Belo do Sul | F   | S27 52.943<br>W50 39.338 | 1016         | Fragmento de Floresta Atlântica (FOM). Com entrada de animais e pessoas na área.   |
|                   | Reu | S27 53.363<br>W50 39.056 | 989          | Plantio de eucalipto, anteriormente era Campo Nativo. Com entrada de animais na área.  |
|                   | P   | S27 52.130<br>W50 39.175 | 1004         | Pastagem nativa que sofreu queimada. Pisoteio de 0,4 animais por ha  |
| Campo Belo do Sul | ILP | S27 52.131<br>W50 39.980 | 947          | Manejo de plantio direto. No verão plantio de soja, inverno com pastagem em 2010 e trigo ( <i>Triticum</i> sp.) em 2011, lotação de 2 animais por ha. Realizada calagem em 2010 e utilizasse agroquímicos. |
|                   | PD  | S27 52.365<br>W50 40.366 | 923          | No verão plantio de soja, no inverno com trigo em 2010 e pousio em 2011. Realizada calagem em 2006 e utiliza-se agroquímicos (herbicidas, inseticidas e fungicidas).                                       |

Tabela 1 - Histórico e caracterização dos sistemas de uso do solo. Floresta nativa (F), reflorestamento de eucalipto (Reu), pastagem (P), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), em cada município na região do Planalto Catarinense. Santa Catarina. (Conclusão)

| <b>Município</b>      | <b>SUS</b> | <b>Coordenada geográfica</b> | <b>Altitude (m)</b> | <b>Descrição da área de estudo</b>  |
|-----------------------|------------|------------------------------|---------------------|---|
|                       | F          | S27 35.674<br>W49 50.927     | 919                 | Fragmento de Floresta Atlântica (FOM). Com entrada de animais na área.  |
|                       | Reu        | S27 33.446<br>W49 56.879     | 855                 | Plantio de eucalipto com 6 anos de idade. Anteriormente com plantio de pinus.   |
| <b>Otaçílio Costa</b> | P          | S27 37.151<br>W49 51.461     | 900                 | Pastagem nativa que sofreu queimada. Pisoteio de animais de produção zootécnica.  |
|                       | ILP        | S27 37.110<br>W49 51.418     | 902                 | Manejo de plantio direto. No verão plantio de soja e no inverno aveia e azevém. Realizada calagem e utiliza-se agroquímicos.                      |
|                       | PD         | S27 29.063<br>W49 54.215     | 879                 | No verão plantio de soja 2011 e milho ( <i>Zea mays</i> ) em 2012, no inverno a área fica em pousio. Realizada calagem e utiliza-se agroquímicos. |

Fonte: BRÖRING, J. M., 2013.

A região do Planalto Catarinense se caracteriza por possuir um clima temperado (Köppen, Cfb), com chuvas uniformemente distribuídas. A precipitação varia entre 1.100 a 2000 mm, sem estação seca e com temperatura média do mês mais quente não atingindo 22 °C, com um verão fresco. É uma região com geadas severas e frequentes, ocorrendo no mínimo vinte e cinco vezes por ano (EMBRAPA, 2015).

Devido à complexidade de sua formação geológica e a ação climática, há uma diversidade de tipos de solos presentes na região; porém, a maioria deles caracteriza-se por ter profundidade média, com baixa a média fertilidade natural (MDA, 2015).

Os atributos químicos e físicos de cada SUS são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm, em sistemas de Floresta nativa (F), Reflorestamento de eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração lavoura-pecuária (ILP) e Plantio direto (PD) no Planalto Catarinense. (Continua)

| Atributos químicos |                                 |      |       |                     |        |                              |        |                                       |                 |            |
|--------------------|---------------------------------|------|-------|---------------------|--------|------------------------------|--------|---------------------------------------|-----------------|------------|
| SUS                | COT                             | N    | C/N   | pH H <sub>2</sub> O | pH SMP | P                            | K      | Al                                    | MO              | Sat. de Al |
|                    | ---- (g kg <sup>-1</sup> ) ---- |      |       |                     |        | -- (mg dm <sup>-3</sup> ) -- |        | (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | ----- (%) ----- |            |
| <b>F</b>           | 63,11                           | 4,79 | 13,26 | 4,35                | 4,85   | 4,28                         | 114,33 | 4,29                                  | 6,12            | 45,92      |
| <b>Reu</b>         | 37,28                           | 2,33 | 16,26 | 4,71                | 5,19   | 3,99                         | 87,92  | 2,52                                  | 4,29            | 38,22      |
| <b>P</b>           | 44,70                           | 2,92 | 15,28 | 4,77                | 4,97   | 3,49                         | 191,16 | 2,93                                  | 5,21            | 40,45      |
| <b>ILP</b>         | 38,21                           | 2,61 | 14,61 | 5,35                | 5,79   | 8,07                         | 128,30 | 0,30                                  | 4,63            | 2,87       |
| <b>PD</b>          | 37,79                           | 2,50 | 15,01 | 5,63                | 5,97   | 5,99                         | 127,94 | 0,06                                  | 4,48            | 0,72       |

COT: carbono orgânico total; MO: matéria orgânica.

Médias (n = 30) das repetições verdadeiras.

Fonte: Produção da autora, 2015.

Tabela 2 - Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm, em sistemas de Floresta nativa (F), Reflorestamento de eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração lavoura-pecuária (ILP) e Plantio direto (PD) no Planalto Catarinense. (Conclusão)

| Atributos químicos |   |      |       |       |        |       |       |       |      |       |                  |       |
|--------------------|---|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|------------------|-------|
| SUS                | Ca  | Mg   | H+Al  | CTC   | pH 7,0 | Bases | K     | Ca    | Mg   | Ca/Mg | Ca/K             | Mg/K  |
|                    | ----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) ----- |      |       |       |        |       |       |       |      |       | CTC <sup>1</sup> | ----- |
| <b>F</b>           | 4,26  | 1,47 | 21,39 | 27,43 | 30,29  | 1,26  | 21,45 | 7,57  | 2,60 | 13,27 | 5,07             |       |
| <b>Reu</b>         | 2,29  | 2,06 | 15,77 | 20,34 | 34,28  | 1,27  | 17,36 | 15,65 | 1,19 | 12,32 | 11,02            |       |
| <b>P</b>           | 2,15  | 1,43 | 17,92 | 21,99 | 25,88  | 2,57  | 14,28 | 9,03  | 1,47 | 5,75  | 3,48             |       |
| <b>ILP</b>         | 7,55  | 3,77 | 5,82  | 17,47 | 66,97  | 2,00  | 44,02 | 20,94 | 2,44 | 26,92 | 14,88            |       |
| <b>PD</b>          | 7,58  | 3,91 | 4,72  | 16,53 | 71,71  | 2,16  | 45,92 | 23,63 | 1,97 | 32,20 | 16,81            |       |

<sup>1</sup> % Saturação na CTC a pH 7,0. Médias (n = 30) das repetições verdadeiras.

Fonte: Produção da autora, 2015.



Tabela 3 - Atributos físicos do solo na camada de 0-10 cm, em sistemas de Floresta nativa (F), Reflorestamento de eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração lavoura-pecuária (ILP) e Plantio direto (PD) no Planalto Catarinense.

| Atributos físicos |                      |       |                                   |       |       |      |       |      |       |       |        |
|-------------------|----------------------|-------|-----------------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|--------|
| SUS               | UM                   | DS    | PT                                | Macro | Micro | BP   | RP    | DMP  | Areia | Silte | Argila |
| (%)               | (g cm <sup>3</sup> ) | ----- | (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | ----- | (MPa) | (mm) | ----- | (%)  | ----- | (%)   | -----  |
| F                 | 54,75                | 0,89  | 0,65                              | 0,08  | 0,56  | 0,03 | 1,09  | 5,53 | 38,80 | 21,36 | 39,84  |
| Reu               | 37,98                | 0,99  | 0,65                              | 0,14  | 0,51  | 0,02 | 1,53  | 5,59 | 34,03 | 17,62 | 48,35  |
| P                 | 44,93                | 0,95  | 0,66                              | 0,17  | 0,49  | 0,02 | 1,84  | 5,76 | 32,88 | 20,67 | 46,46  |
| ILP               | 35,72                | 1,01  | 0,65                              | 0,19  | 0,46  | 0,01 | 1,94  | 5,61 | 24,11 | 24,87 | 51,02  |
| PD                | 36,78                | 1,01  | 0,65                              | 0,20  | 0,44  | 0,01 | 1,85  | 5,68 | 18,93 | 34,22 | 46,86  |

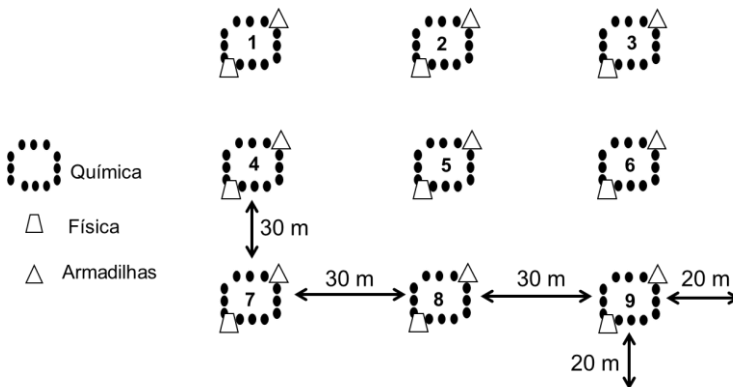
UM: umidade; DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; BP: bioporos, RP: resistência a penetração, DMP: diâmetro médio ponderado. Médias (n = 30) das repetições verdadeiras.

Fonte: PAULLINO, P. S., 2013.

### 3.2 AMOSTRAGEM DOS COLÊMBOLOS E OUTROS ATRIBUTOS EDÁFICOS

As amostragens foram realizadas em duas épocas, inverno (julho de 2011) e verão (janeiro de 2012). Em cada município e em cada SUS foi estabelecida uma grade amostral de 3x3 pontos, equidistantes entre si 30 m, considerando 20 m de bordadura (BARTZ et al., 2014a) (Figura 5). Para a realização deste trabalho, foram analisados os primeiros cinco pontos, pois o número de colêmbolos capturados foi muito superior ao estimado no projeto e, caso fosse mantido os nove pontos não daria tempo para morfotipar todas as amostras, o que inviabilizaria a presente dissertação. Por outro, lado o presente estudo tem mais três réplicas verdadeiras o que nos dá um “n” de 15 amostras por cada SUS.

Figura 5 - Detalhe do grid de amostragem para as coletas das amostras químicas, físicas e armadilhas (*Pitfall traps*).



Fonte: Produção da autora, 2015.

Na coleta da mesofauna foi utilizado o método de armadilhas de solo (*Pitfall traps*). Este consistiu na

instalação de recipientes com 8 cm de diâmetro (frascos de vidro “tipo de conserva”), contendo aproximadamente 200 mL de solução de detergente com água (proporção de 1:3), de forma que os vidros enterrados, apresentassem a extremidade vazada (boca) no nível da superfície do solo.

Esses recipientes foram mantidos a campo por 72 h e após retirados, fechados e levados ao laboratório, onde foi realizada a limpeza e classificação dos organismos edáficos. A fauna edáfica foi separada e classificada por sua classe e/ou ordem e armazenada em álcool absoluto (99,5%).

Para avaliação dos atributos químicos do solo foram coletadas doze subamostras ao redor de cada um dos pontos do grid de amostragem (Figura 5) na camada de 0-10 cm, para formar uma amostra composta representativa, utilizada para análises químicas. Esta amostra foi utilizada para avaliação dos atributos químicos, conforme metodologia de Tedesco et al. (1995), a saber: pH em água, índice SMP, P, K, MO,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , H+Al,  $CTC_{pH7}$  e determinação da granulometria do solo.

Para as análises físicas do solo, foram coletadas amostras com estruturas preservadas em cilindros de aço, com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, e com pá, amostras de solo com torrões que foram acondicionados em sacos plásticos. Os seguintes atributos foram analisados: estabilidade de agregados, de acordo com Kemper & Chepil (1965); granulometria do solo (mesma amostra da análise química) determinada pelo método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986); densidade do solo (Ds); volume de bioporos (Bio); microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) e porosidade total (PT), determinados conforme métodos descritos por Claessen et al. (1997). A resistência à penetração (RP), obtida

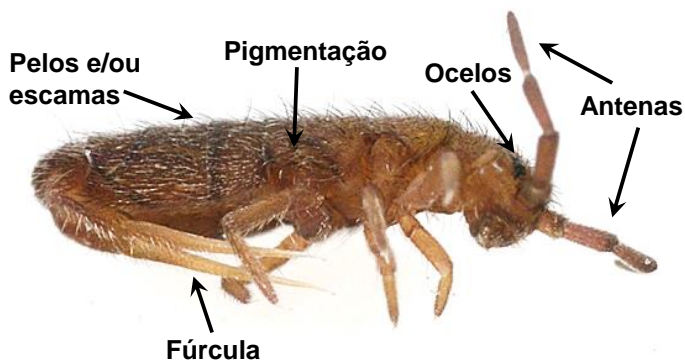
utilizando um penetrômetro de bancada Marconi®, modelo MA-933 em amostras indeformadas contidas em anéis volumétricos, com umidade estável na tensão de 6 kPa.

### 3.3 CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA E CÁLCULO DO ÍNDICE QBS

As amostras com os organismos identificados como pertencentes a classe Collembola, tiveram seu número de indivíduos contados e distribuídos em diferentes morfotipos, com o auxílio de um microscópio estereoscópico com aumento de até 40 vezes.

O valor EMI (*Eco-morphological index*) (PARISI 2001; PARISI et al., 2005; VANDEWALLE et al., 2010), tem o objetivo de separar os organismos de acordo com seu grau de adaptação ao solo, através da observação de suas características morfológicas. Para tal, a avaliação das formas biológicas (morfotipos), consistiu na observação de cinco características de cada colêmbolo: presença ou ausência de ocelos; pelos e/ou escamas; pigmentação; comprimento de antenas e tamanho de fúrcula (CARVALHO, 2012) (Figura 6).

Figura 6 - Características morfológicas observadas para a distinção de morfotipos e valoração do *Eco-morphological index*.



Fonte: Base de Dados da Biodiversidade dos Açores. Disponível em: <<http://www.azoresbioportal.angra.uac.pt/listagens.php?lang=pt&sstr=8&id=A01083>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

A cada característica foi atribuído um valor parcial de EMI (Tabela 4). Tal fator se deve a classe Collembola possuir muitas espécies, com diferentes níveis de adaptação ao solo.

Tabela 4 - Características e valores usados no cálculo do valor EMI para a distinção de diferentes morfotipos.

| <b>CARACTER</b>            |                                       | <b>EMI</b> |
|----------------------------|---------------------------------------|------------|
| <b>Ocelos</b>              | Presentes                             | 0          |
|                            | Ausentes                              | 4          |
| <b>Tamanho das Antenas</b> | Comp. da antena > comp. do corpo      | 0          |
|                            | Comp. da antena > 0,5x comp. do corpo | 2          |
|                            | Comp. da antena < 0,5x comp. do corpo | 4          |
| <b>Fúrcula</b>             | Presente                              | 0          |
|                            | Presente, mas reduzida                | 2          |
|                            | Ausente                               | 4          |
| <b>Pelos e/ou escamas</b>  | Presentes                             | 0          |
|                            | Ausentes                              | 4          |
| <b>Pigmentação</b>         | Presente com padrões                  | 0          |
|                            | Presente sem padrões                  | 2          |
|                            | Ausente                               | 4          |

Fonte: Adaptado de Parisi et al., 2005.

A cada combinação diferente de características, foi atribuído um morfotipo, com um valor final de EMI correspondente a soma dos valores das cinco características. O cálculo final de EMI para cada morfotipo pode variar entre 0 e 20 (Anexo A).

Com o valor EMI total para cada morfotipo, separou-se os mesmos em três grupos: edáficos (de vida no solo, menor poder de dispersão e uma maior adaptação ao solo), que possui morfotipos com valores variando de 14 a 20, semi-edáficos (intermediários), com valores de 8 a 12 e epígeos (habitantes da serapilheira,

menor adaptação ao solo e maior poder de dispersão) com valores de 0 a 8.

O índice QBS (*Qualità Biologica del Suol*), proposto por Parisi (2001), é baseado no conceito de que, quanto maior a qualidade do solo, maior será o número de grupos de microartrópodes bem adaptados a ele. Para sua determinação, Parisi gerou valores de EMI, para diferentes grupos de organismos edáficos. No caso de organismos como os colêmbolos, que pudessem ter mais de um valor de EMI, o valor do índice é determinado apenas pelo EMI mais alto, ou seja, os organismos mais adaptados é que determinam o valor final do índice para o grupo.

Na presente dissertação utilizou-se uma adaptação para o cálculo do índice QBS, já que trata especificamente de colêmbolo, onde foi utilizado o valor EMI do morfotipo, multiplicado pelo número total de organismos desse mesmo morfotipo presente em cada SUS. Desta forma, obtém-se uma ideia mais abrangente em termos de escala de adaptação ao solo, já que são comparados diferentes SUS, em um gradiente de intensificação agrícola.

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Considerando cada morfotipo como sendo estimativa de uma espécie de colêmbolo, foram calculados os índices de diversidade de Shannon-Wiener, equitabilidade de Pielou, riqueza de Margalef e riqueza (total de morfotipos) para cada SUS, em dois períodos do ano (inverno e verão). Esses parâmetros foram calculados de acordo com o descrito em Baretta et al. (2011).

ANOVA de efeitos principais foi utilizada para comparar a abundância (organismos armadilha<sup>-1</sup>),

riqueza e índices entre os SUS, usando programa Statistica versão 7 (STATSOFT, 2004). As análises foram realizadas ao nível SUS, usando o valor de três municípios (cinco amostras de solo por município) como réplica verdadeira ( $n(3 \times 5) = 15$ ) em cada SUS. Médias apresentadas no texto e figuras foram calculados utilizando dados não transformadas ( $\pm$  erro padrão). As comparações de médias foram efetuadas por meio do teste de *Newman Keuls* ( $p < 0,05$ ) (KEULS, 1952).

Os mesmos dados de abundância foram ainda submetidos a uma *Detrended Correspondence Analysis* (DCA), a fim de obter o comprimento do gradiente. Porém, como este comprimento foi inferior a três (resposta linear) foram feitas Análises de Componentes Principais (ACPs), para as épocas estudadas (inverno e verão), utilizando o software estatístico CANOCO versão 4.0 (TER BRAAK; SMILAUER, 1998).

A abundância de morfotipos foi utilizada como variáveis respostas (efeito) e os atributos químicos e físicos do solo como variáveis ambientais explicativas (causa) na *Redundancy Analysis* (RDAs). Realizou-se se uma *forward selection* usando sucessivas RDAs através do teste de Monte-Carlo ( $p < 0,002$ ) para cada tipo de variável, selecionando as que melhor explicaram a variação dos dados ( $p \leq 0,05$ ), permitindo a escolha de um conjunto mínimo de variáveis físicas e químicas significativas para explicar a variação dos morfotipos em cada época de coleta. As variáveis significativas das RDAs foram posteriormente utilizadas na ACP como variáveis ambientais explicativas para mudanças em grupos ecomorfológicos de colêmbolos.

Também foi realizada uma análise multivariada de agrupamento (*Análise de Cluster*) por ligação completa (vizinho mais distante). Para essa análise, foi tomada a “Distância Euclidiana” entre a abundância dos morfotipos



de colêmbolos (organismos armadilha<sup>-1</sup>) como medida de similaridade para os três municípios, por meio do programa Statistica 7 (STATSOFT, 2004).

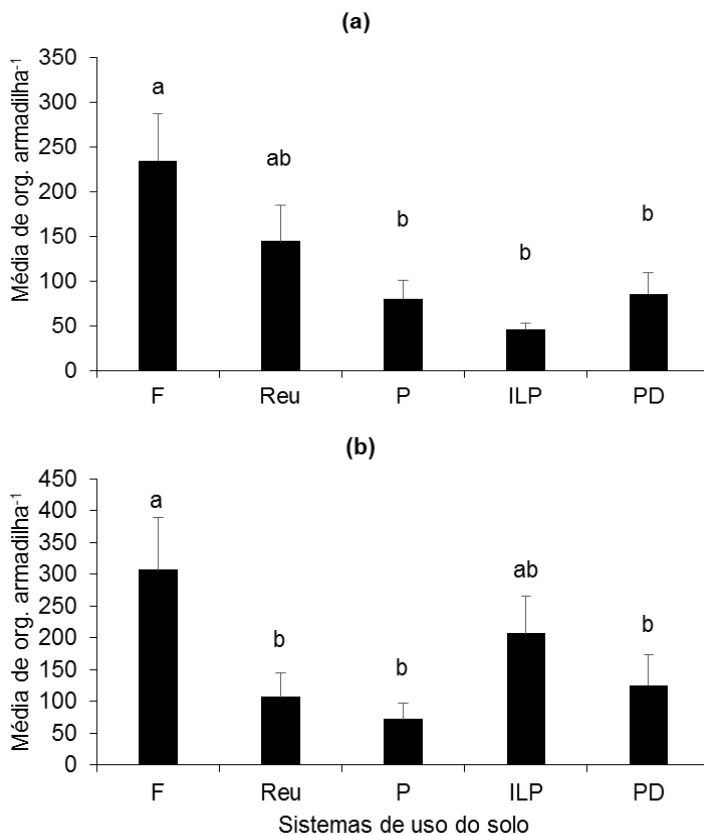
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ABUNDÂNCIA E RIQUEZA DE MORFOTIPOS

Considerando os cinco SUS e as duas épocas de amostragem, foram encontrados e morfotipados 21.151 indivíduos, distribuídos em 45 morfotipos, entre os quais, três se destacaram por sua representatividade, sendo eles: E8, S4 e E3, com 7.997, 6.396 e 2.951 indivíduos, respectivamente. Entre os menos representativos, com menos de 10 indivíduos, estão 26 morfotipos sendo: E2, E6, E7, E12, E15, E18, E19, E23, E25, S2, S3, S8, S14, S18, S29, S36, S42, S48, S49, S51, S54, S58, EP5, EP13, EP17 e EP21. Onde “E” é uma abreviatura para indicar colêmbolos edáficos, “S” semi-edáficos e “EP” epígeos.

Os valores de abundância média de colêmbolos encontrados na região do Planalto Sul Catarinense, variaram tanto entre os SUS quanto entre os períodos do ano. Em ambos os períodos, o sistema F se mostrou superior aos outros SUS quanto a abundância de colêmbolos. No inverno (Figura 7a), além do sistema F já mencionado, o Reu apresentou uma alta abundância, porém, não diferindo dos outros SUS; a mesmo ocorre para o sistema ILP, no período de verão (Figura 7b).

Figura 7 - Abundância de colêmbolos [organismo (org.) armadilha<sup>-1</sup>] em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno (a) e verão (b), na região do Planalto Sul Catarinense. (n=15).

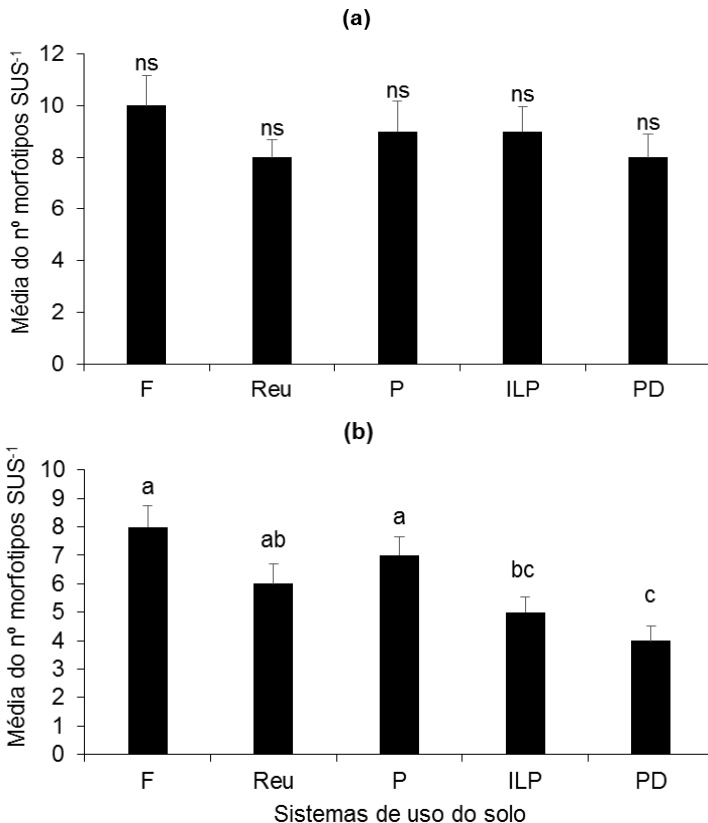


Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si.  
Fonte: Produção da autora, 2015.

Quanto à riqueza de morfotipos, no inverno (Figura 8a), não houve diferença significativa entre os SUS. Já no verão (Figura 8b), os sistemas F e P

apresentaram maiores valores de riqueza, seguidos pelo sistema Reu, que não diferiu dos demais SUS.

Figura 8 - Riqueza de morfotipos de colêmbolos [número (nº) de morfotipos] em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno (a) e verão (b), na região do Planalto Sul Catarinense. (n=15).



ns: não significativo.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si.

Fonte: Produção da autora, 2015.

Os resultados obtidos para o índice de diversidade de Shannon, equitabilidade de Pielou, e riqueza de Margalef (Tabela 5), para o inverno, não apresentaram diferenças significativas entre outros SUS. Já no verão, houve diferenciação entre os SUS, com o sistema P sendo maior para os índices de Shannon e Margalef em comparação aos demais SUS. No verão ainda os maiores valores de índice de Pielou foram encontrados nos sistemas PD, P, ILP e Reu, que não diferiram entre si, e os menores valores em F.

Tal resultado corrobora com os valores de riqueza de morfotipos (Figura 8b) encontrados para os SUS no mesmo período, importante observar que ambos os valores foram maiores para SUS que possuem reduzido ou nenhum manejo e que por consequência permitem o estabelecimento de colêmbolos de diferentes morfotipos com hábitos diferenciados no solo

Tabela 5 - Valores dos índices de Diversidade de Shannon, Equitabilidade de Pielou e Riqueza de Margalef, em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno e verão, na região do Planalto Sul Catarinense.

|                 | <b>F</b>           | <b>Reu</b>         | <b>P</b>           | <b>ILP</b>         | <b>PD</b>          |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Inverno</b>  |                    |                    |                    |                    |                    |
| <b>Shannon</b>  | 1,35 <sup>ns</sup> | 1,12 <sup>ns</sup> | 1,39 <sup>ns</sup> | 1,60 <sup>ns</sup> | 1,42 <sup>ns</sup> |
| <b>Pielou</b>   | 0,47 <sup>ns</sup> | 0,48 <sup>ns</sup> | 0,62 <sup>ns</sup> | 0,63 <sup>ns</sup> | 0,62 <sup>ns</sup> |
| <b>Margalef</b> | 1,74 <sup>ns</sup> | 1,54 <sup>ns</sup> | 1,96 <sup>ns</sup> | 2,10 <sup>ns</sup> | 1,85 <sup>ns</sup> |
| <b>Verão</b>    |                    |                    |                    |                    |                    |
| <b>Shannon</b>  | 0,97b              | 0,91b              | 1,34a              | 0,87b              | 0,71b              |
| <b>Pielou</b>   | 0,40b              | 0,48ab             | 0,57a              | 0,52ab             | 0,64a              |
| <b>Margalef</b> | 1,22b              | 1,23b              | 1,70a              | 0,97bc             | 0,67c              |

ns: não significativo.

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si.

Fonte: Produção da autora, 2015.

## 4.2 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO DE COMUNIDADES

A Análise de Componentes Principais (ACP) tanto para o inverno (Figura 9) quanto para o verão (Figura 10), demonstraram distinção entre os usos do solo, através da relação entre o componente principal 1 (CP1) e componente principal 2 (CP2).

Para o inverno (Figura 9), a variabilidade dos dados foi explicada em 21,0% pelo CP1 e 16,9% pelo CP2, totalizando 37,9% da variabilidade dos dados de abundância de morfotipos de colêmbolos. O sistema F, comparado aos demais SUS, caracterizou-se por apresentar uma maior abundância de morfotipos, distribuídos entre os diferentes grupos ecomorfológicos. Os sistemas P e REU, depois de F, foram os que apresentaram uma maior variedade de colêmbolos em termos de níveis de adaptação. Já os sistemas agrícolas ILP e PD, apresentaram forte relação com morfotipos em sua maioria semi-edáficos.

A partição da variabilidade dos dados pela RDA, para o inverno, demonstrou que, se não considerarmos as variáveis ambientais, o eixo 1 explica apenas 12,8% e o eixo 2 7,6% da variação total. As variáveis ambientais explicativas explicam 26,1% da variação total, sendo que destes 48,9% são explicados pelo eixo 1.

O sistema F apresentou forte correlação com os atributos químicos Ca/Mg e carbono orgânico total e com os atributos físicos bioporos, microporos e umidade, parâmetros estes que favoreceram a maior diversidade de morfotipos de colêmbolos neste sistema. Os sistemas ILP e PD se correlacionaram com o atributo físico macroporos, enquanto os sistemas P e Reu com o microporos.

O carbono orgânico total do solo (COT) é encontrado na biomassa microbiana, nos resíduos

vegetais e animais em diferentes estágios de decomposição e no húmus estabilizado, especialmente em florestas nativas (BARETTA et al., 2008). Essa fração de carbono orgânico do solo é fonte de energia para os microrganismos e sua disponibilidade depende da qualidade do material vegetal e da rapidez que esse é decomposto. O clima é fator relevante na rapidez de decomposição. No presente estudo valores maiores de COT, foram observados durante o período de verão para os sistemas F, P e ILP (dados não apresentados) período este que alguns microrganismos se encontram mais ativos (WHALEN; SAMPEDRO, 2010).

A qualidade do material vegetal a ser decomposto também influencia a rapidez com que o carbono orgânico entra no sistema solo (SILVA et al., 2009). O sistema F por apresentar uma composição florística variada, aumenta a diversificação do material vegetal (acumulado na camada serapilheira) a ser decomposto e favorece a maior diversidade de morfotipos de colêmbolos.

Além desses fatores, considera-se ainda a participação dos colêmbolos na decomposição da matéria orgânica. De acordo com Verma et al. (2014) e Yang et al. (2012), uma maior abundância desses organismos indica um aumento na concentração de carbono orgânico, por conta da sua influência na decomposição da MO; isso através do seu impacto na atividade dos microrganismos do solo e do consumo de restos vegetais.

O acúmulo de serapilheira no sistema F, influencia de maneira direta a umidade do solo, que passa a ter valores mais estáveis e adequados a sobrevivência dos organismos edáficos. Para colêmbolos edáficos, essa premissa é ainda mais verdadeira, pois possuem um baixo poder de dispersão, estando em contato direto

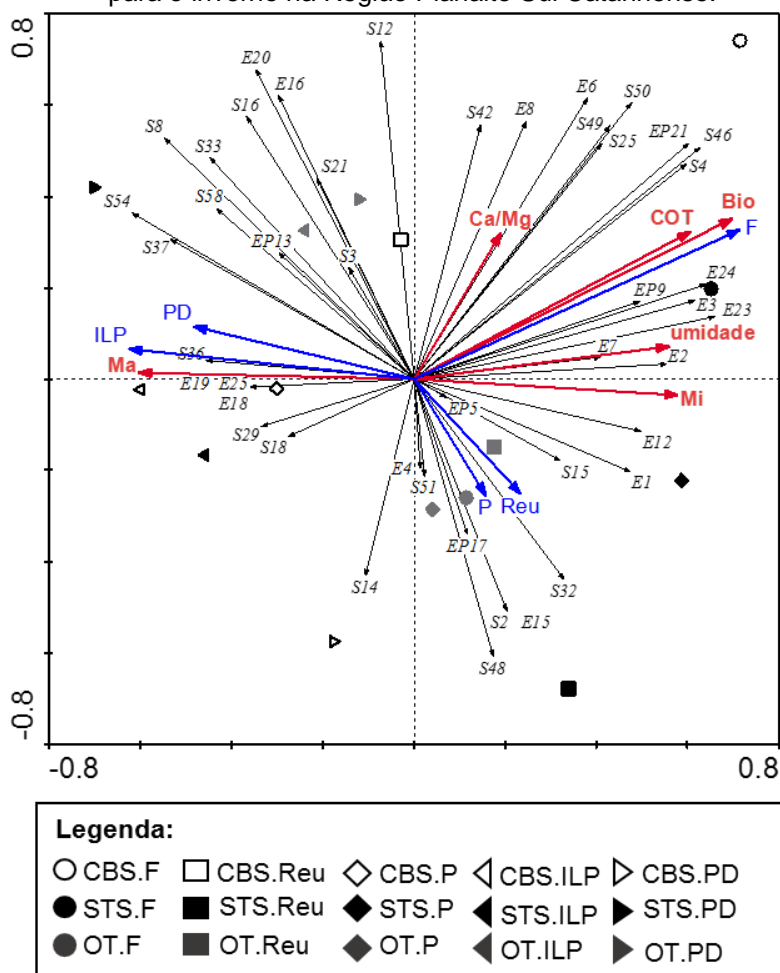
com o solo durante todo o seu ciclo de vida (MOÇO et al., 2010).

Sistemas de uso e manejo do solo, que preconizam principalmente a cobertura vegetal e pouco ou nenhum revolvimento, tendem a manter a estrutura do solo preservada, especialmente em termos de biodiversidade de colêmbolos. Todos os sistemas estudados apresentaram relação com alguma característica estrutural, com destaque para o sistema F que apresentou alta relação com bioporos e os sistemas conservacionistas PD e ILP com macroporos. A presença de macroporosidade e bioporosidade são bons indicativos da qualidade do solo nesses sistemas, pois esse tipo de estrutura tem seu tamanho reduzido ou desaparece completamente, respectivamente, durante o processo de compactação (LIMA et al., 2005).

Importante ressaltar que a presença de bioporos indica alta atividade biológica no sistema, principalmente de organismos da mesofauna e macrofauna (BARETTA et al., 2011; BARTZ et al., 2014a). A abundância de colêmbolos, sobretudo a dos grupos ecomorfológicos edáficos e semi-edáficos, está intimamente ligada a estrutura do solo. Larsen et al. (2004) em seu trabalho, observaram um declínio na abundância de colêmbolos como resposta a diminuição no volume de poros grosseiros. Isto se deve ao fato dos colêmbolos utilizarem os poros como toca e para sua locomoção dentro do perfil de solo e, algumas características morfológicas, como largura e altura, limitam o espaço poroso habitável (HOPKIN, 1997).



Figura 9 - Análise de Componentes Principais (ACP), considerando os sistemas de uso do solo (→), os morfotipo (→) e as variáveis ambientais explicativas (→) selecionadas para o inverno na Região Planalto Sul Catarinense.



CBS: Campo Belo do Sul; STS: Lages; OT: Otacílio Costa. F: floresta nativa; Reu: reflorestamento de Eucalipto; P: pastagem perene; ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto. E: edáficos; S: semi-edáficos; EP: epígeos. Bio: bioporos; Ma: macroporos; Mi: microporos; Ca/Mg: relação cálcio/magnésio; COT: carbono orgânico total.

Fonte: Produção da autora, 2015.

A ACP realizada para o verão (Figura 10) demonstrou que a variabilidade dos dados foi explicada em 22,1% pela CP1 e 17,7% pela CP2, totalizando 39,8% da variabilidade total dos dados. O comportamento dos resultados no verão para o sistema F foi semelhante ao encontrado para o inverno, no que se refere a abundância de morfotipos e distribuição entre os níveis de adaptação. O sistema PD também obteve resultados interessantes, quanto a variedade de níveis de adaptação ao solo, sendo que entre os sistemas, foi o que apresentou uma maior abundância de colêmbolos epígeos. Já o sistema ILP, apresentou uma maior relação com morfotipos de colêmbolos semi-edáficos, repetindo o comportamento já apresentado para o inverno, e os sistemas P e Reu também mantiveram o mesmo comportamento, apresentando diversidade entre os níveis de adaptação.

Para coleta de verão, se não considerarmos as variáveis ambientais, os eixos 1 e 2 explicam 15,4% e 5,7%, da variação total, respectivamente. As variáveis ambientais explicam 28,4% da variação total, sendo que 54,3% deste valor, são explicados pelo eixo 1.

O sistema F apresentou correlação com os atributos carbono orgânico total e microporos, já os sistemas ILP e PD se correlacionaram com os atributos pH, bioporos e densidade do solo. Por outro lado, os sistemas P e Reu não apresentaram relações com nenhum atributo físico ou químico do solo.

Entre as diferenças encontradas destacam-se principalmente as mudanças nas correlações dos sistemas PD e ILP entre os períodos de inverno e verão. No verão, apesar de apresentarem um valor maior de densidade quando comparados aos outros sistemas, exibiram uma alta correlação com os bioporos; o que leva a acreditar que a densidade não foi fator limitante

para o crescimento de raízes e estabelecimento da diversidade morfológica de colêmbolos.

De maneira geral, a falta de revolvimento do solo tende a causar uma maior densidade nos sistemas PD e ILP, seja pelo trânsito de máquinas ou pisoteio animal, principalmente nos primeiros centímetros do perfil de solo (SILVEIRA et al., 2008; CONTE et al., 2011), porém, sem grande magnitude. Acredita-se ainda, que com o passar dos anos de estabelecimento do sistema, o material vegetal mantido permanentemente sobre o solo, acaba propiciando um alto teor de matéria orgânica, influenciando a atividade biológica e a agregação do solo, diminuindo assim a densidade (STONE; SILVEIRA, 2001).

Conforme já comentado, os colêmbolos possuem uma grande relação com a estrutura do solo e são sensíveis a diminuição dos macroporos, ou seja, um aumento na densidade e conseqüente compactação, não favorece a presença de organismos edáficos e semi-edáficos. Entretanto, a densidade apresentada nesses sistemas não influenciou negativamente a abundância de colêmbolos; isto fica claro na Figura 7b, onde o sistema ILP apresentou um valor de abundância que não diferiu significativamente do sistema F.

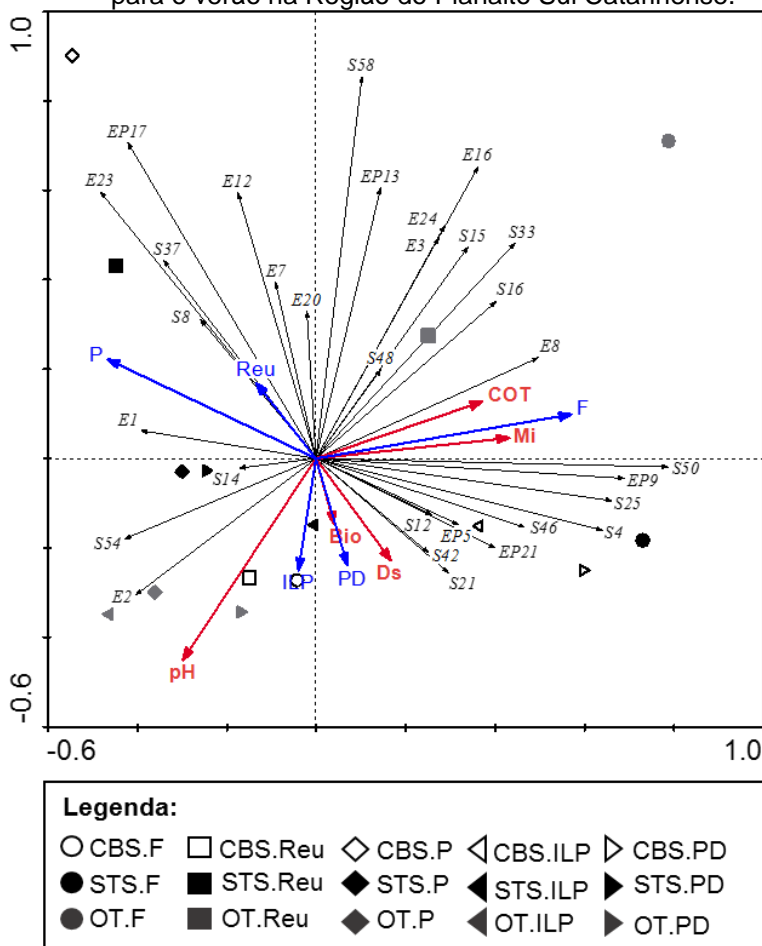
Além de valores mais elevados dos atributos físicos bioporos e densidade, os sistemas conservacionistas PD e ILP apresentaram ainda altos valores do atributo químico pH. Isto resulta do manejo necessário às culturas das áreas, sendo a correção da acidez do solo um fator crucial e determinante para o estabelecimento da maioria das culturas.

O corretivo utilizado para corrigir a acidez em sistemas de PD e ILP consolidados foi o calcário, com ausência de revolvimento após a implantação desses sistemas, portanto, a dinâmica da correção é um pouco

diferente, não havendo incorporação desse material no solo (CQFS RS/SC, 2004). A aplicação de calcário em cobertura acaba restringindo o aumento do pH as primeiras camadas do solo. No presente estudo, as amostras para avaliação dos atributos químicos foram realizadas na profundidade de 0-10 cm, e é provável que este seja o motivo da correlação entre PD e ILP a altos valores de pH.

Por serem organismos que vivem nas camadas mais superficiais do solo, os colêmbolos acabam se favorecendo dessa elevação do pH. Ponge et al. (2000) sugerem a existência de dois grupos de colêmbolos quanto a sua sensibilidade a acidez do solo, os tolerantes a acidez, que sobrevivem normalmente com pH inferior a 5 e os intolerantes, que necessitam de pH acima de 5. Porém, para uma melhor avaliação da relação dos colêmbolos deste estudo com o pH, seria necessário o conhecimento das espécies presentes, para uma comparação com outros trabalhos com a mesma temática.

Figura 10 - Análise de Componentes Principais (ACP), considerando os sistemas de uso do solo (→), os morfotipo (→) e as variáveis ambientais explicativas (→) selecionadas para o verão na Região do Planalto Sul Catarinense.



E: edáficos; S: semi-edáficos; EP: epígeos. CBS: Campo Belo do Sul; STS: Lages; OT: Otacilio Costa. F: floresta nativa; Reu: reflorestamento de Eucalipto; P: pastagem perene; ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto. Bio: bioporos; Mi: microporos; Ds: densidade; COT: carbono orgânico total; pH: potencial hidrogeniônico.

Fonte: Produção da autora, 2015.

### 4.3 ÍNDICE DE QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO (QBS)

Hoje já se sabe da importância da fauna edáfica como bioindicadora da qualidade do solo, principalmente por sua sensibilidade as alterações no ambiente (BARETTA et al., 2011; VASCONCELLOS, et al., 2013; BARTZ et al., 2014b). Na busca por índices que representem o mais fielmente possível à qualidade do solo, surgiram análises com base nas características morfológicas dos microartrópodes. A análise apresentada neste estudo, conforme já citado no tópico 3.3, é uma adaptação do Índice QBS proposto por Parisi (2001), englobando apenas os colêmbolos.

Os resultados do índice QBS para o inverno (Tabela 6) basicamente seguiram um gradiente de intensificação de uso do solo. O maior valor correspondeu ao sistema F, que entre todos os SUS estudados, é o que mantém um maior equilíbrio ecológico (BARETTA et al., 2008; RIEFF et al., 2014), principalmente pela inexistência de qualquer tipo de manejo. Seguindo o gradiente de intensificação de uso do solo, o sistema Reu obteve o segundo maior valor de QBS, isto indica que, ainda que o sistema seja formado por uma única espécie exótica, isto não influenciou a sobrevivência de colêmbolos, e conseqüentemente não afetou negativamente o valor do índice, corroborando com os resultados obtidos em Portugal por Sousa et al. (2003). O sistema P apresentou o terceiro maior valor, sendo um sistema que mantém cobertura vegetal permanentemente e possui poucas práticas de manejo, acumulando alta quantidade de matéria orgânica no solo e, conseqüente, aumento da atividade biológica (ALVES et al., 2008; ROSA; DALMOLIN, 2009; CUNHA NETO et

al., 2012), o que resulta em uma melhora da qualidade do solo (BARETTA et al., 2011).

Os valores do índice QBS para os sistemas ILP e PD, não seguiram o gradiente de intensificação, onde normalmente o ILP apresenta um menor uso do solo do que o PD (Tabela 6). Neste caso, o índice QBS foi maior para o PD do que para o ILP. Isso pode ter ocorrido devido algum fator no ILP, que tenha alterado a estabilidade dos colêmbolos neste sistema.

Quanto aos grupos ecomorfológicos, o edáfico representou a maior parcela do índice total em todos os SUS (Tabela 6). Todavia, nos primeiros três sistemas (F, Reu e P), o grupo edáfico representou mais de 80% do total, afirmando o que já foi dito anteriormente sobre a menor intensidade de uso desses sistemas, favorecer a presença de maior quantidade de morfotipos de colêmbolos. Nos sistemas restantes, entretanto, houve uma melhor distribuição dos valores, onde os grupos edáfico e semi-edáfico em conjunto, corresponderam a maior parte do valor total.

Tabela 6 - Valores do Índice de Qualidade do Solo (QBS) para os grupos ecomorfológicos edáficos (E), semi-edáficos (S) e epigeos (EP) em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno, na região do Planalto Sul Catarinense.

|                  | <b>F</b>       | <b>Reu</b> | <b>P</b> | <b>ILP</b> | <b>PD</b> |
|------------------|----------------|------------|----------|------------|-----------|
|                  | <b>Inverno</b> |            |          |            |           |
| <b>QBS E</b>     | 45442          | 29372      | 15538    | 6532       | 9932      |
| <b>QBS S</b>     | 7654           | 3890       | 3658     | 2940       | 7468      |
| <b>QBS EP</b>    | 146            | 32         | 124      | 52         | 76        |
| <b>QBS total</b> | 53242          | 33294      | 19320    | 9524       | 17476     |

Fonte: Produção da autora, 2015.

Entre os morfotipos utilizados parcialmente para obtenção do índice QBS, alguns foram mais representativos para o total do seu grupo ecomorfológico (Tabela 7).

Para o QBS edáfico, houveram dois morfotipos em destaque, o E3 e E8, juntos estes morfotipos responderam por mais de 65% do total para cada sistema. Nos sistemas Reu e PD, esses morfotipos conseguiram em conjunto 95,67% e 91,4%, respectivamente.

E3 e E8 são considerados os morfotipos mais edáficos entre o grupo, e como principais características morfológicas estão a ausência de ocelos, de pigmentação e fúrcula presente e/ou reduzida (Anexo A). Estas características limitam sua sobrevivência, se encontrando exclusivamente em camadas mais profundas do solo; e a dominância desses organismos indica pouca ou nenhuma alteração ao longo do perfil.

No QBS semi-edáfico, também houveram dois morfotipos responsáveis por boa parte do total apresentado, S4 e o S15, que juntos representaram mais de 60% do total de quase todos os sistemas, exceto no sistema PD. Diferente do ocorrido para os morfotipos edáficos, onde os dois apresentavam características similares; para os semi-edáficos, as características são bem diferentes. Isto ocorre por se tratar de um grupo que vive em camadas mais superficiais do solo, com um poder de dispersão relativamente maior que os edáficos, havendo maiores diferenças nas características entre o grupo, de acordo com a profundidade em que o organismo está estabelecido. O morfotipo S4 se caracteriza pela ausência de ocelos e de pigmentação, antena pequena, presença de pelos e fúrcula bem desenvolvida. Já o S15, apresenta ocelos, possui



pigmentação, antena pequena, há ausência de pelos e a fúrcula é reduzida (Anexo A).

Para o QBS epígeo, foram três os morfotipos mais representativos, EP5, EP9 e EP17, juntos equivaleram a mais de 90% do total em cada sistema, com exceção do PD. (Tabela 7). Este grupo é representado por colêmbolos que vivem na camada solo-serapilheira e os que possuem o maior poder de dispersão. Entre as características comuns aos morfotipos desse grupo, está a presença de ocelos, de pelos, fúrcula bem desenvolvida, antenas maiores e presença de pigmentação (Anexo A).

Tabela 7 - Valores do Índice QBS atribuídos aos morfotipos mais representativos para cada um dos grupos ecomorfológicos, em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no inverno na região do Planalto Sul Catarinense.

| <b>F</b>              |       | <b>Reu</b> |       | <b>P</b> |      | <b>ILP</b> |      | <b>PD</b> |      |
|-----------------------|-------|------------|-------|----------|------|------------|------|-----------|------|
| <b>Edáficos*</b>      |       |            |       |          |      |            |      |           |      |
| E8                    | 24592 | E8         | 25616 | E8       | 6544 | E8         | 3680 | E8        | 8160 |
| E3                    | 11610 | E3         | 2484  | E3       | 4086 | E3         | 1098 | E3        | 918  |
| Outros                | 9240  | -          | 1272  | -        | 4908 | -          | 1754 | -         | 854  |
| <b>Semi-edáficos*</b> |       |            |       |          |      |            |      |           |      |
| S4                    | 5316  | S4         | 2052  | S15      | 1476 | S15        | 972  | S4        | 3672 |
| S15                   | 1080  | S15        | 804   | S4       | 1440 | S4         | 792  | S16       | 1008 |
| Outros                | 1258  | -          | 1034  | -        | 742  | -          | 1176 | -         | 2788 |
| <b>Epígeos*</b>       |       |            |       |          |      |            |      |           |      |
| EP9                   | 120   | EP17       | 20    | EP9      | 114  | EP13       | 30   | EP17      | 28   |
| EP17                  | 12    | EP9        | 12    | EP5      | 6    | EP9        | 18   | EP5       | 18   |
| Outros                | 14    | -          | 0     | -        | 4    | -          | 4    | -         | 30   |

\* A ordem de apresentação dos morfotipos na tabela refere-se a sua importância, da maior para a menor.

Fonte: Produção da autora, 2015.

Diferente do que ocorreu para o inverno, onde os índices QBS seguiram um gradiente de intensificação de uso do solo, para o verão, não houve uma sequência lógica (Tabela 8). Entretanto, o sistema F manteve o mesmo comportamento, apresentando o maior valor do índice QBS, sendo seguido pelo sistema ILP, Reu, PD e P. A princípio, não há fatores claros que justifiquem esse aumento na qualidade do solo no sistema ILP, do inverno para o de verão; supõem-se que condições

microclimáticas possam ter influenciado esses resultados ou outra característica benéfica proporcionada pelo sistema ILP, que favoreceu os colêmbolos. Já a diminuição da qualidade do solo do sistema P provavelmente é atribuída a lotação de animais nesse período, influenciando na abundância de colêmbolos.

Quanto aos grupos ecomorfológicos, o edáfico equivaleu a mais de 60% do QBS total nos sistemas F, Reu e P, enquanto nos sistemas ILP e PD foi responsável por aproximadamente 36% e 24%, respectivamente. Para esses dois sistemas, o grupo de semi-edáficos teve uma maior representatividade no QBS total, onde, no ILP corresponderam a 63% e no PD 75%. Acredita-se que este resultado também seja devido a alguma técnica de manejo, que favoreceram a presença de colêmbolos semi-edáficos em detrimento aos edáficos.

Tabela 8 - Valores do Índice QBS para os grupos ecomorfológicos edáficos (E), semi-edáficos (S) e epígeos (EP) em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no verão, na região do Planalto Sul Catarinense.

|                  | <b>F</b>     | <b>Reu</b> | <b>P</b> | <b>ILP</b> | <b>PD</b> |
|------------------|--------------|------------|----------|------------|-----------|
|                  | <b>Verão</b> |            |          |            |           |
| <b>QBS E</b>     | 46216        | 21248      | 11210    | 14912      | 5630      |
| <b>QBS S</b>     | 20144        | 4036       | 4464     | 25602      | 17578     |
| <b>QBS EP</b>    | 82           | 32         | 16       | 36         | 192       |
| <b>QBS total</b> | 66442        | 25316      | 15690    | 40550      | 23400     |

Fonte: Produção da autora, 2015.

Entre os morfotipos que mais contribuíram para os valores do QBS de seu grupo ecomorfológico estão os

morfotipos E3 e E8 (Tabela 9). Esses morfotipos foram responsáveis por mais de 80% do valor do QBS edáfico em todos os sistemas de uso, mantendo o mesmo comportamento do período de inverno. Já o valor do QBS semi-edáfico, foi praticamente determinado por um único morfotipo, o S4; correspondendo por mais de 75% do valor em todos os sistemas. Quanto ao QBS epígeo, este foi representado basicamente por dois morfotipos, EP5 e EP9, que juntos representam mais de 75% do índice QBS de três sistemas, P, ILP e PD. Enquanto nos sistemas F e Reu os morfotipos EP5 e EP9 corresponderam a 36% e 56%, respectivamente.

Tabela 9 - Valores do Índice QBS, atribuídos aos morfotipos mais representativos para os grupos ecomorfológicos, em Floresta Nativa (F), Reflorestamento de Eucalipto (Reu), Pastagem (P), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (PD) no verão, na região do Planalto Sul Catarinense.

| <b>F</b>              |           | <b>Reu</b> |           | <b>P</b> |          | <b>ILP</b> |           | <b>PD</b> |           |
|-----------------------|-----------|------------|-----------|----------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Edáficos*</b>      |           |            |           |          |          |            |           |           |           |
| E8                    | 2913<br>6 | E3         | 1549<br>8 | E8       | 872<br>0 | E8         | 1436<br>8 | E8        | 5376      |
| E3                    | 1567<br>8 | E8         | 1984      | E3       | 158<br>4 | E3         | 306       | E1        | 160       |
| Outros                | 1402      | -          | 3766      | -        | 906      | -          | 238       | -         | 94        |
| <b>Semi-edáficos*</b> |           |            |           |          |          |            |           |           |           |
| S4                    | 1567<br>2 | S4         | 3204      | S4       | 362<br>4 | S4         | 2446<br>8 | S4        | 1659<br>6 |
| Outros                | 4472      | -          | 832       | -        | 840      | -          | 1134      | -         | 982       |
| <b>Epígeos*</b>       |           |            |           |          |          |            |           |           |           |
| EP21                  | 40        | EP9        | 18        | EP5      | 12       | EP5        | 18        | EP5       | 180       |
| EP9                   | 30        | EP1        | 6         | EP1      | 4        | EP9        | 18        | EP9       | 12        |
| Outros                | 12        | -          | 8         | -        | 0        | -          | 0         | -         | 0         |

\* A ordem de apresentação dos morfotipos na tabela refere-se a sua importância, da maior para a menor.

Fonte: Produção da autora, 2015.

#### 4.4 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

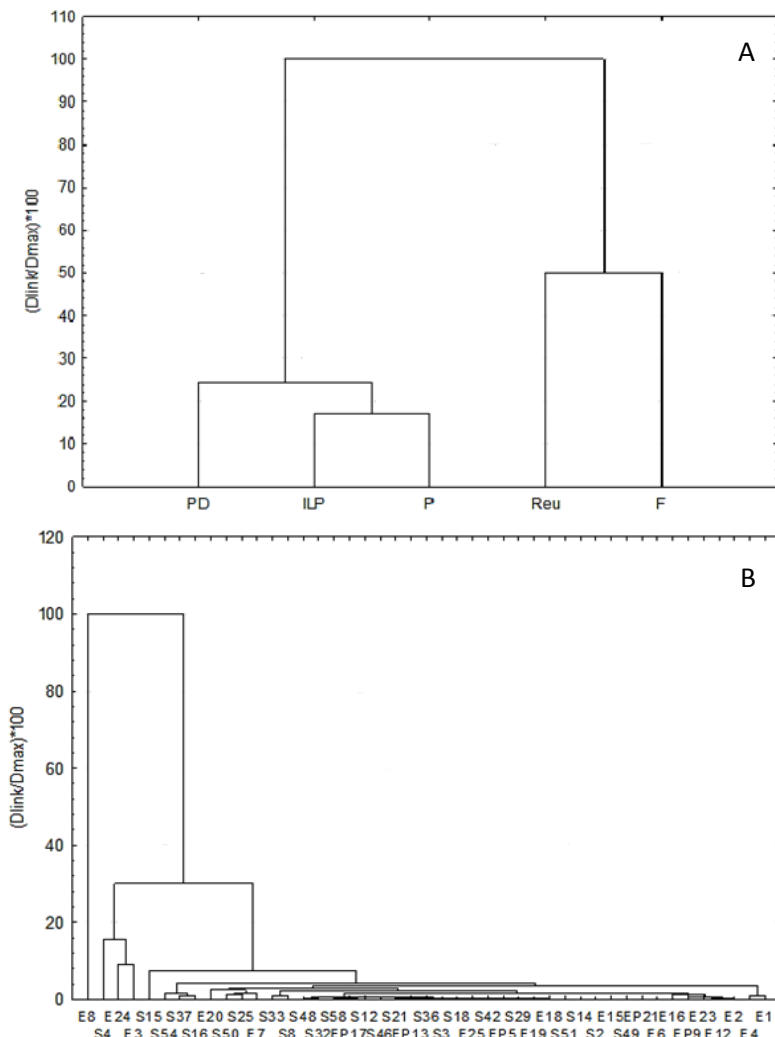
Nas Figuras 11 e 12 podem ser visualizados os dendogramas obtidos pela análise de agrupamento em duas épocas distintas, inverno (Figura 11) e verão (Figura 12). Os números dos eixos verticais representam a distância euclidiana e no eixo horizontal os sistemas de uso e manejo do solo estudados (Figuras 11A e 12A), e a abundância dos morfotipos de colêmbolos (organismos armadilha<sup>-1</sup>) que geraram os agrupamentos (Figuras 11B e 12B).

A análise de agrupamento para o período de inverno (Figura 11), evidenciou grande similaridade entre os sistemas de plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP) e pastagem (P), os quais formaram um grupo (Figura 11A). E outro grupo foi formado pelo sistema reflorestamento de eucalipto (Reu) e floresta (F).

A junção do sistema Reu ao F, se deve provavelmente, a ser esse um sistema de manejo pouco agressivo para os colêmbolos, principalmente nesse período, onde oferece condições adequadas de habitat, com fornecimento de alimento; visto que colêmbolos possuem como principais fontes de sustento, microrganismos e fungos associados à matéria orgânica do solo e serapilheira (ZEPPELINI; BELLINI, 2004).

Quanto as similaridades dos morfotipos no inverno, observa-se que independente dos SUS (Figura 11B), houve similaridade entre os morfotipos, com exceção do morfotipo E8, e do agrupamento formado pelos morfotipos S4, E24 e E3, que se distinguiram dos outros.

Figura 11 - Dendrograma apresentando a distância de ligação referente aos morfotipos da classe Collembola (B), em diferentes sistemas de uso e manejo do solo (A) no período de inverno, no planalto catarinense. Semi-edáfico (S); edáfico (E); epígeo (EP); floresta nativa (F); reflorestamento de eucalipto (Reu); pastagem (P); integração lavoura-pecuária (ILP); plantio direto (PD).



Fonte: Produção da autora, 2015.

A análise de agrupamento do período de verão demonstrou que a floresta nativa (F) ficou isolada dos demais usos e manejos, sendo que os sistemas pastagem (P) e reflorestamento (Reu) formaram um agrupamento separado dos sistemas PD e ILP, que foram muito similares entre si (Figura 12A).

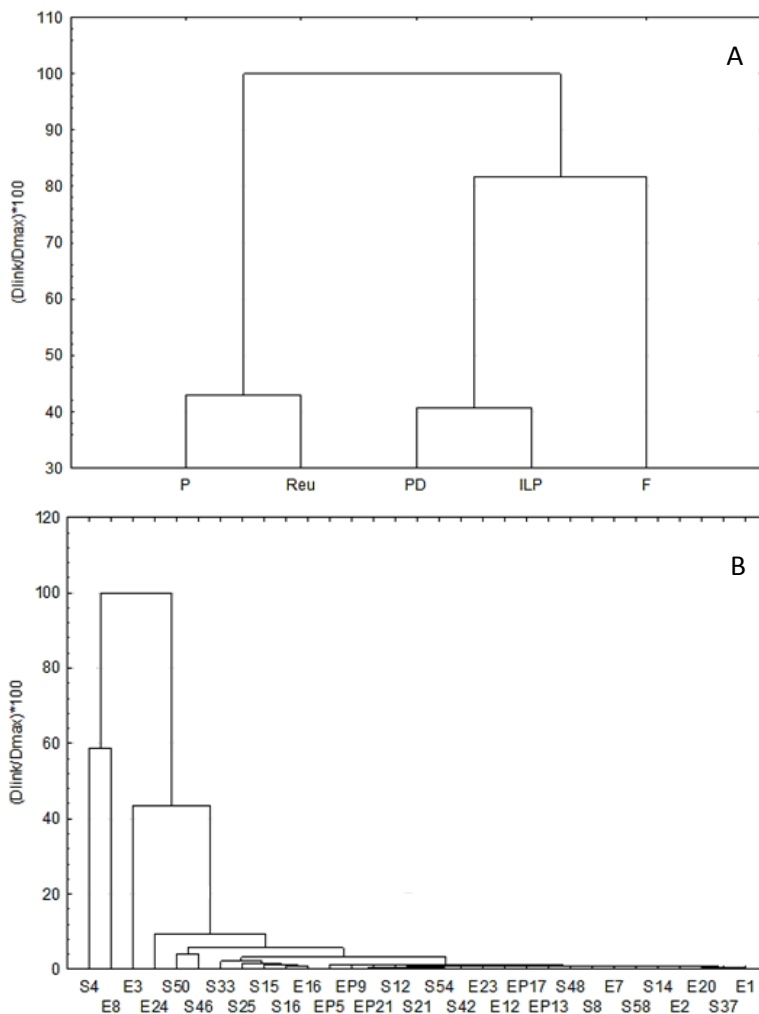
A junção dos sistemas PD e ILP, só reafirma a teoria de que a permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo em ambos os sistemas, estimula a fauna edáfica em especial os colêmbolos, as raízes e a microflora do solo, o que permite manter o solo em equilíbrio e permanentemente protegido contra a degradação (LAVELLE; SPAIN, 2001).

No caso específico dos colêmbolos, a permanência da cobertura morta na superfície do solo possui ainda mais valor nesse período do ano, pois proporciona um habitat ideal, com uma menor amplitude térmica e uma maior umidade. Como já mencionado na análise de inverno, a maior abundância de colêmbolos no sistema F é compreensível por seu maior equilíbrio biológico.

Na análise das similaridades dos morfotipos no inverno, independente dos SUS (Figura 12B), houve similaridade entre os morfotipos, com exceção do morfotipo E3, e do grupo formado pelos organismos de morfotipos S4 e E8, que se distinguiram dos outros.



Figura 12 - Dendrograma apresentando a distância de ligação referente aos morfotipos da classe Collembola (B), em diferentes sistemas de uso e manejo do solo (A) no período de verão, no planalto catarinense. Semi-edáfico (S); edáfico (E); epígeo (EP); floresta nativa (F); reflorestamento de eucalipto (Reu); pastagem (P); integração lavoura-pecuária (ILP); plantio direto (PD).



Fonte: Produção da autora, 2015.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em ambos os períodos avaliados, a floresta nativa (F) apresenta os maiores valores de abundância de colêmbolos, demonstrando ser o mais estável entre os sistemas de uso e manejo do solo (SUS) estudados.

A maior abundância de morfotipos no inverno é explicada devido a melhores valores de relação Ca/Mg, carbono orgânico total (COT), bioporos, microporos e umidade do solo em comparação aos demais SUS. Já no verão, novamente a F apresenta maior abundância de morfotipos, porém, a maior diversidade de níveis de adaptação foi encontrada em PD. No verão, a F apresenta maiores valores de COT e de microporos, enquanto ILP e PD apresentam maiores valores de pH, bioporos e densidade do solo.

O valor do Índice de Qualidade do Solo (QBS) no inverno é menor quanto maior a intensificação do SUS, com maiores valores em F, seguido por Reu, P, PD e ILP, respectivamente. Já no verão, os valores de QBS são maiores em F, seguido por ILP, Reu, PD e P, respectivamente.

Evidenciase que a diversidade morfológica de colêmbolos é influenciada pelo tipo de SUS, demonstrando serem sensível às alterações no uso e ao manejo inadequado do solo. Sendo assim, a morfotipagem de colêmbolos é uma boa ferramenta para indicar o nível de intensificação de uso do solo, principalmente quando utilizada em conjunto com outras variáveis ambientais explicativas (atributos físicos e químicos).

A separação ao nível de morfotipos utilizada no presente estudo mostra-se eficiente, não sendo necessária a identificação ao nível de espécie, já que são escassos os taxonomistas de colêmbolos no Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, Eduardo Assis et al. Synthesis of Brazilian Collembola: an update to the species list. **Zootaxa**, v. 2388, p. 1-22, 2010.

ALVES, Paulo Roger L. et al. Seed dressing pesticides on springtails in two ecotoxicological laboratory tests. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 105, p. 65-71, 2014.

ALVES, Mauricio Vicente et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos suínos na região oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 589-598, 2008.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Soil Science Society of America (SSSA special publication, 49), p.123-141, 1996.

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

BARETTA, Dilmar et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: **Tópicos especiais em ciência do solo**, v. 7, p.119-170, 2011.

BARTZ, Marie Luise Carolina et al. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 59-70, 2014a.

BARTZ, Marie Luise Carolina et al. The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 880-887, 2014b.

BELLINGER, P. F.; CHRISTIANSEN, K. A.; JANSSENS, F. **Checklist of the Collembola of the World**. 1996-2015. Disponível em: <<http://www.collembola.org>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

BRÖRING, J.M. **Dinâmica do carbono em sistemas de uso do solo no oeste e planalto de Santa Catarina**. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.

CARVALHO, F.C. **Efeito de diferentes tipos de gestão em olivais nos microartrópodes de solo usando uma abordagem funcional**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

CASSAGNE, Nathalie et al. Endemic Collembola, privileged bioindicators of forest management. **Pedobiologia**, v. 50, p. 127-134, 2006.

CASTAÑO-MENESES, G.; PALACIOS-VARGAS, J. G.; CUTZ-POOL, L. Q. Feeding habits of Collembola and their ecological niche. **Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología**, v. 75, p. 135-142, 2004.

CHANG, Liang et al. Effect of tillage and farming management on Collembola in marsh soils. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 112-117, 2013.

CLAESSEN, Marie Elisabeth Cristine et al. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 P.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

CONTE, Osmar et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011.

CUNHA NETO, Felipe Vieira et al. Fauna edáfica como indicador da qualidade do solo em povoamentos florestais, pastagem e floresta secundária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1407-1417, 2012.

DEHARVENG, L. Recent advances in Collembola systematics. **Pedobiologia**, v. 48, p.415-433, 2004.

D'HAESE, C. A. Morphological appraisal of Collembola phylogeny with special emphasis on Poduromorpha and a test of the aquatic origin hypothesis. In: The Norwegian Academy of Science and Letters. **Zoologica Scripta**, v. 32, n. 6, p. 563-586, 2003.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.). **Methods for Assessing Soil Quality**. Soil

Science Society of America, v. 49, special publication, p. 25-37, 1996.

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Florestas. Clima. In: **Adequação ambiental de sistemas de produção da agricultura familiar no Paraná**: paradigma para a agregação de qualidade e renda. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

GARDI, Ciro et al. Soil quality indicators and biodiversity in Northern Italian permanent grasslands. **European Journal of Soil Biology**, v. 38, p. 103–110, 2002.

GARRIGUES, Emmanuelle et al. Soil quality in Life Cycle Assessment: Towards development of an indicator. **Ecological Indicators**, v. 18, p. 434-442, 2012.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

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

HOPKIN, S. P. **Biology of the Springtails (Insecta: Collembola).** Oxford: Oxford University Press, 1997. 340 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Soil quality - Inhibition of reproduction of *Collembola* (*Folsomia candida*) by soil contaminants. In: **ISO 11267:2014**. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=57582](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=57582)>. Acesso em: 10 jun. 2015.

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.

KARLEN, Douglas L. et al. A concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KEULS, M. The use of the "studentized range" in connection with an analysis of variance. **Euphytica**, v. 1, p. 112-122, 1952.



LAISHRAM, Joylata et al. Soil Quality and Soil Health: A Review. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 38, n. 1, p. 19-37, 2012.

LARSEN, T.; SCHJØNNINGB, P.; AXELSEN, J. The impact of soil compaction on euedaphic Collembola. **Applied Soil Ecology**, v. 26, p. 273-281, 2004.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: Evaluation on for Sustainable Land Management in the Developing World. International Board for **Soil Research and Management (ISBRAM)**, v. 02, 1991.

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

LEIVAS, F. W. T; FISCHER, M, L. Avaliação da composição de invertebrados terrestres em uma área rural localizada no município de Campina Grande do Sul, Paraná, Brasil. **Biotemas**, v. 21, n. 1, p. 65-73, 2008.

LIMA, Herdjania Veras et al. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 05, p. 677-684, 2005.

LOWDERMILK, W. C. **Conquest of the Land through Seven Thousand Years**. Washington DC: USDA Soil Conservation Service Bulletin 99, 1953. 30 p.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). Planalto Catarinense. In: **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável**. Disponível em: <[http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs\\_qua\\_territorio\\_071.pdf](http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_qua_territorio_071.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2015.

MOÇO, Maria Kellen S. et al. Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 46, p. 347-354, 2010.

MOREIRA, Fatima Maria Souza et al. **O ecossistema solo**: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Editora UFLA, 2013. 352 p.

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

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

PAULINO, P. S. **Atributos físicos como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Estado de Santa Catarina**. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

PONGE, J. F. Acidophilic Collembola: living fossils?. **Contributions from the Biological Laboratory Kyoto University**, v. 29, p. 65-74, 2000.

RIBEIRO-TROIAN, V.R.; BALDISSERA R.; HARTZ, S.M. Effects of understory structure on the abundance, richness and diversity of Collembola (Arthropoda) in Southern Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 340-345, 2009.

RIEFF, Gleidson Gimenes et al. Diversity of springtails and mites of a native forest in southern Brazil: relationship with the indices of temperature and precipitation in the native environment. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v. 4, p. 684-692, 2014.

ROSA, A. S.; DALMOLIN, R. S. D. Fauna edáfica em solo construído, campo nativo e lavoura anual. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 913-917, 2009.

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J.C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.98, p.255-262, 2003.

SCHOENHOLTZ, S. H.; MIEGROET, H. V.; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v. 138, p. 335-356, 2000.

SILVA.; Wininton Mendes et al. Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, v. 02, p. 33-46, 2009.

SILVEIRA, Pedro Marques et al. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 03, p. 53-59, 2008.

SOUSA, José Paulo et al. Changes in Collembola richness and diversity along a gradient of land-use intensity: A pan European study. **Pedobiologia**, v. 50, p. 147-156, 2006.

SOUSA, José Paulo et al. Effects of land-use on Collembola diversity patterns in a Mediterranean landscape. **Pedobiologia**, v. 48, p. 609-622, 2004.

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

SOUSA, J. P.; GAMA, M. M.; FERREIRA, C. S. Effects of replacing oak-woods by eucalyptus on edaphic Collembola communities: does the size and type of plantation matter?. **Acta Entomológica Ibérica e Macaronésica**, v. 1, p. 1-10, 2003.

STATSOFT INC. **Statistica** (Data Analysis Software System). Tulsa, 2004.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n, 02, p. 395-401, 2001.

TEDESCO, M.J et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows**: software for canonical community ordination (version 4). New York: Microcomputer Power, 1998. 352 p.

TURBÉ, Anne. **Soil biodiversity**: functions, threats and tools for policy makers. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO, Report for European Commission (DG Environment), 2010.

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

VASCONCELLOS, Rafael Leandro de Figueiredo et al. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, v. 58, p. 105-112, 2013.

VERMA, D.; YADAV, R. K.; KUMAR, M. Effect of Ecological Factors on Population Density of Collembolan in Agra. **Journal of Environmental and Applied Bioresearch**, v. 2, n. 1, p. 25-28, 2014.

VEZZANI, F.M; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

WHALEN, J. K.; SAMPEDRO, L. **Soil Ecology and Management**. Wallingford: CABI Publishers, 2010. 304 p.

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

YANG, X.; YANG, Z.; WARREN, M. W.; CHEN, J. Mechanical fragmentation enhances the contribution of Collembola to leaf litter decomposition. **European Journal of Soil Biology**, v. 53, p. 23-31, 2012.

ZEPPELINI, D.F.; BELLINI, B.C. **Introdução ao estudo dos Collembola**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2004. 82 p.

ZORTÉA, Talyta et al. Influence of cypermethrin on avoidance behavior, survival and reproduction of *Folsomia candida* in soil. **Chemosphere**, v. 122, p. 94-98, 2015.

## ANEXO

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

| Valor eco-morfológico parcial |                    |       |                 |             | EMI Final | Grupo eco-morfológico | Morfoespécie |
|-------------------------------|--------------------|-------|-----------------|-------------|-----------|-----------------------|--------------|
| Ocelos                        | Tamanho de Antenas | Furca | Pelos / escamas | Pigmentação |           |                       |              |
| 0-4                           | 0-2-4              | 0-2-4 | 0-4             | 0-2-4       |           |                       |              |
| 4                             | 4                  | 4     | 4               | 4           | 20        | Edáfico               | E1           |
| 4                             | 4                  | 4     | 4               | 2           | 18        | Edáfico               | E2           |
| 4                             | 4                  | 2     | 4               | 4           | 18        | Edáfico               | E3           |
| 4                             | 2                  | 4     | 4               | 4           | 18        | Edáfico               | E4           |
| 4                             | 4                  | 4     | 4               | 0           | 16        | Edáfico               | E5           |
| 4                             | 4                  | 4     | 0               | 4           | 16        | Edáfico               | E6           |
| 4                             | 4                  | 2     | 4               | 2           | 16        | Edáfico               | E7           |
| 4                             | 4                  | 0     | 4               | 4           | 16        | Edáfico               | E8           |
| 4                             | 2                  | 4     | 4               | 2           | 16        | Edáfico               | E9           |
| 4                             | 2                  | 2     | 4               | 4           | 16        | Edáfico               | E10          |
| 4                             | 0                  | 4     | 4               | 4           | 16        | Edáfico               | E11          |
| 0                             | 4                  | 4     | 4               | 4           | 16        | Edáfico               | E12          |
| 4                             | 4                  | 4     | 0               | 2           | 14        | Edáfico               | E13          |
| 4                             | 4                  | 2     | 4               | 0           | 14        | Edáfico               | E14          |
| 4                             | 4                  | 2     | 0               | 4           | 14        | Edáfico               | E15          |
| 4                             | 4                  | 0     | 4               | 2           | 14        | Edáfico               | E16          |
| 4                             | 2                  | 4     | 4               | 0           | 14        | Edáfico               | E17          |
| 4                             | 2                  | 4     | 0               | 4           | 14        | Edáfico               | E18          |
| 4                             | 2                  | 2     | 4               | 2           | 14        | Edáfico               | E19          |
| 4                             | 2                  | 0     | 4               | 4           | 14        | Edáfico               | E20          |
| 4                             | 0                  | 4     | 4               | 2           | 14        | Edáfico               | E21          |
| 4                             | 0                  | 2     | 4               | 4           | 14        | Edáfico               | E22          |
| 0                             | 4                  | 4     | 4               | 2           | 14        | Edáfico               | E23          |
| 0                             | 4                  | 2     | 4               | 4           | 14        | Edáfico               | E24          |
| 0                             | 2                  | 4     | 4               | 4           | 14        | Edáfico               | E25          |
| 4                             | 4                  | 4     | 0               | 0           | 12        | Semiedáfico           | S1           |
| 4                             | 4                  | 2     | 0               | 2           | 12        | Semiedáfico           | S2           |
| 4                             | 4                  | 0     | 4               | 0           | 12        | Semiedáfico           | S3           |
| 4                             | 4                  | 0     | 0               | 4           | 12        | Semiedáfico           | S4           |
| 4                             | 2                  | 4     | 0               | 2           | 12        | Semiedáfico           | S5           |
| 4                             | 2                  | 2     | 4               | 0           | 12        | Semiedáfico           | S6           |
| 4                             | 2                  | 2     | 0               | 4           | 12        | Semiedáfico           | S7           |
| 4                             | 2                  | 0     | 4               | 2           | 12        | Semiedáfico           | S8           |



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

| Valor eco-morfológico parcial |                    |       |                 |             | EMI Final | Grupo eco-morfológico | Morfoespécie |
|-------------------------------|--------------------|-------|-----------------|-------------|-----------|-----------------------|--------------|
| Ocelos                        | Tamanho de Antenas | Furca | Pelos / escamas | Pigmentação |           |                       |              |
| 0-4                           | 0-2-4              | 0-2-4 | 0-4             | 0-2-4       |           |                       |              |
| 4                             | 0                  | 4     | 4               | 0           | 12        | Semiedáfico           | S9           |
| 4                             | 0                  | 4     | 0               | 4           | 12        | Semiedáfico           | S10          |
| 4                             | 0                  | 2     | 4               | 2           | 12        | Semiedáfico           | S11          |
| 4                             | 0                  | 0     | 4               | 4           | 12        | Semiedáfico           | S12          |
| 0                             | 4                  | 4     | 4               | 0           | 12        | Semiedáfico           | S13          |
| 0                             | 4                  | 4     | 0               | 4           | 12        | Semiedáfico           | S14          |
| 0                             | 4                  | 2     | 4               | 2           | 12        | Semiedáfico           | S15          |
| 0                             | 4                  | 0     | 4               | 4           | 12        | Semiedáfico           | S16          |
| 0                             | 2                  | 4     | 4               | 2           | 12        | Semiedáfico           | S17          |
| 0                             | 2                  | 2     | 4               | 4           | 12        | Semiedáfico           | S18          |
| 0                             | 0                  | 4     | 4               | 4           | 12        | Semiedáfico           | S19          |
| 4                             | 4                  | 2     | 0               | 0           | 10        | Semiedáfico           | S20          |
| 4                             | 4                  | 0     | 0               | 2           | 10        | Semiedáfico           | S21          |
| 4                             | 2                  | 4     | 0               | 0           | 10        | Semiedáfico           | S22          |
| 4                             | 2                  | 2     | 0               | 2           | 10        | Semiedáfico           | S23          |
| 4                             | 2                  | 0     | 4               | 0           | 10        | Semiedáfico           | S24          |
| 4                             | 2                  | 0     | 0               | 4           | 10        | Semiedáfico           | S25          |
| 4                             | 0                  | 4     | 0               | 2           | 10        | Semiedáfico           | S26          |
| 4                             | 0                  | 2     | 4               | 0           | 10        | Semiedáfico           | S27          |
| 4                             | 0                  | 2     | 0               | 4           | 10        | Semiedáfico           | S28          |
| 4                             | 0                  | 0     | 4               | 2           | 10        | Semiedáfico           | S29          |
| 0                             | 4                  | 4     | 0               | 2           | 10        | Semiedáfico           | S30          |
| 0                             | 4                  | 2     | 4               | 0           | 10        | Semiedáfico           | S31          |
| 0                             | 4                  | 2     | 0               | 4           | 10        | Semiedáfico           | S32          |
| 0                             | 4                  | 0     | 4               | 2           | 10        | Semiedáfico           | S33          |
| 0                             | 2                  | 4     | 4               | 0           | 10        | Semiedáfico           | S34          |
| 0                             | 2                  | 4     | 0               | 4           | 10        | Semiedáfico           | S35          |
| 0                             | 2                  | 2     | 4               | 2           | 10        | Semiedáfico           | S36          |
| 0                             | 2                  | 0     | 4               | 4           | 10        | Semiedáfico           | S37          |
| 0                             | 0                  | 4     | 4               | 2           | 10        | Semiedáfico           | S38          |
| 0                             | 0                  | 2     | 4               | 4           | 10        | Semiedáfico           | S39          |
| 4                             | 4                  | 0     | 0               | 0           | 8         | Semiedáfico           | S40          |
| 4                             | 2                  | 2     | 0               | 0           | 8         | Semiedáfico           | S41          |
| 4                             | 2                  | 0     | 0               | 2           | 8         | Semiedáfico           | S42          |
| 4                             | 0                  | 4     | 0               | 0           | 8         | Semiedáfico           | S43          |
| 4                             | 0                  | 2     | 0               | 2           | 8         | Semiedáfico           | S44          |
| 4                             | 0                  | 0     | 4               | 0           | 8         | Semiedáfico           | S45          |
| 4                             | 0                  | 0     | 0               | 4           | 8         | Semiedáfico           | S46          |

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

| Valor eco-morfológico parcial |                    |       |                 |             | EMI Final | Grupo eco-morfológico | Morfoespécie |
|-------------------------------|--------------------|-------|-----------------|-------------|-----------|-----------------------|--------------|
| Ocelos                        | Tamanho de Antenas | Furca | Pelos / escamas | Pigmentação |           |                       |              |
| 0-4                           | 0-2-4              | 0-2-4 | 0-4             | 0-2-4       |           |                       |              |
| 0                             | 4                  | 4     | 0               | 0           | 8         | Semiedáfico           | S47          |
| 0                             | 4                  | 2     | 0               | 2           | 8         | Semiedáfico           | S48          |
| 0                             | 4                  | 0     | 4               | 0           | 8         | Semiedáfico           | S49          |
| 0                             | 4                  | 0     | 0               | 4           | 8         | Semiedáfico           | S50          |
| 0                             | 2                  | 4     | 0               | 2           | 8         | Semiedáfico           | S51          |
| 0                             | 2                  | 2     | 4               | 0           | 8         | Semiedáfico           | S52          |
| 0                             | 2                  | 2     | 0               | 4           | 8         | Semiedáfico           | S53          |
| 0                             | 2                  | 0     | 4               | 2           | 8         | Semiedáfico           | S54          |
| 0                             | 0                  | 4     | 4               | 0           | 8         | Semiedáfico           | S55          |
| 0                             | 0                  | 4     | 0               | 4           | 8         | Semiedáfico           | S56          |
| 0                             | 0                  | 2     | 4               | 2           | 8         | Semiedáfico           | S57          |
| 0                             | 0                  | 0     | 4               | 4           | 8         | Semiedáfico           | S58          |
| 4                             | 2                  | 0     | 0               | 0           | 6         | Epígeo                | EP1          |
| 4                             | 0                  | 2     | 0               | 0           | 6         | Epígeo                | EP2          |
| 4                             | 0                  | 0     | 0               | 2           | 6         | Epígeo                | EP3          |
| 0                             | 4                  | 2     | 0               | 0           | 6         | Epígeo                | EP4          |
| 0                             | 4                  | 0     | 0               | 2           | 6         | Epígeo                | EP5          |
| 0                             | 2                  | 4     | 0               | 0           | 6         | Epígeo                | EP6          |
| 0                             | 2                  | 2     | 0               | 2           | 6         | Epígeo                | EP7          |
| 0                             | 2                  | 0     | 4               | 0           | 6         | Epígeo                | EP8          |
| 0                             | 2                  | 0     | 0               | 4           | 6         | Epígeo                | EP9          |
| 0                             | 0                  | 4     | 0               | 2           | 6         | Epígeo                | EP10         |
| 0                             | 0                  | 2     | 4               | 0           | 6         | Epígeo                | EP11         |
| 0                             | 0                  | 2     | 0               | 4           | 6         | Epígeo                | EP12         |
| 0                             | 0                  | 0     | 4               | 2           | 6         | Epígeo                | EP13         |
| 4                             | 0                  | 0     | 0               | 0           | 4         | Epígeo                | EP14         |
| 0                             | 4                  | 0     | 0               | 0           | 4         | Epígeo                | EP15         |
| 0                             | 2                  | 2     | 0               | 0           | 4         | Epígeo                | EP16         |
| 0                             | 2                  | 0     | 0               | 2           | 4         | Epígeo                | EP17         |
| 0                             | 0                  | 4     | 0               | 0           | 4         | Epígeo                | EP18         |
| 0                             | 0                  | 2     | 0               | 2           | 4         | Epígeo                | EP19         |
| 0                             | 0                  | 0     | 4               | 0           | 4         | Epígeo                | EP20         |
| 0                             | 0                  | 0     | 0               | 4           | 4         | Epígeo                | EP21         |
| 0                             | 2                  | 0     | 0               | 0           | 2         | Epígeo                | EP22         |
| 0                             | 0                  | 2     | 0               | 0           | 2         | Epígeo                | EP23         |
| 0                             | 0                  | 0     | 0               | 2           | 2         | Epígeo                | EP24         |
| 0                             | 0                  | 0     | 0               | 0           | 0         | Epígeo                | EP25         |