

MAYARA COSTA CARNEIRO

**MICROARTRÓPODES EDÁFICOS NA PRODUÇÃO DE SOJA (*Glycine max* L.)
EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciência do Solo.

Orientador: Professor Dr. Osmar Klauberg Filho

LAGES

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Carneiro, Mayara Costa

Microartrópodes edáficos na produção de soja em sistemas de plantio direto / Mayara Costa Carneiro. -- 2020.

83 p.

Orientador: Osmar Klauberg Filho

Coorientador: Dilmar Baretta

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2020.

1. microartrópodes. 2. ácaros. 3. colêmbolos. 4. produtividade de soja. 5. plantio direto. I. Klauberg Filho, Osmar. II. Baretta, Dilmar. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

MAYARA COSTA CARNEIRO**MICROARTRÓPODES EDÁFICOS NA PRODUÇÃO DE SOJA (*Glycine max* L.)
EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada ao curso de Pós Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Banca Examinadora:

Orientador:

Professor Dr. Osmar Klauberg Filho
UDESC/ Lages-SC



Membro:

Professora Dra. Carolina Riviera Duarte Maluche Baretta
UNOCHAPECÓ/ Chapecó-SC



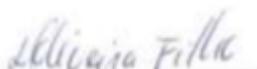
Membro:

Professora Dra. Julia Carina Niemeyer
UFSC/ Curitibanos-SC



Membro:

Professor Dr. Dennis Göss Souza
UDESC/ Lages- SC



Membro:

Professor Dr. Luis Carlos Iuñes de Oliveira Filho
UFPEL/ Capão do Leão-RS

Lages, 17 de fevereiro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder a vida e alimentar minha fé ao longo de todos os momentos difíceis.

À minha filha Sophia, motivo de todo e qualquer esforço que eu faço no sentido de crescer pessoal e profissionalmente.

Ao meu esposo e amigo de todas as horas, Paulo, pelo amor, apoio, risadas e leveza, sem os quais os últimos dois anos e meio não teriam sido possíveis.

Aos meus pais, Nilta e Mariano, e irmãos, Ariani e Thiago, por todo o apoio incondicional e por acreditarem em mim quando nem eu acreditava. Essa vitória também é de cada um de vocês.

Ao meu melhor amigo Maycon, por sempre se dispor a me ouvir e me apoiar em todos os momentos.

Ao meu orientador, que aceitou o desafio de me orientar e auxiliar durante todo o caminho, trabalhando com as minhas limitações.

Aos amigos Sueli e Álvaro, pelo apoio constante e por fornecerem o abrigo ideal, assumindo o papel de minha família em Lages.

Ao amigo Elston, por ter topado essa parceria de projeto, sempre me atendendo com paciência, ensinando e ajudando a aliviar os pesos da tese.

Aos colegas e amigos de laboratório, que auxiliaram nas coletas e análises, ou mesmo com uma palavra amiga.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, por todos os ensinamentos e disponibilidade na construção desta tese.

À CAPES pela concessão da bolsa.

À Fundação Agrisus pelo financiamento do projeto (PA 2088/17).

À Epagri, pela parceria e auxílio nas análises químicas de solo.

À UNOCHAPECÓ, pela parceria e cessão de espaço e equipamento para extração da fauna.

RESUMO

CARNEIRO, Mayara Costa. **Microartrópodes edáficos na produção de soja** (*Glycine max* L.) **em sistemas de plantio direto**. 2020. 83p. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Área: Biologia do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2020.

Em agroecossistemas a biodiversidade desempenha papéis importantes no que se refere à provisão de serviços ecossistêmicos que contribuem para o funcionamento do solo e, conseqüentemente, para a produtividade vegetal. O objetivo deste estudo foi estabelecer relações entre a diversidade de microartrópodes do solo e a produtividade da soja sob Sistema de Plantio Direto (SPD) no Oeste do Estado de Santa Catarina. Foram avaliadas as comunidades de ácaros e colêmbolos do solo em três municípios do Oeste Catarinense. Em cada município foram amostradas lavouras com diferentes produtividades, medidas pelo rendimento de grãos por safra, em dois anos agrícolas. Os microartrópodes foram amostrados através da coleta de *cores* e armadilhas do tipo *pitfall*. Concomitantemente, foram avaliados atributos físicos, químicos e microbiológicos. Foram identificados um total de 15.773 ácaros, divididos em três grupos: Oribatida (14.808 indivíduos), Prostigmata (382 indivíduos) e Mesostigmata (583 indivíduos) e 32.035 colêmbolos, distribuídos em 19 morfotipos, sendo 5 edáficos, 10 hemiedáficos e 4 epigeicos. Tanto a comunidade de ácaros quanto a de colêmbolos não foram relacionadas ao fator produtividade da soja, refutando a hipótese central do trabalho. As análises de redundância demonstraram que as comunidades foram fracamente modeladas por fatores ambientais (9,82% para ácaros e 11,82% para colêmbolos), indicando que os microartrópodes avaliados sofrem mais influência de fatores ecológicos. Para ácaros, as variáveis que mais contribuíram para a distribuição dos grupos foram os teores de argila e magnésio e a temperatura média no ciclo da soja. Para colêmbolos as safras foram significativamente diferentes. Na safra 2016/2017, altitude, latitude, tempo de SPD e precipitação média no ciclo foram as variáveis significativas e para 2017/2018, foram as variáveis temperatura média no ciclo e latitude. Recomenda-se, para estudos futuros, a avaliação de outros grupos da comunidade de microartrópodes, baseadas em níveis taxonômicos mais específicos ou a abordagem de outros *traits* eco-funcionais.

Palavras-chave: microartrópodes, ácaros, colêmbolos, produtividade da soja, sistema de plantio direto.

ABSTRACT

CARNEIRO, Mayara Costa. **Edaphic microarthropods in soybean (*Glycine max* L.) production under no-tillage systems.** 2020. 83p. PhD Thesis in Soil Science. Area: Soil Biology. Santa Catarina State University – Agroveterinary Sciences Center, Lages, 2020.

In agroecosystems the biodiversity plays important roles regards to ecosystems services provision that contributes to soil functioning and, consequently, to plant productivity. The aim of this study was to establish relationships between microarthropods of soil diversity and the soybean productivity under no-till system (NTS) in Santa Catarina's West. The communities of mites and springtails in soil were evaluated in three counties of Santa Catarina's West. Were sampled crops with different productivities in each county, measured by grain yield per harvest, in two agricultural years. The microarthropods were sampled through cores collect and pitfall traps. Concomitantly, physical, chemical and microbiological attributes were assessed. A total of 15.773 mites were identified, separated in three groups: Oribatida (14.808 individuals), Prostigmata (382 individuals) and Mesostigmata (583 individuals); For Springtails, 32.035 individuals were identified, distributed in 19 morphotypes: 5 edaphic, 10 hemi-edaphic and 4 epigeic. Both the mites and springtails communities were not related to soybean productivity factor, rebutting the central hypothesis of this study. The redundancy analysis shown that communities were weakly modelled by environmental factors (9,82% to mite and 11,82% to springtails), indicating that evaluated microarthropods were more influenced by ecological factors. For mites, the variables that contributed more to groups distribution were clay and magnesium contents and average temperature on soybean cycle. For springtails, the harvests were significantly different. In 2016/2017 harvest, altitude, latitude, NTS time and average precipitation on soybean cycle and for 2017/2018, the variables were average temperature on soybean cycle and latitude. We advise, for future studies, the evaluation of others groups of microarthropods community, based on specific taxonomic levels or the approach of others eco-functional traits.

Keywords: microarthropods, mites, no-tillage system, springtails, soybean productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

- Figura 1- Localização dos municípios: Campo Erê; Chapecó e Faxinal dos Guedes.....25
- Figura 2- Dados de precipitação (mm), temperatura (°C) considerando o período de coleta e entre coletas (setembro de 2016 a fevereiro de 2018)26
- Figura 3- Representação da grade amostral 3x3 e esquema de amostragem de solo em cada ponto.....27
- Figura 4: *Non-metric Multidimensional Scaling* (NMDS) com todos os pontos amostrados. Análise executada com uso da distância de Bray-Curtis e cem perturbações. Amostras classificadas conforme produtividade: vermelho- baixa produtividade; verde- alta produtividade.....35
- Figura 5: Distribuição dos grupos de ácaros e os fatores ambientais atrelados avaliados pela Análise de Redundância baseada em distância (db-RDA) de Bray-Curtis com 1000 permutações de Monte-Carlo. Vetores em vermelho representam os fatores ambientais com *forward selection*, significativos a 5% (p ajustado $\leq 0,05$). TM ciclo- Temperatura média no ciclo (°C). Teor de magnésio (Mg) em $\text{cmol}_c\text{Kg}^{-1}$. Teor de argila (%). Amostras classificadas conforme produtividade: vermelho- baixa produtividade; verde- alta produtividade.....36
- Figura 6: Análise de redundância baseada na distância de Bray-Curtis ilustrando a distribuição dos grupos de ácaros e variáveis significativas (p ajustado $\leq 0,05$). Classificação das amostras por temperatura média no ciclo da soja. Azul- temperaturas superiores a 24°C; Amarelo- temperaturas inferiores a 24°C.....38
- Figura 7: Análise de Particionamento da variabilidade a partir de uma RDA (pRDA) dois grupos com efeito simples) com *forward selection* e correção *False Discovery Rate* (p ajustado $\leq 0,05$). Latitude (UTM). Altitude (m). Teor de argila (%). Teor de magnésio (Mg) em $\text{cmol}_c\text{Kg}^{-1}$. Amostras classificadas por produtividade. Vermelho- baixa produtividade; verde- alta produtividade.....39

CAPÍTULO 2

- Figura 8- Localização dos municípios: Campo Erê; Chapecó e Faxinal dos Guedes.....53
- Figura 9- Dados de precipitação (mm), temperatura (°C) considerando o período de coleta e entre coletas (setembro de 2016 a fevereiro de 2018).....54
- Figura 10- Representação da grade amostral 3x3 e esquema de amostragem de solo em cada ponto.....55
- Figura 11: Análise de Redundância baseada em distância de Bray-Curtis com *forward selection* e correção *False Discovery Rate* (FDR). Precipitação acumulada no mês da coleta em milímetros. Altitude em metros. Tempo de implantação do Sistema Plantio Direto (SPD) em anos. Densidade em gramas por centímetro cúbico. Amostras classificadas por produtividade. Verde- alta produtividade; vermelho- baixa produtividade.....68
- Figura 12: Análise de Redundância baseada em distância de Bray-Curtis (db-RDA) com *forward selection* e correção FDR de Benjamini-Hochberg para a safra 2016/2017.

Classificação das amostras por produtividade. Verde- alta produtividade; vermelho- baixa produtividade.....69

Figura 13: Particionamento da variabilidade com efeito simples e dois grupos. Baseado em Análise de Correspondência Canônica (CCA) com *forward selection* e correção FDR. Densidade expressa em g.cm^3 . Magnésio e cálcio em cmolc.Kg^{-1} Longitude e latitude em UTM. Matéria Orgânica em porcentagem. Altitude em metros.....71

Figura 14: Análise de Redundância baseada em distância de Bray-Curtis (db-RDA) com *forward selection* e correção FDR de Benjamini-Hochberg para a safra 2017/2018. Classificação das amostras por produtividade. Verde- alta produtividade; vermelho- baixa produtividade.....73

Figura 15: Particionamento da variabilidade com efeito simples e dois grupos. Baseado em Análise de Correspondência Canônica (CCA) com *forward selection* e correção FDR. Carbono e nitrogênio expressos em porcentagem. Longitude e latitude em UTM. Precipitação acumulada no mês da coleta expressa em milímetros. Ácidos húmicos e fúlvicos expressos em gramas de carbono por quilo de solo. Potencial de inóculo micorrízico em porcentagem. Altitude em metros.....74

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1- Dados de abundância, riqueza e índices de diversidade de ácaros. Média dos pontos separados em alta produtividade (SPDA) e baixa produtividade (SPDB).....34

Tabela 2: Resultados da *forward selection* da Análise de Redundância baseada na distância de Bray-Curtis (db-RDA). A tabela mostra as variáveis significativas a 5% (p ajustado $\leq 0,05$ com correção FDR) e os percentuais de contribuição para a distribuição dos grupos de ácaros ao longo dos pontos.....37

Tabela 3: Variação e testes de significância dos grupos avaliados no Particionamento da variabilidade da Análise de redundância (pRDA) com *forward selection* e correção *False Discovery Rate* (p ajustado $\leq 0,05$).....40

CAPÍTULO 2

Tabela 4: Traits utilizados para calcular o valor parcial do índice eco-morfológico de colêmbolos.....56

Tabela 5: Traits de Colêmbolos, categorias de morfotipos e categorias coletadas.....58

Tabela 6: Dados de abundância, riqueza e índices de diversidade de morfotipos de colêmbolos. Média dos pontos separados em alta produtividade (SPDA) e baixa produtividade (SPDB) e por ano agrícola.....68

Tabela 7: Resultados da *forward selection* da db-RDA. Valores de p ajustados com correção FDR. Precipitação no ciclo da soja em milímetros. Tempo de implantação do Sistema Plantio Direto em anos. Altitude em metros. Latitude em Universal Transecta de Mercator (UTM). Significância a 5% (p adj $\leq 0,05$).....70

Tabela 8: Resultado da variação explicada pelo particionamento da variabilidade com dois grupos e efeito simples.....71

Tabela 9: Resultados da *forward selection* da db-RDA. Valores de p ajustados com correção FDR. Latitude em UTM. Temperatura média no ciclo da soja em graus Celsius. Significância a 5% (p adj $\leq 0,05$).....73

Tabela 10: Resultado da variação explicada pelo particionamento da variabilidade com dois grupos e efeito simples.....75

LISTA DE ABREVIACÕES

SPD: Sistema de Plantio Direto
ton.ha⁻¹: toneladas por hectare
mm: milímetros
C: carbono
N: nitrogênio
K: potássio
Ca: cálcio
Mg: magnésio
cm: centímetro
μm: micrômetro
μg: micrograma
g: grama
mL: mililitro
HCl: ácido clorídrico
FMA: fungos micorrízicos arbusculares
pH: potencial hidrogeniônico
nm: nanômetro
NaOH: hidróxido de sódio
nMDS: *non-Metrical dimensional scaling*
db-RDA: *distance-based redundance analysis*
p-RDA: *partitioning redundance analysis*
CCA: *correspondence canonical analysis*
FDR: *false discovery rate*
cmol_c.Kg⁻¹: centimol de carga por quilo
UTM: *universal transector mercator*
pNP: para- nitrofenol fosfato
KPa: quilo Pascal
Kg.ha⁻¹: quilo por hectare

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
1.2 HIPÓTESES.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
2CAPÍTULO I: RELAÇÕES ENTRE A COMUNIDADE DE COLÊMBOLOS (COLLEMBOLA) E A PRODUTIVIDADE DA SOJA (<i>Glycine max</i> L.) EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO OESTE CATARINENSE	
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	22
2.1 INTRODUÇÃO.....	23
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.3 RESULTADOS.....	34
2.4 DISCUSSÃO.....	41
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
3 CAPÍTULO II: COMUNIDADE DE ÁCAROS (ACARI) EM DIFERENTES NÍVEIS DE PRODUTIVIDADES DA SOJA (<i>Glycine max</i> L.) SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO OESTE DE SANTA CATARINA	
RESUMO.....	49
ABSTRACT.....	50
3.1 INTRODUÇÃO.....	51
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
3.4 RESULTADOS.....	66
3.5 DISCUSSÃO.....	74
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
4 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	82

1 INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um sistema trifásico, complexo e dinâmico, cuja funcionalidade é assegurada pelos atributos físicos, químicos, biológicos e suas relações. Dentre as muitas funções que este sistema desempenha, destaca-se a provisão de habitat para organismos diversos, componente essencial na manutenção da qualidade e da saúde do solo (BRIONES, 2018).

O aumento das áreas agricultáveis em todo o mundo gerou preocupação pela manutenção da qualidade e, conseqüentemente, da saúde do solo, com o intuito de mantê-lo produtivo (GARNETT et al., 2013). Assim, desenvolveram-se métodos conservacionistas de preparo do solo, visando não somente evitar as perdas de solo pelos processos erosivos, como também a reposição de nutrientes retirados durante as colheitas das lavouras de interesse econômico.

Em resposta a essa necessidade, foi desenvolvido o Sistema de Plantio Direto (SPD), que consiste em um conjunto de práticas conservacionistas baseado no revolvimento mínimo do solo, rotação de culturas, bem como cobertura permanente (palhada e cobertura verde). O plantio das sementes ou mudas é feito em linha, onde há o revolvimento para incorporação de corretivos e adubos (CASÃO Jr. et al., 2012). No Brasil, o SPD é amplamente utilizado, abrangendo quase 33 milhões de hectares, sendo um milhão somente no estado de Santa Catarina, e mais da metade desta área destinados ao cultivo de soja, com produção média de 3.400 Kg.ha⁻¹ (IBGE, 2018).

Estudos comparativos de sistemas de uso do solo frequentemente apontam melhores condições dos atributos físicos, químicos e biológicos em solos sob SPD, com destaque para a fauna edáfica (ROSA et al., 2015; MACHADO et al., 2019; POMPEO et al., 2017). A cobertura do solo inerente ao SPD, por exemplo, confere um ambiente favorável à fauna edáfica, garantindo a provisão de alimento e abrigo (ZAGATTO, 2018). Em agroecossistemas, ao contrário de ambientes naturais, as comunidades edáficas estão sujeitas aos efeitos do manejo do solo, sendo modeladas por ele. Assim, o manejo pode tanto beneficiar os organismos quanto causar perda de diversidade e, conseqüentemente, a perda de serviços ecossistêmicos (LANDIS, 2017).

Componente da biota do solo, a fauna edáfica consiste em todos os organismos que vivem ao menos um ciclo completo de suas vidas no solo. Está dividida didaticamente em classes de tamanho: macrofauna- organismos com mais de 2 mm de comprimento; mesofauna- organismos entre 0,2 mm e 2 mm e microfauna- indivíduos menores que 0,2 mm (SWIFT et

al., 1979). À macrofauna pertencem as minhocas, formigas, cupins, besouros, tatuzinhos de jardim, aranhas e larvas e imaturos destes grupos. Na microfauna encontram-se os rotíferos e protozoários, enquanto à microbiota pertencem as algas, fungos, bactérias e actinomicetos. A mesofauna, objeto deste estudo, é composta por enquitreídeos, ácaros e colêmbolos, sendo os dois últimos denominados microartrópodes.

A mesofauna edáfica pode ser relacionada a sete dos oito serviços ecossistêmicos providos pelo solo (LILBURNE et al., 2020): 1) habitat para biodiversidade; 2) sequestro de carbono; 3) filtração e tamponamento; 4) regulação microclimática; 5) provisão de alimento; 6) regulação hídrica e 7) estoque de água. Em ecossistemas naturais, a mesofauna contribui em aproximadamente 5% nos processos de decomposição, podendo chegar a mais de 25% (SEASTEDT, 1984).

Embora a mesofauna edáfica tenha atestada a sua importância para a manutenção do funcionamento do solo, os estudos sobre o tema ainda não atingiram sua capacidade de investigação da biodiversidade abaixo do solo (SYLVAIN e WALL, 2011). Comparativamente, a diversidade abaixo do solo desperta menos atenção nos pesquisadores do que plantas superiores e vertebrados. Estima-se que mais de 76% da biota total do solo é desconhecida, com taxas ainda maiores para os organismos de menor tamanho e atribui-se essa lacuna à falta de taxonomistas especializados (BEDANO e DOMÍNGUEZ, 2016).

Nesse sentido, a abordagem de *traits* contribui para que a lacuna seja preenchida, trazendo informações não só sobre a diversidade das comunidades, mas também e, talvez mais importante, a diversidade funcional dos grupos (LAVOREL e GARNIER, 2002; MCGILL et al., 2006). A abordagem de *traits* consiste na categorização dos organismos conforme características ecológicas adaptativas e ou funcionais. Pode-se inferir com isso sobre nicho alimentar, distribuição e dispersão no espaço, modo de reprodução, entre outros (PEY et al., 2014).

Existem na literatura diversos estudos que investigam o uso de microartrópodes edáficos como bioindicadores em diferentes sistemas de uso do solo. Esse interesse deve-se principalmente à capacidade de resposta às alterações que esses organismos apresentam. Battigelli et al. (2004) estudaram o efeito da remoção da matéria orgânica e da compactação dos solos de floresta sobre a comunidade de ácaros oribatídeos, mostrando que a abundância desse grupo aumentou, enquanto sua riqueza foi reduzida.

Em estudo conduzido na Argentina bioma, foram encontradas diferenças nas comunidades de ácaros sob diversos níveis de degradação de solo. Os autores ressaltaram o potencial da relação ácaros predadores/ácaros decompositores como indicadora de alterações do solo oriundas de manejo (BEDANO et al., 2011) mais referências. Dentro do contexto de agroecossistemas, muitos autores vão além do interesse pela estrutura da comunidade em si, buscando compreender em que processos a fauna edáfica contribui e se a contribuição desses organismos à produtividade vegetal pode ser quantificada e elucidada. Embora estudos sobre a diversidade da mesofauna edáfica em agroecossistemas sejam frequentes (DE GROOT et al., 2016; BEDANO e DOMÍNGUEZ, 2016; LANDIS, 2017; ZHENG et al., 2019) as relações entre essas comunidades e a produtividade vegetal ainda não são claras.

Na Alemanha bioma, pesquisadores comprovaram a relação entre a comunidade de colêmbolos e a nutrição de carvalhos, onde esses organismos atuaram mediando a transferência de C e N para as plantas. Também foram encontrados efeitos da influência sobre a morfologia vegetal, através do aumento tanto do crescimento da planta quanto do desenvolvimento secundário (GRAF et al., 2019).

Jernigan et al. (2020) investigaram a mesofauna como indicadora da saúde do solo em diferentes sistemas orgânicos de produção de grãos, em experimento conduzido no oeste dos Estados Unidos da América. Os autores estabeleceram um modelo das relações entre o conjunto de dados, encontrando relação entre grupos da mesofauna e o rendimento de grãos. Entretanto, os autores recomendam cautela na interpretação dos resultados, afirmando que não há ainda uma medida direta para essa relação, embora os resultados apontem neste sentido. Em um estudo de revisão, pesquisadores afirmam que o aumento da biodiversidade do solo faz com que a presença de grupos mutualísticos aumente, o que gera maior disponibilidade de água e nutrientes, refletindo no aumento da biomassa vegetal acima do solo (YANG et al., 2018).

A relação entre a comunidade de microartrópodes e a vegetação acima do solo é bilateral. De um lado, a comunidade atua na produtividade de plantas, aumentando a disponibilidade de nutrientes e reduzindo a herbivoria. Do outro lado, o grupo sofre influência da vegetação, principalmente através da ação das raízes, que modelam a microbiota e, conseqüentemente, a mesofauna, pela liberação de exsudatos e modificação estrutural e química do solo adjacente (FERREIRA et a., 2018; BRIONES, 2018).

Considerando a relevância do SPD, a representatividade do cultivo de soja no Brasil e no mundo, e a importância dos microartrópodes na provisão de serviços ecossistêmicos, é de suma importância compreender as relações entre essa comunidade e a produtividade da soja em SPD.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Estudar relações entre a comunidade de ácaros e colêmbolos e os níveis de produtividade da soja e verificar como estes grupos de microartrópodes são influenciados por fatores abióticos no sistema de plantio direto.

1.1.2 Específicos

- Avaliar a abundância e distribuição das comunidades de ácaros e colêmbolos em diferentes níveis de produtividade da soja em SPD;
- Verificar se existe associação entre microartrópodes e as variáveis microbiológicas, químicas e físicas estudadas neste sistema.

1.2 HIPÓTESES

- Mudanças na abundância, composição e estrutura das comunidades de ácaros e colêmbolos do solo (mesofauna) estão relacionadas com a produtividade da soja.
- Atributos microbiológicos, químicos, e físicos do solo afetam ácaros e colêmbolos, modificando a estrutura e distribuição das comunidades, que refletirá na produtividade da soja no plantio direto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATTIGELLI, J.P. et al. Short-term impact of forest soil compaction and organic matter removal on soil mesofauna density and Oribatid mite diversity. **Canadian Journal of Forest Research**. v.34, p.1136-1149, 2004.

BEDANO, J.C., DOMÍNGUEZ, A. Large-scale agricultural management and soil meso- and macrofauna conservation in the Argentine Pampas. **Sustainability**. v.8, 2016.

BEDANO, J.C., DOMÍNGUEZ, A., AROLFO, R. Assessment of soil biological degradation using mesofauna. **Soil and Tillage Research**. v.117, p.55-60, 2011.

BRIONES, M.J.I. The serendipitous value of soil fauna in ecosystem functioning: the unexplained explained. **Frontiers in Environmental Science**.v.6, 2018.

CASÃO JUNIOR, R. et al. Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista / Ruy Casão Junior, Augusto Guilherme de Araújo, Rafael Fuentes Llanillo. – Londrina: IAPAR, 2012. 77 p. : il.

CULLINEY, T.W. Review role of arthropods in maintain soil fertility. **Agriculture**. v.3, p.629-659, 2013.

DE GROOT, G.A. et al. Biomass and Diversity of Soil Mite Functional Groups Respond to Extensification of Land Management, Potentially Affecting Soil Ecosystem Services. **Front. Environ. Sci**. v.4:15, 2016.

FERREIRA, A.S. et al. Effects of habitat heterogeneity on epiedaphic Collembola (Arthropoda: Hexapoda) in a semiarid ecosystem in Northeast Brazil. **Zoologia**. v.35, 2018.

GARNETT, T. et al. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. **Science**. v.341, p.33-34, 2013.

GRAF, M. et al. Collembola Interact with mycorrhizal fungi in modifying oak morphology, C and N incorporation and transcriptomics. **Royal Society Open Science**. v. 6, 2019.

IBGE. 2018. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/pesquisa/14/10193?tipo=ranking&indicador=10368>. Acesso em: 21 de janeiro de 2020.

JERNIGAN, A.B. et al. Legacy effects of contrasting organic grain cropping systems on soil health indicators, soil invertebrates, weeds and crop yield. **Agricultural Systems**. v.117, 2020.

LANDIS, D.A. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. **Basic and Applied Ecology**. v.18, p.1-12, 2017.

LAVOREL, S., & GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology**. v. 16, p. 545–556, 2002.

LILBURNE, B. et al. The Land Resource Circle: supporting land-use decision making with an ecosystem-service-based framework of soil functions. **Geoderma**. v.363, 2020.

MACHADO, J.S., OLIVEIRA FILHO, L.C.L., SANTOS, J.C.P., PAULINO, A.T., BARETTA, D. **Biota neotropica**. v.19, 2019.

McGILL, B. J. et al. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology and Evolution**, v.21, p.178–185, 2006.

PEY, B. et al. Current use of and future needs for soil invertebrate functional traits in community ecology. **Basic and Applied Ecology**. v.15, p.194-206, 2014.

POMPEO, P.N. et al. Morphological diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.41, 2017.

ROGER-ESTRADE, J. et al. Tillage and soil ecology: partners for sustainable agriculture. **Soil and Tillage Research**. v.111, p. 33-40, 2010.

ROSA, M.G. et al. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Sol**. v.39, 2015.

SEASTEDT, T.R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. **Annual Review of Entomology**.v.29, 1984.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M., eds. The decomposer organisms. In: *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Berkeley, University of California Press, 1979. p. 66-117.

SYLVAIN, Z.A., WALL, D.H. Linking soil biodiversity and vegetation: implications for a changing planet. **American Journal of botany**. v.98, 2011.

YANG, G. et al. How Soil Biota Drive Ecosystem Stability. **Trends in Plant Science**. v.23, 2018.

ZHENG, C. et al. Effect of coupled reduced irrigation and nitrogen fertilizer on soil mite community composition in a wheat field. **Ecology and Evolution**. v.9, 2019.

CAPÍTULO 1: COMUNIDADE DE ÁCAROS (ACARI) EM DIFERENTES NÍVEIS DE PRODUTIVIDADES DA SOJA (*Glycine max* L.) SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO OESTE DE SANTA CATARINA.

RESUMO

Ácaros do solo apresentam caráter ubíquo e grandes densidades populacionais. Apesar do tamanho corporal reduzido, esse grupo é extremamente importante na provisão de serviços ecossistêmicos, como a decomposição da matéria orgânica, controle de populações microbianas e de outros componentes da micro e mesofauna, contribuindo para a produtividade acima do solo, através da mineralização da matéria orgânica e do controle de fitopatógenos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a diversidade da comunidade de ácaros do solo e suas relações com a produtividade da soja sob Sistema de Plantio Direto no Oeste do Estado de Santa Catarina. Foram amostrados três municípios do Oeste Catarinense, sendo três lavouras em cada município, com produtividades altas e baixas, determinadas em cada ponto amostral. Concomitantemente, foram avaliados atributos físicos, químicos e microbiológicos, utilizados como variáveis explicativas. A análise de redundância baseada em distância de Bray-Curtis mostrou que não houve relação entre a distribuição dos grupos de ácaros e a produtividade da soja, o que refuta a hipótese do trabalho. A variabilidade dos dados foi explicada em 9,82% pelas variáveis ambientais, indicando que a distribuição dos grupos pode estar menos relacionada ao meio do que a processos ecológicos, como dispersão e co-ocorrência. As variáveis que modelaram a comunidade de ácaros foram os teores de magnésio e argila e a temperatura média no ciclo da soja. As análises de correlação mostraram que estes fatores influenciaram diferentemente cada um dos grupos identificados. A temperatura média no ciclo correlacionou-se positivamente com os grupos Prostigmata e Oribatida, enquanto o teor de magnésio influenciou positivamente Mesostigmata e negativamente Oribatida. O teor de argila correlacionou-se negativamente com a abundância de Oribatida. Para estudos posteriores, recomenda-se a avaliação de outros atributos da produtividade da soja, como biomassa aérea e radicular. Além disso, a investigação de quais fatores ecológicos mais influenciam a comunidade de ácaros sob SPD pode fornecer informações valiosas sobre a dinâmica do grupo em sistema agrícola.

Palavras-chave: ácaros, agroecossistema, produtividade da soja, sistema de plantio direto.

ABSTRACT

Soil mites present ubiquitous character and large population densities. Despite reduced body size, this group is extremely important in ecosystems services provision, like organic matter decomposition, microbial population and others components of micro and mesofauna's control. These processes can contribute to aboveground productivity, through organic matter mineralization and phytopathogens control. Thus, this study aimed to evaluate soil mite community diversity and its relationship with soybean productivity under no-till system (NTS) in Santa Catarina's West. Three counties of Santa Catarina's West were sampled, three crops by county, with distinct productivities, determined by sampling point. Concomitantly, physical, chemical and microbiological attributes were evaluated, like explanatory variables. The distance based redundancy analysis shown no relationship between mites distribution and soybean productivity, what denies the work hypothesis. The date variability was 9,82% explained by environmental variables, indicating that groups distribution is less related to environment than to ecological processes, like dispersion and co-occurrence. The variables that modelled mite community were magnesium and clay contents and average temperature in soybean cycle. The average temperature was positively correlated to Prostigmata and Oribatida, while magnesium positively influenced Mesostigmata and negatively Oribatida. The clay content positively influenced Oribatida abundance. For later studies, we advise the evaluation of other attributes of soybean productivity, like aerial and root biomass. Besides that, the investigation of which ecological factors influence mite community in NTS can provide valuable information about group's dynamic in agricultural system.

Keywords: agroecosystem, mites, no-till system, soybean productivity.

2.1 INTRODUÇÃO

Os ácaros do solo compõem um importante grupo da fauna edáfica. Apresentam caráter ubíquo e grandes densidades populacionais, o que confere volume às suas contribuições nos serviços ecossistêmicos. O grupo é responsável por desempenhar papéis importantes na degradação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, tanto direta quanto indiretamente, seja pela ingestão do material em decomposição, seja pelo consumo de bactérias e fungos e mesmo pela predação de outros integrantes da mesofauna do solo (CULLINEY, 2013).

Embora possuam tamanho reduzido, componentes da mesofauna como ácaros oribatídeos podem estar relacionados à construção de microtúneis, contribuindo para a agregação do solo através da deposição de pelotas fecais e aumento da disponibilidade de nutrientes como Mg, Ca e K (CULLINEY, 2013). Esses microartrópodes também promovem a bioturbação, movimentando e redistribuindo a matéria orgânica e incorporando a serapilheira no interior do solo (DE GROOT et al., 2016).

Ácaros podem ainda atuar no controle de pragas no solo, pela ingestão de fitopatógenos bacterianos, fúngicos e nematoides. Apesar das funções relevantes que o grupo como um todo desempenha, o foco de muitos estudos sobre ácaros recai sobre *taxa* que atuam como pragas para determinadas culturas (DAUGHERTY, 2011; REZENDE et al., 2012).

No que se refere à diversidade de ácaros e sua importância para o solo, três abordagens têm se destacado: diversidade em sistemas de uso do solo (DE GROOT et al., 2016, N'DRI et al., 2017), grupo de relevância em testes ecotoxicológicos e de poluição (FAJANA et al., 2019; MANU et al., 2019), e relações de grupos praga interferindo na produtividade vegetal.

Diversos estudos apontam que o Sistema de Plantio Direto (SPD) promove melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (ROSA et al., 2015; POMPEO et al., 2017; MACHADO et al., 2019), conseqüentemente, oferecendo à fauna do solo um ambiente mais rico em fontes de alimento e abrigo. No Brasil, este sistema de uso do solo está estabelecido em 33 milhões de hectares, sendo quase um milhão no Estado de Santa Catarina, com mais da metade destas áreas destinada ao cultivo de soja (*Glycine max* L.) (IBGE, 2018).

Embora existam estudos sobre microartrópodes em sistemas agrícolas, há uma lacuna no que tange à contribuição dos ácaros à provisão de serviços ecossistêmicos que reflitam em benefícios à cobertura vegetal acima do solo, o que se aplica também à soja e sua produção

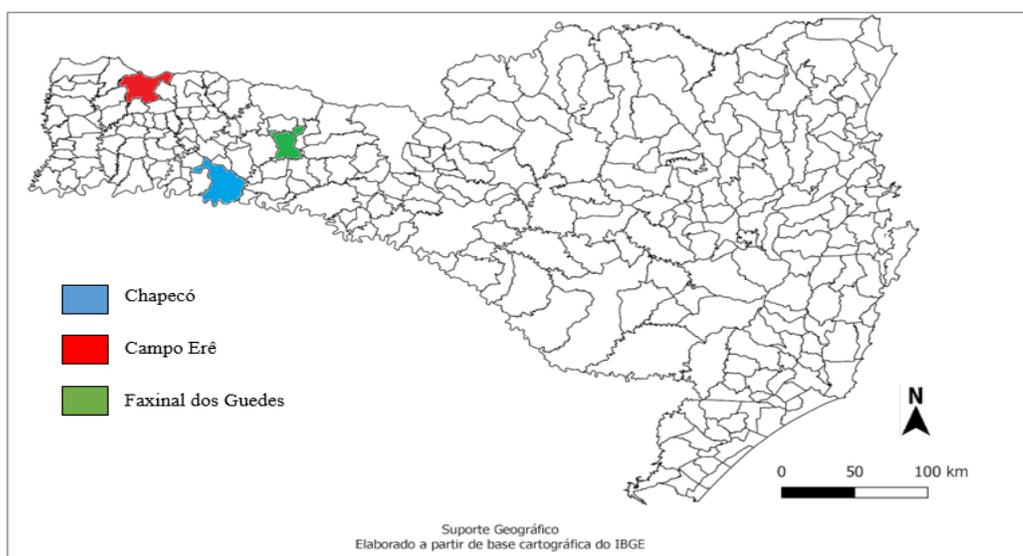
de grãos. Assim, a hipótese central do presente estudo é a de que a diversidade e estrutura das comunidades de ácaros do solo podem afetar a resposta produtiva da soja no sistema de plantio direto. O objetivo do trabalho, portanto, foi avaliar a comunidade de ácaros do solo e suas relações com a produtividade de soja sob Sistema de Plantio Direto no Oeste do Estado de Santa Catarina.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de coleta e amostragem

Foram amostradas lavouras com plantio de soja (*Glycine max* L.) em três municípios no Oeste do Estado de Santa Catarina (Figura 1), sob Sistema de Plantio Direto (SPD) consolidado: Campo Erê (26°23'42"S 53°5'33"O; altitude 929 metros), Chapecó (27°5'48"S 52°37'7"O; 674 metros) e Faxinal dos Guedes (26°51'21"S 52°15'23"O; 970 metros). (Figura 1).

Figura 1- Localização dos municípios amostrados: Campo Erê; Chapecó e Faxinal dos Guedes.



Fonte: Adaptado pela autora a partir da base cartográfica do IBGE, 2020.

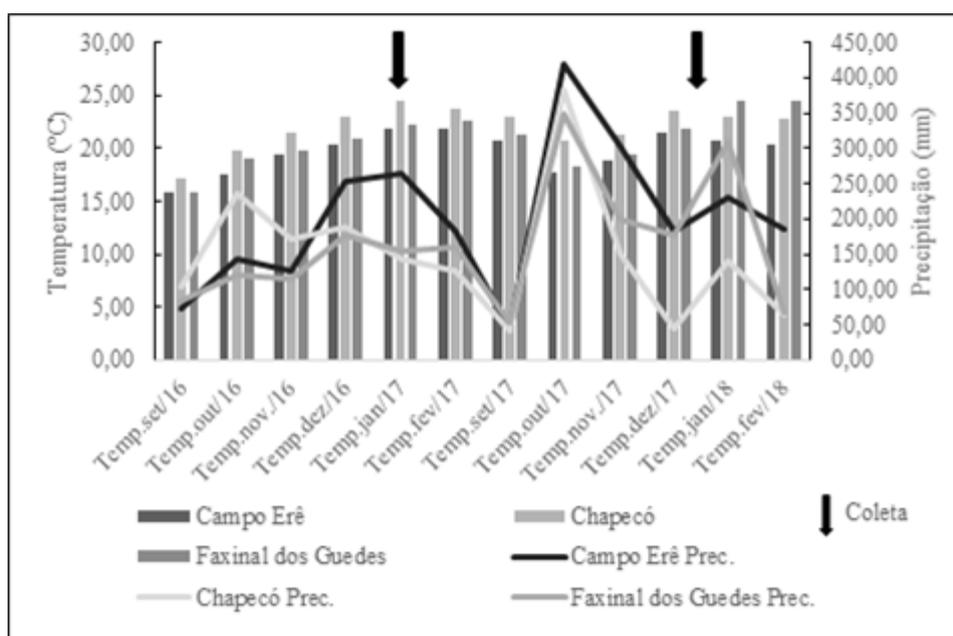
As áreas de coleta foram escolhidas de acordo com seu histórico de manejo levantado junto aos produtores da região, e apresentavam manejo similar. A maioria segue as premissas básicas do sistema, como o movimentação mínima do solo, cobertura permanente com palhada ou cobertura verde, e rotação de culturas (CASÃO Jr., 2012).

Os municípios amostrados encontram-se sob dois tipos climáticos distintos: *Cfa* (Chapecó) e *Cfb* (Campo Erê e Faxinal dos Guedes), segundo Köppen (ALVARES et al., 2013). O município de Chapecó apresenta altitude média inferior a 700m, verões quentes, com temperaturas médias superiores a 22°C e precipitação entre 1900 e 2200 mm.ano-1. Faxinal dos Guedes e Campo Erê,

por sua vez, têm altitude média superior a 700 m, verões amenos, com temperaturas médias inferiores a 22°C e chuvas bem distribuídas ao longo do ano (ALVARES et al., 2013).

Para o presente estudo, foram considerados os valores de precipitação média acumulada durante o cultivo de soja, de setembro a fevereiro em cada safra, e do período das coletas (precipitação média acumulada mensal). Para temperatura, foram consideradas as médias pelos meses de cultivo e média mensal do período das coletas (Figura 2). As informações sobre temperaturas médias e precipitação foram obtidas a partir de dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) Chapecó, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agritempo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

Figura 2- Dados de precipitação (mm), temperatura (°C) considerando o período de coleta e entre coletas (setembro de 2016 a fevereiro de 2018).



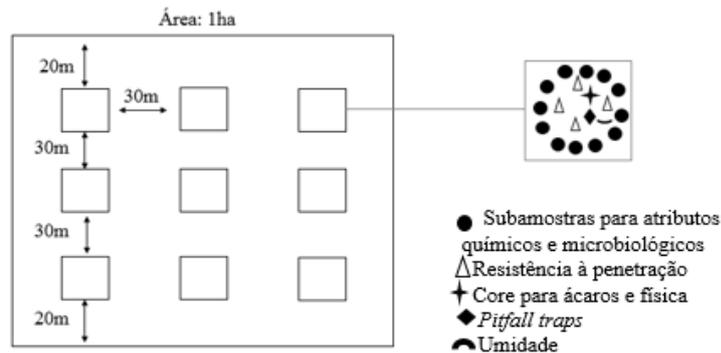
Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Grade amostral e determinação da produtividade

Foram realizadas duas coletas nas áreas selecionadas, durante o verão, nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018, durante o estágio de florescimento da soja (R1). Foram amostrados nove pontos distribuídos em uma grade amostral de um hectare (Figura 3), totalizando três grades por município. Os pontos foram posicionados a 30m equidistantes, com 20m de bordadura. Em cada ponto foram extraídas doze subamostras compondo uma

amostra da camada de 0 a 10 cm do solo, para análises químicas e microbiológicas. Para a avaliação de atributos microbiológicos, as amostras foram acondicionadas em gelo e mantidas a 4°C até o processamento.

Figura 3- Representação da grade amostral 3x3 e esquema de amostragem de solo em cada ponto.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Finalizado o desenvolvimento da soja, foram coletadas todas as plantas em um metro quadrado, próximo aos pontos demarcados, para calcular a produtividade. As amostras foram transportadas para o Laboratório de Ecologia do Solo, CAV/UEDESC, onde os grãos foram separados das plantas e secos em estufa com circulação de ar a 65°C até massa constante, a produtividade foi então estimada em Kg ha⁻¹. Para estabelecer os níveis produtivos, foram calculadas a produtividade média, a amplitude e o limiar (*threshold*), separando todos os pontos coletados em dois conjuntos: pontos de baixa produtividade (SPDB) e alta produtividade (SPDA). Os valores de referência na determinação dos níveis SPDB e SPDA não refletiram a produção média dos municípios ou Estado, sendo utilizados unicamente com o propósito comparativo para o estudo.

Avaliação da comunidade de ácaros

As coletas de ácaros foram realizadas em nove pontos amostrais por área, com uso de duas técnicas de amostragem: *cores* e *pitfall traps*. Para a coleta de *cores*, foram utilizados oito anéis cilíndricos de 5 cm de profundidade e 6cm de diâmetro (ISO 23611-2, 2006), não sendo coletado o ponto central da grade amostral. Após a coleta, os cilindros foram transportados ao Laboratório de Solos da Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ), Chapecó, SC. As amostras foram acondicionadas em funis de Berlese-

Tullgren, para extração por calor, durante 5 dias. Os organismos coletados foram acondicionados em álcool absoluto até a identificação.

Foram também instaladas armadilhas do tipo *pitfall traps* no solo, em nove pontos da grade amostral. Essas armadilhas consistem em frascos de aproximadamente 500 mL, contendo 200 mL de solução detergente (0,5% v/v). Os frascos foram colocados em buracos com a abertura ao nível do solo, onde permaneceram por 72 horas (BARETTA et al., 2003). Após este período, as amostras foram transportadas ao Laboratório de Solos da UNOCHAPECÓ, onde foram lavadas e acondicionadas em etanol. A identificação dos microartrópodes coletados foi realizada sob lupa no Laboratório de Ecologia do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), Lages, SC.

Os ácaros foram identificados até o nível de ordem (Oribatida, Mesostigmata) e subordem (Prostigmata), com o objetivo de determinar o nicho alimentar (predadores ou decompositores). Para tanto, foram observados padrões de estruturas como tamanho e posição da carapaça, desenvolvimento das patas e posição e desenvolvimento do gnatossoma (HOY, 2011).

Foram considerados predominantemente predadores os indivíduos com quelíceras e patas bem desenvolvidas, bem como caparaças com placas reduzidas (Prostigmata e Mesostigmata). O grupo dos Oribatida foi considerado como sendo de hábito predominantemente decompositor, apresentando carapaças mais esclerotizadas, gnatossoma menos desenvolvido e palpos sem garras (HOY, 2011).

Avaliação de atributos microbiológicos

Comprimento de hifa

A determinação do comprimento de hifa foi feita pela extração do micélio, através da suspensão e peneiramento das amostras de solo (MELLONI, 1996). Para tanto, foram pesados 10 g de solo de cada amostra, sendo suspensos em 500 ml de água, e filtrando o sobrenadante em peneiras sobrepostas, com malhas de 1 e 0,25 mm, respectivamente. O processo repetido três vezes para cada amostra. O material retido na peneira de 0,25 mm foi suspenso em água e agitado em liquidificador, sendo submetido a agitação por 30 segundos, com repouso de 2 minutos. Após o período de repouso, o sobrenadante foi filtrado em peneira de 0,053 mm e o

material retido foi filtrado à vácuo em membrana quadriculada de nitrato de celulose (diâmetro de 47 mm e porosidade 0,45 µm, marca Sartorius Stedim Biotech).

Após a secagem das membranas, estas foram colocadas sobre uma lâmina de vidro contendo uma gota de óleo de amêndoas, para visualização em microscópio (Estereomicroscópio Imunofluorescência, Karl Zeiss – binocular). Em cada membrana foram observados 64 campos (8x8 quadrículos de 1mm), determinando-se o número de intersecções de hifas com as linhas horizontais da grade ocular acoplada ao microscópio (20 x20 quadrículos- aumento de 162,5 vezes).

O comprimento do micélio extrarradicular total, expresso em centímetros de hifa por grama de solo seco, foi obtido pela seguinte relação:

$$C = \left[\frac{(0,0347 \times N)}{(10-U)} \right] \times 100$$

onde:

C = comprimento de micélio extrarradicular total, em centímetros de hifa por grama de solo seco;

N = soma do número de intersecções entre as hifas e linhas horizontais da grade;

U = umidade da amostra de solo, expressa em gramas de água.

Potencial de Inóculo Micorrízico

O solo coletado na camada de 0 a 10 cm foi misturado na proporção 1:1 (v.v-1) com areia esterilizada em autoclave à temperatura de 121°C por 1 hora, em dois ciclos. No substrato preparado, foram semeadas seis sementes de *Brachiaria decumbens*, não tratadas, com a superfície desinfestada superficialmente com solução de hipoclorito de sódio a 0,5% e lavadas com água esterilizada. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação, após a semeadura, por um período de 30 dias. Ao final deste período, as plantas foram desbastadas e as raízes coradas, conforme proposto por Koske e Gemma (1989).

As raízes foram submersas em solução de hidróxido de potássio (KOH) 10% e mantidas em banho-maria a 90°C por 60 minutos. Em seguida, foram lavadas com água corrente e imersas em solução de ácido clorídrico (HCl) 1% por uma noite. Retirado o excesso

de HCl, foi adicionada solução corante azul de tripan, onde as amostras ficaram em banho-maria por 60 minutos novamente. Finalizado o processo, foi retirado o excesso de corante e as raízes permaneceram imersas em água destilada, até a montagem das lâminas. Para a determinação da taxa de colonização micorrízica foi utilizada a metodologia proposta por McGonigle et al. (1990). Foi montada uma lâmina por amostra, contendo dez segmentos de raiz de aproximadamente um centímetro de comprimento. Em cada lâmina observaram-se 200 pontos, avaliados quanto à presença de colonização por FMA (Fungos Micorrízicos Arbusculares) (hifas, vesículas, arbúsculos e esporos). A taxa de colonização foi expressa em porcentagem, obtida pela relação entre fragmentos infectados e o total de fragmentos da leitura.

Atividade enzimática

Foram avaliadas enzimas envolvidas nos ciclos do carbono e fósforo, com o intuito de prover informações sobre a atividade microbiana, bem como uma medida indireta da biomassa microbiana do solo.

Atividade da celulase

A atividade da enzima Celulase foi avaliada através do método adaptado pelo proposto por Deng e Tabatabai (1994), com a incubação de 2 gramas de solo em duplicata mais um controle, contendo o substrato glicose provida pela solução de carboximetil celulose. A incubação foi feita a 50°C, por 24 horas e pH 5,5. Neste processo, a redução dos açúcares causa a redução do hexacianoferrato de potássio que reage com o sulfato de amônio férrico para formar o complexo azul da Prússia, determinado colorimetricamente em leitor de microplaca. A concentração do substrato foi calculada através da fórmula:

$$\mu\text{g GE/ g-1dm /24 h-1} = \frac{[(S-C) \times V \times D \times 100]}{(W \times \text{dm}\%)}$$

onde:

S: leitura média das amostras

C: leitura do controle

V: volume de incubação

D: fator de diluição

W: peso inicial do solo

dm% porcentagem de matéria seca do solo

Atividade da Fosfatase Ácida

A avaliação da atividade enzimática foi obtida através da metodologia proposta por Tabatabai (1994), que consiste na incubação do solo com o substrato enzimático p-nitrofenil fosfato por 2 horas, a 35°C. A concentração do p-nitrofenol produzido foi determinada colorimetricamente em leitor de microplaca a 405nm (modelo ELX-800, marca Biotek), no Laboratório de Biologia Molecular, CAV-UDESC, Lages, SC. Os valores foram obtidos através da fórmula:

$$\mu\text{g pNP/ g-1. dm} / \text{h-1} = \frac{[(S-C) \times D \times 100]}{(2 \times \text{dm}\%)}$$

onde:

S: leitura média das amostras

C: leitura média dos controles

D: fator de diluição

dm% porcentagem de matéria seca do solo

Avaliação da matéria orgânica e carbono

Fracionamento químico da matéria orgânica

Foi realizada a extração e o fracionamento químico da matéria orgânica segundo o método proposto por Benites et al. (2003) que consiste extração com base na solubilidade das diferentes frações em diferentes valores de pH. Foram obtidas as frações huminas (H), ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF). Para tanto, as amostras de solo foram tratadas com NaOH (hidróxido de sódio) 0,1 mol L⁻¹, agitadas manualmente e deixadas em repouso por 24 h. Após esta etapa, foram centrifugadas a 5.000 x g por 30 minutos, repetindo o procedimento duas vezes. O pH do extrato alcalino foi ajustado para 1,0, pela adição de H₂SO₄, deixando decantar por 18 horas. O material acidificado foi filtrado e seu volume ajustado para 50 ml com água destilada (fração de ácidos fúlvicos). Sobre o precipitado, foram adicionados NaOH 0,1 mol. L⁻¹ até a lavagem completa do filtro, ajustando o volume para 50 ml com água destilada (fração de ácidos húmicos). O material restante nos tubos foi considerado como a fração de huminas. A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos foi feita através do Analisador TOC-Modo líquido (Multi-C / N 2100, Analytik Jena) no Laboratório de Equipamentos, CAV-UDESC, Lages, SC. A

quantificação de carbono da fração humina foi obtida através da oxidação do C com dicromato de potássio e titulação do excesso, com sulfato ferroso amoniacal de acordo com Yeomans & Bremner (1988).

Carbono particulado

Para quantificação do carbono particulado do solo, foram pesados aproximadamente 20 g de solo, diluídos em 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5g L^{-1}) e agitados por 15 horas em agitador horizontal. A porção em suspensão foi filtrada em uma peneira de 53 μm , sendo o material retido posteriormente seco em estufa a 50°C . Após a secagem, o solo foi moído em gral de porcelana e analisado em Analisador TOC, sendo o carbono total da amostra expresso em porcentagem (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992).

Análises químicas, físicas, climáticas e de manejo

Foram determinados os teores de potássio (K), fósforo (P), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e alumínio (Al), bem como a CTC (pH 7,0), soma de bases e percentuais de matéria orgânica (M.O.), no Laboratório da EPAGRI/Chapecó, seguindo o protocolo de rotina (Tedesco et al., 1995). Foram também determinados o carbono (C) e o nitrogênio (N) totais do solo, em analisador por combustão (TOC) (Multi-C / N 2100, Analytik Jena).

Na determinação dos atributos físicos, foram avaliadas a porosidade do solo (total, microporos, macroporos e bioporos), em mesa de tensão e a densidade do solo, determinada pelo método do anel volumétrico (Blake e Hartge, 1986). Em campo, foram avaliadas a resistência à penetração, com uso do Penetrolog (Falker) e a umidade, com o auxílio do Hidrofarm (Falker), na camada de 0 a 10 cm.

Foi realizado o levantamento do histórico climático e de manejo das lavouras. Os dados obtidos foram tabelados e às variáveis qualitativas foram atribuídos valores, de modo a permitir o uso desses fatores como variáveis explicativas nas análises multivariadas. Foram considerados o tempo de plantio direto (em anos) e determinada a classe de solo segundo o teor de argila (de 1 a 4), conforme Manual de adubação e calagem (SBCS, 2016). Também foram determinados valores para os dados de cobertura de inverno (gramíneas=1, leguminosas=2, crucíferas=3 e mix=4); aplicação de adubação orgânica (presente=1, ausente=

2); e dados de precipitação acumulada e temperatura média no ciclo da soja e no mês da coleta, bem como dados geográficos compostos por altitude, latitude e longitude.

Na ocasião das coletas, foi feita a avaliação da serapilheira em cada ponto, sendo determinada a quantidade, em quilos por metro quadrado e os percentuais de C e N, em Analisador TOC.

Análises estatísticas

Preliminarmente, os dados foram submetidos a testes de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade pelo teste de White. As variáveis físicas, químicas, microbiológicas e geográficas transformados pelo critério Box-Cox (BOX e COX, 1964), no programa Past 3 (HAMMER; HARPER, RYAN, 2001). Para testar a hipótese central do estudo, foram utilizadas a *Non-metric Multidimensional Scaling* (NMDS) e a Análise de Redundância (RDA), no programa CANOCO 5 (LEP'S e SMILAUER, 2005). Todas as análises de correlação do estudo foram executadas no programa Statistica 7. Para realização das estatísticas os dados de abundância foram transformados em frequência relativa.

Os dados de abundância relativa dos grupos da comunidade de ácaros foram utilizados como variáveis resposta enquanto os atributos químicos (K, Ca, Mg, P, matéria orgânica, pH, Al, saturação por bases, N e C totais do solo, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, humina e N e C da serapilheira); físicos (carbono particulado, densidade, porosidade total, microporos, macroporos, bioporos, resistência à penetração, umidade, teor de argila e classe de solo segundo teor de argila); microbiológicos (atividade da celulase, atividade da fosfatase ácida, potencial de inóculo micorrízico e comprimento de micélio extrarradicular); referentes ao manejo (massa seca de serapilheira, tempo de SPD, cobertura de inverno, adubação orgânica, safra e produtividade da soja); climáticos (precipitação e temperatura média no ciclo da soja e no mês da coleta); geográficos (latitude, longitude e altitude) foram utilizadas como variáveis explicativas.

2.3 RESULTADOS

Avaliação da comunidade de ácaros

Foram identificados um total de 15.773 ácaros, divididos em três grupos: Oribatida (14.808 indivíduos), Prostigmata (382 indivíduos) e Mesostigmata (583 indivíduos). Para efeitos de caracterização, foram calculadas a abundância e riqueza de grupos de ácaros, bem como os índices de diversidade através das médias de todos os pontos amostrados, separados em alta e baixa produtividade (Tabela 1). Observa-se que não houve diferença entre os índices de diversidade em SPDB e SPDA, o que refuta a hipótese de que a diversidade das comunidades diferia nos níveis de produtividade.

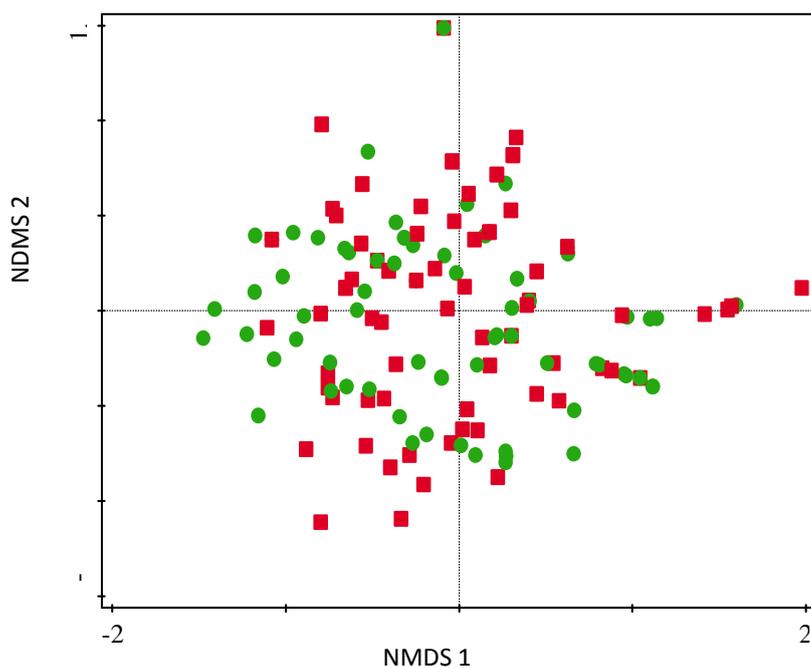
Tabela 1- Dados de abundância, riqueza e índices de diversidade de ácaros. Média dos pontos separados em alta produtividade (SPDA) e baixa produtividade (SPDB).

	SPDA	SPDB
Abundância	103,04	104,34
Riqueza	2,43	2,43
Dominância de Simpson (D)	0,85	0,84
Diversidade de Shannon (H')	0,27	0,29
Diversidade de Margalef	0,34	0,34
Equitabilidade de Pielou (J)	0,33	0,34

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Para avaliar a distribuição das amostras, utilizando como resposta a composição da comunidade de ácaros, foi realizada uma NMDS da frequência relativa de ácaros. Foram plotados todos os pontos amostrados, utilizando-se distância de Bray-Curtis e 100 perturbações, para evitar erro do tipo dois (Figura 4). O fator de estresse calculado foi próximo a vinte, possibilitando a distribuição em duas dimensões (2D).

Figura 4: *Non-metric Multidimensional Scaling* (NMDS) com todos os pontos amostrados. Análise executada com uso da distância de Bray-Curtis e cem perturbações. Amostras classificadas conforme produtividade: vermelho- baixa produtividade; verde- alta produtividade.

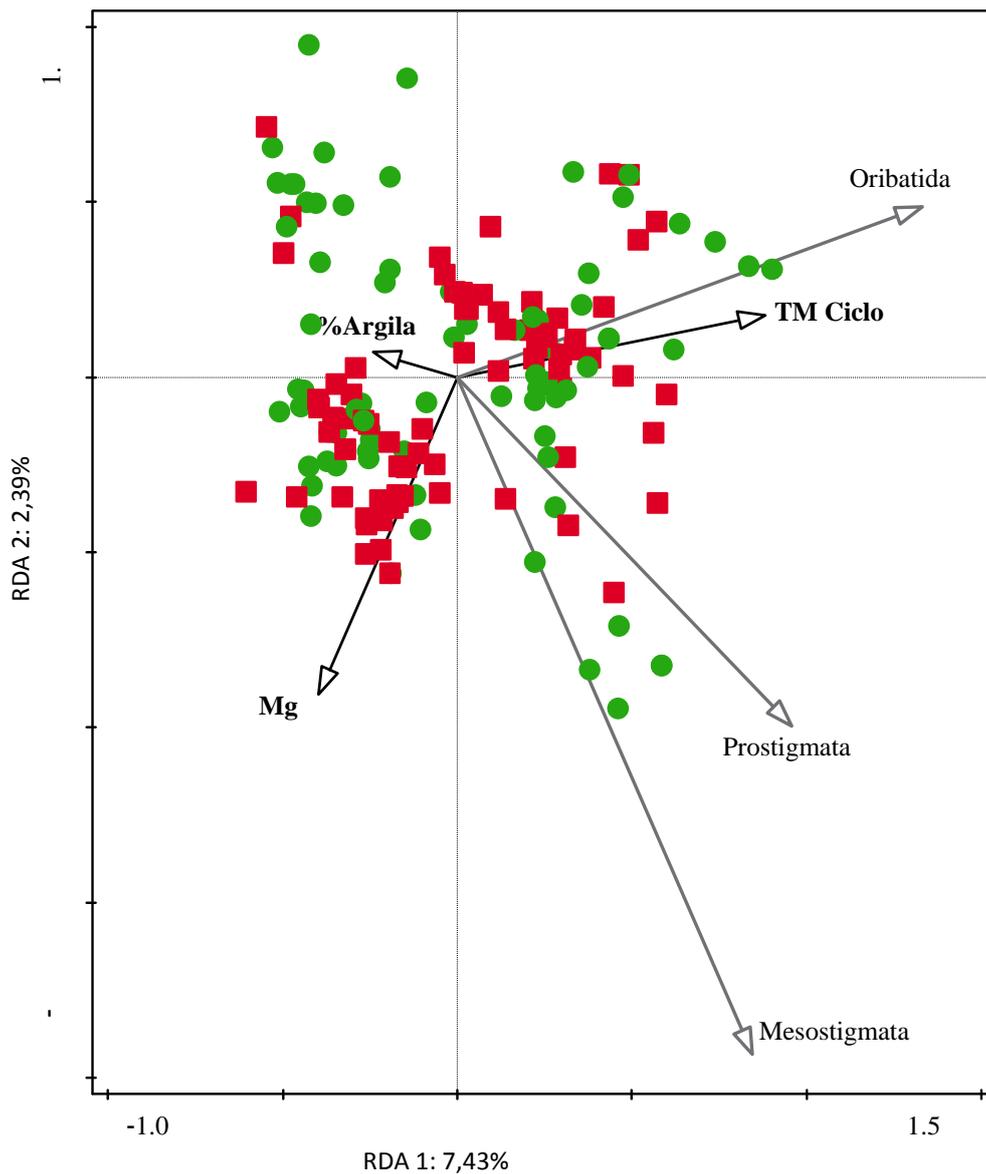


Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

As amostras foram classificadas segundo a produtividade, divididas em alta e baixa pelo parâmetro de mesma contagem (76 pontos de alta e 76 pontos de baixa produtividade). Nota-se que não houve separação das amostras ao longo dessa análise de ordenação, o que indica que não há diferença nos níveis de produtividade em termos de abundância de ácaros.

Para avaliação dos fatores abióticos que direcionam a distribuição dos grupos de ácaros, foi realizada uma Análise de Redundância baseada no índice de Bray-Curtis (Distance based-RDA) com *forward selection*, com 1000 permutações e correção *False Discovery Rate* (FDR) de Benjamini-Hochberg (1995) (Figura 5).

Figura 5: Distribuição dos grupos de ácaros e os fatores ambientais atrelados avaliados pela Análise de Redundância baseada em distância (db-RDA) de Bray-Curtis com 1000 permutações de Monte-Carlo. Vetores em vermelho representam os fatores ambientais com *forward selection*, significativos a 5% (p ajustado $\leq 0,05$). TM ciclo- Temperatura média no ciclo ($^{\circ}\text{C}$). Teor de magnésio (Mg) em $\text{cmol}_c.\text{Kg}^{-1}$. Teor de argila (%). Amostras classificadas conforme produtividade: vermelho- baixa produtividade; verde- alta produtividade.



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Observa-se que não houve correlação entre o fator produtividade e a estrutura da comunidade de ácaros, o que refuta a hipótese de que este grupo pode ser utilizado como indicador relacionado à produtividade da soja, o que pode ser constatado tanto pela classificação das amostras quanto pela não significância do fator produtividade na análise.

O grupo Oribatida associou-se positivamente ao fator temperatura média no ciclo e inversamente ao teor de magnésio. Os grupos Prostigmata e Mesostigmata, por sua vez, possuem fraca relação com o teor de magnésio e relação inversa com o teor de argila (Figura 5).

Os fatores geográficos atrelados aos químicos, físicos e de manejo explicaram 9,82% (soma de todos os eixos) da distribuição dos dados, sendo significativas a 5% (p ajustado $\leq 0,05$) as variáveis teor de argila, teor de magnésio e temperatura média no ciclo da soja (Tabela 2).

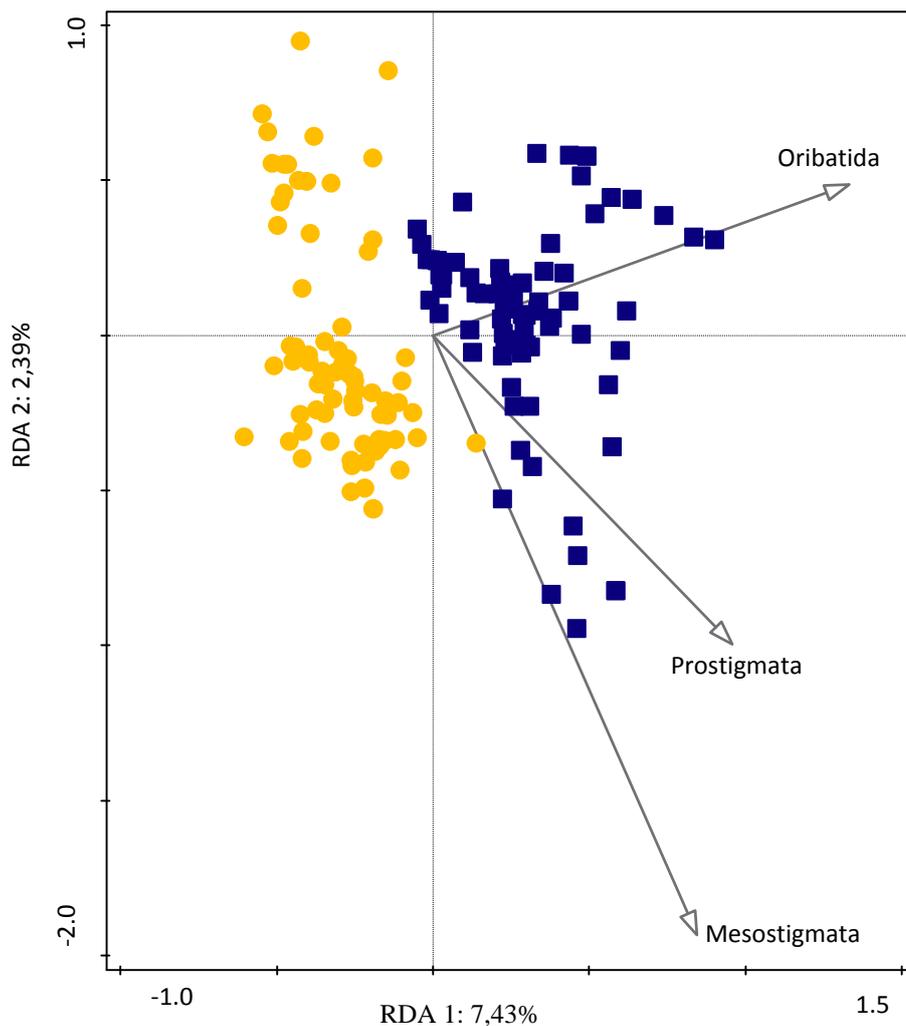
Tabela 2: Resultados da *forward selection* da Análise de Redundância baseada na distância de Bray-Curtis (db-RDA). A tabela mostra as variáveis significativas a 5% (p ajustado $\leq 0,05$ com correção FDR) e os percentuais de contribuição para a distribuição dos grupos de ácaros ao longo dos pontos.

Variáveis	Explicação %	Contribuição %	pseudo-F	P	P(adj)
TM ciclo	6.0	13.6	9.6	0.0 01	0.01039
Mg	2.5	5.6	4.0	0.0 02	0.03463
% Argila	2.2	5.0	3.7	0.0 01	0.02597

Elaborado pela autora, 2020.

Para melhor avaliar a separação dos dados por variáveis significativas que não a produtividade, foi percorrida outra db-RDA, com classificação das amostras baseada na temperatura média no ciclo, a variável com maior contribuição (Figura 6).

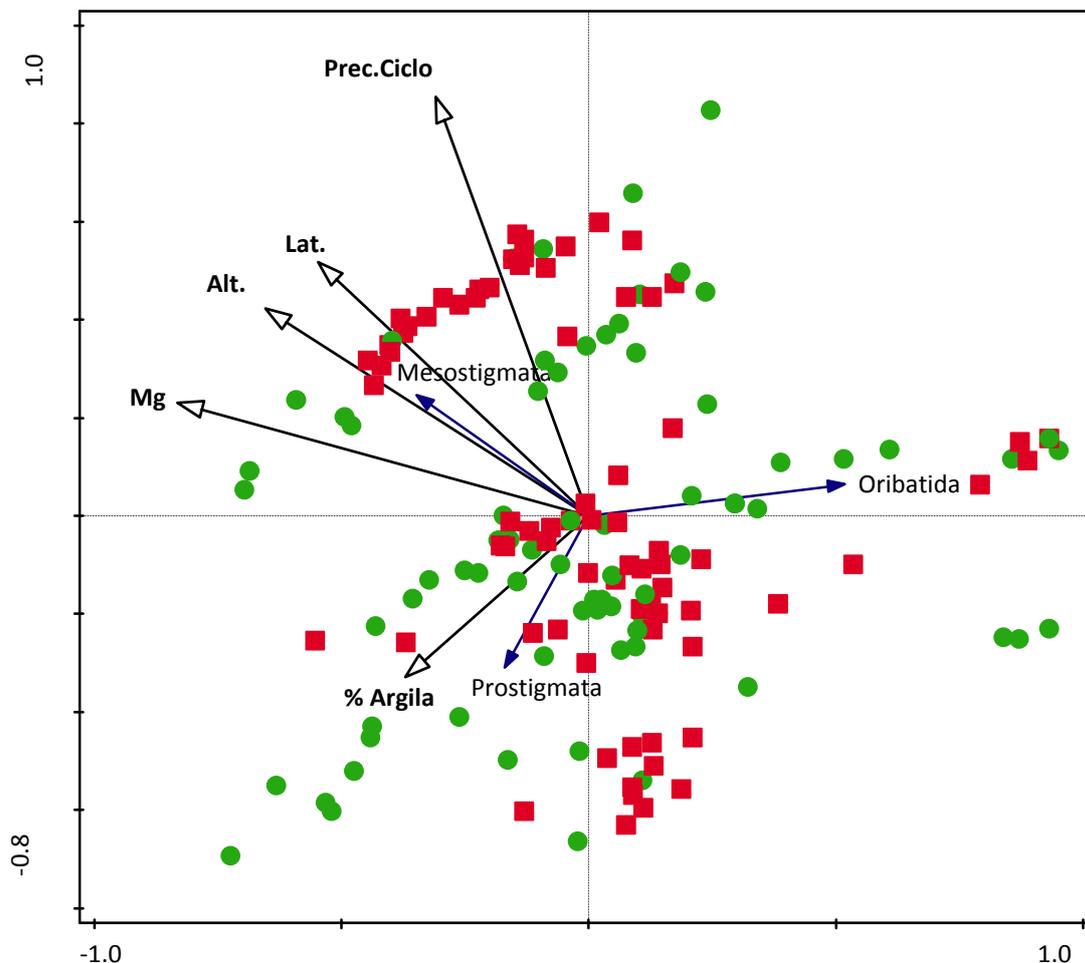
Figura 6: Análise de redundância baseada na distância de Bray-Curtis ilustrando a distribuição dos grupos de ácaros e variáveis significativas (p ajustado $\leq 0,05$). Classificação das amostras por temperatura média no ciclo da soja. Azul- temperaturas superiores a 24°C ; Amarelo- temperaturas inferiores a 24°C .



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Pode-se observar a separação das amostras em dois grupos distintos, mostrando forte associação dos grupos de ácaros a temperaturas superiores a 24°C (em azul). Para melhor visualização de quais fatores preditivos explicam a composição da comunidade de ácaros, foi feito um particionamento da variabilidade com dois grupos: a- variáveis geográficas; b- variáveis físicas, químicas, microbiológicas, climáticas e de manejo e c- interseção dos dois grupos (Figura 7).

Figura 7: Análise de Particionamento da variabilidade a partir de uma RDA (pRDA) dois grupos com efeito simples) com *forward selection* e correção *False Discovery Rate* (p ajustado $\leq 0,05$). Latitude (UTM). Altitude (m). Teor de argila (%). Teor de magnésio (Mg) em cmol.c.Kg^{-1} . Amostras classificadas por produtividade. Vermelho- baixa produtividade; verde- alta produtividade



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Embora todos os grupos de variáveis tenham sido significativos (Tabela 3), a porcentagem de explicação dos dados foi bem reduzida nos grupos das variáveis geográficas (0,5%), sendo significativas a altitude e latitude. O grupo b explicou 9,8% dos dados, sendo significativas as variáveis teor de argila, teor de magnésio e precipitação acumulada do ciclo. Comparativamente, a explicabilidade da intersecção foi considerável, sendo responsáveis por 6,2% do total.

Tabela 3: Variação e testes de significância dos grupos avaliados no Particionamento da variabilidade da Análise de redundância (pRDA) com *forward selection* e correção *False Discovery Rate* ((p ajustado $\leq 0,05$).

Fração	Variação(adj)	% do explicado	% do total	DF	Média quadrada
A	0.0047127	2.9	0.5	2	0.00784
B	0.098304	59.5	9.8	3	0.03786
C	0.062338	37.7	6.2	--	--
Total Explained	0.16536	100.0	16.5	5	0.03860
All Variation	1	--	100.0	151	--
Tested Fraction	F	p			
a+b+c	7.0	0.001			
a+c	6.4	0.001			
b+c	10.6	0.001			

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Com o intuito de avaliar as correlações entre os grupos de ácaros e as variáveis explicativas resultantes da db-RDA, foram feitas regressões lineares considerando as relações entre Oribatida, Mesostigmata e Prostigmata com cada uma das variáveis. Segundo as regressões, os Oribatida possuem correlação negativa moderada com o teor de argila e teor de magnésio no solo ($R^2 = -0,2510$ e $R^2 = -0,3981$) e positiva moderada com a temperatura média no ciclo da soja ($R^2 = 0,2124$).

Para o grupo Prostigmata, somente a relação com a temperatura média no ciclo foi significativa, obtendo-se um valor de correlação positiva de moderada a fraca ($R^2 = 0,2241$). As correlações com argila e magnésio além de apresentarem valor de R muito reduzido, não foram significativas a 5%.

O grupo Mesostigmata mostrou-se mais relacionado ao teor de magnésio (positiva moderada), sendo a única correlação significativa ($p = 0,0095$). As regressões com argila e temperatura média no ciclo também foram positivas, mas não significativas a 5% ($p = 0,8015$ e $p = 0,0561$, respectivamente).

2.4 DISCUSSÃO

A abundância e os índices de diversidade calculados para SPDB e SPDA não apresentaram diferenças significativas, o que pode ser atribuído ao efeito do manejo similar sobre as comunidades de ácaros sob SPD.

A Análise de Ordenação NMDS mostrou que não há separação das amostras quando utilizada a classificação por produtividade alta e baixa, portanto, indicado que não há efeito da produtividade da soja na distribuição dos grupos de ácaros nos sistemas amostrados, o que foi confirmado pela db-RDA. Considerando o aspecto funcional dos grupos, o nível trófico que ocupam, não há relação direta deste critério com a produtividade da soja sob SPD, o que não inviabiliza outros estudos com outras abordagens funcionais e/ou relações ecológicas.

As relações entre plantas e a comunidade edáfica podem ser consideradas bilaterais, pois ao mesmo tempo em que a comunidade edáfica participa de processos que refletem na absorção de água e nutrientes pelas plantas, estas modulam o meio onde estão inseridas, principalmente através da rizosfera, promovendo modificações na estrutura das comunidades.

John et al. (2006) investigaram a relação entre a estrutura da comunidade de ácaros e a diversidade de plantas acima do solo, em um estudo comparativo entre áreas ocupadas por gramíneas nativas e invasoras. Os autores não encontraram relações, ressaltando que a estrutura da comunidade de ácaros está vinculada às alterações que as plantas causam no solo, principalmente na rizosfera, e não diretamente à identidade da planta.

Em experimentos com microartrópodes em pastagens, visando relacionar as comunidades com a fertilidade do solo e produtividade do sistema, Cole et al. (2005) encontraram que, embora tenha havido aumento nas densidades dos organismos conforme o aumento da fertilidade do solo, não houve diferenças na composição das comunidades. Os autores atribuíram isso ao fato de que o controle das populações para aquele cenário devia-se substancialmente à presença de predadores, ou seja, um fator ecológico.

Os resultados da db-RDA indicam que a distribuição da comunidade de ácaros está mais relacionada a fatores bióticos, intrínsecos dos grupos, do que aos fatores abióticos avaliados, baseando-se no valor de explicação acumulada dos dois eixos (9,82%). Estes fatores abióticos são responsáveis pelo que se denomina seleção abiótica ou de

homogeneização (química, física, clima, manejo e dados de paisagem), atuando na modelagem das comunidades (WRIGHT et al., 2017).

Grupos da mesofauna foram propostos como biondicadores para avaliação e monitoramento de mudanças de uso do solo de origem antrópica, com foco nos atributos físicos e químicos na modelagem das comunidades (GEORGE et al., 2017). Pouco tem sido feito no sentido de avaliar os fatores ecológicos que influenciam na distribuição dos grupos.

As variáveis teor de argila, teor de magnésio e temperatura influenciaram a composição de ácaros. Moraes et al. (2011) conclui, através de várias modelagens, que tanto riqueza quanto abundância de Oribatida possuem correlação com a argila do solo.

O teor de argila pode contribuir para a formação de camadas compactadas no solo, principalmente quando já existe uma tendência, como é o caso de solos sob plantio direto. A presença de camadas compactadas, por sua vez, causam redução da porosidade do solo, prejudicando a movimentação e a provisão de abrigo para a mesofauna. Para testar se a porosidade influenciou ocorreu nos sistemas amostrados, foi realizada uma regressão entre a abundância de ácaros e a porosidade total do solo, obtendo correlação positiva significativa ($R^2= 0,19$; $p=0,034$).

A temperatura, bem como a umidade, são fatores que influenciam diretamente na reprodução e no tamanho corporal de ácaros. A preferência por temperaturas mais ou menos elevadas depende do grupo avaliado embora, de modo geral, haja tendência de maior atividade reprodutiva em temperaturas mais elevadas, próximas a 30°C (BADEJO, 1990). Por outro lado, a temperatura também influencia na atividade e crescimento microbiano, grupo que serve de alimento a Oribatida e outros grupos.

A análise de particionamento da variabilidade (p-RDA) permitiu uma melhor exploração da distribuição dos dados, uma vez que compartimentalizou as variáveis explicativas, de acordo com sua origem. Neste contexto, no grupo das variáveis geográficas, a altitude e a latitude mostraram-se significativas.

A relação dos grupos de ácaros com os fatores geográficos (altitude e latitude) está de acordo com o encontrado na literatura. A latitude é um dos fatores espaciais que mais tem sido discutido em estudos relacionados à diversidade animal acima do solo. Dentre os principais efeitos da latitudes, está o aumento da produtividade vegetal próximo ao equador, bem como a estabilidade e heterogeneidade dos habitats (DECAËNS, 2010).

De modo geral, a diversidade diminui com a altitude (GASTON, 2000). Entretanto, no caso de locais onde a altitude não traz consigo o fator baixas temperaturas, como é o cenário dos municípios amostrados, essa máxima pode não se aplicar. O efeito da altitude sobre a diversidade da fauna edáfica está essencialmente vinculado ao processamento da matéria orgânica, que tende a ocorrer mais lentamente à medida em que a altura aumenta, conduzido pela atividade microbiana. Esse grupo, que serve de alimento à mesofauna do solo, direciona, assim, a distribuição dos microartrópodes nos ambientes (CULLINEY, 2013).

Maraun et al. (2007) avaliaram a influência de padrões geográficos na comunidade de Oribatida, concluindo que este grupo apresentava um aumento na densidade e diversidade à medida em que a latitude diminuía. Neste estudo, a latitude apresentou-se mais associada à abundância de Mesostigmata, não estando diretamente relacionada a Oribatida e Prostigmata.

Decaëns (2010) cita que estudos de aspectos ecológicos da fauna edáfica têm abordado predominantemente a macrofauna, gerando uma lacuna a ser preenchida no que se refere à mesofauna. Efeitos de competição, predação, sobreposição de nicho e co-ocorrência são alguns dos principais modeladores da comunidade e é de grande importância que sejam características a serem incluídas nos estudos.

Embora de tamanho diminuto, a densidade de ácaros certamente assegura a provisão de serviços como a decomposição de restos vegetais, formação de microtúneis e controle de populações potencialmente danosas às culturas. Assim, a avaliação entre a produtividade vegetal e a comunidade de ácaros possivelmente existe, mesmo que não detectada pelas ferramentas deste estudo. Recomenda-se, portanto, um refinamento na investigação dessas relações como, por exemplo, o levantamento de maior número de informações acerca de características produtivas, como biomassa aérea e radicular, composição de nutrientes nas plantas, formação das vagens, entre outros.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temperatura, teor de magnésio e de argila foram as variáveis ambientais que mais influenciaram na distribuição dos grupos ao longo dos pontos. A temperatura afetou positivamente Oribatida e Prostigmata, o teor de magnésio influenciou positivamente Mesostigmata e negativamente Oribatida, enquanto o teor de argila afetou negativamente o grupo Oribatida.

Os resultados obtidos indicam que a distribuição dos grupos de ácaros nas áreas amostradas não possui relação com a característica de produtividade avaliada, sendo esta comunidade pouco influenciada pelos fatores abióticos avaliados. Pode-se inferir, com isso, que a distribuição dos morfotipos nas áreas avaliadas sofre mais influência de fatores bióticos, como a taxa de dispersão, *drift* (morte e nascimento ao acaso) e co-ocorrência tanto de morfotipos de colêmbolos quanto de outros componentes da mesofauna, como ácaros, fatores ecológicos não avaliados aqui.

Baseado nos resultados, pode-se sugerir para uma futura abordagem para melhor investigar as relações entre mesofauna e produtividade, como biomassa vegetal, teores de N e C das plantas e outros atributos relacionados à produção de grãos, no caso da soja.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

BADEJO, M.A. Seasonal abundance of soil mites (Acarina) in two contrasting environments. **Biotropica**. v.22, p.382-390, 1990.

BARETTA, D.; et al. Fauna edáfica avaliada por armadilha e por catação manual afetada pelo manejo do solo na região Oeste Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.2, n.2, p.97-106, 2003.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. 2003. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Comunicado Técnico 16, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 7pp.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

BOX GEP; COX DR. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society**, v. 26, p.211-252, 1964.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.

CASÃO JR., R. Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista / Ruy Casão Junior, Augusto Guilherme de Araújo, Rafael Fuentes Llanillo. – Londrina: IAPAR, 2012. 77 p. : il.

COLE, L., BUCKLAND, S.M., BARDGETT, R.D. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland. **Soil Biology and Biochemistry**. v.37, p.1707-1717, 2005.

CULLINEY, T.W. Review role of arthropods in maintain soil fertility. **Agriculture**. v.3, p.629-659, 2013.

DAUGHERTY, M.P. Host plant quality, spatial heterogeneity, and the stability of mite predator–prey dynamics. **Experimental and Applied Acarology**. v.53, p. 311-211, 2011.

DE GROOT, G.A. et al. Biomass and Diversity of Soil Mite Functional Groups Respond to Extensification of Land Management, Potentially Affecting Soil Ecosystem Services. **Front. Environ. Sci**. v.4:15, 2016.

DECAËNS, T. Macroecological patterns in soil communities. **Global Ecol. Biogeography**. v.19, p.287–302., 2010.

DENG, S.P., TABATABAI, M.A. Cellulase activity of soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 26. p.1347-1354, 1994.

FAJANA, H.O. *Oppia nitens* C.L. Koch, 1836 (Acari: Oribatida): Current status of its bionomics and relevance as a model invertebrate in soil ecotoxicology. **Environmental toxicology and chemistry**.v.38, p.2593-2613, 2019.

GASTON, K.J. Global patterns in biodiversity. **Nature**.v.405, p.220-227, 2000.

GEORGE, P.B.L. et al. Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. **Soil Biology and Biochemistry**. v.115, p.537-546, 2017.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, D. **PAST: Paleontological Statistics Software Package**. 2001 for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1):p. 9.

HOY, M.A. *Agricultural Acarology: Introduction to integrated mite management*. CRC Press: Boca Raton, FL, 2011.

IBGE. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/pesquisa/14/10193?tipo=ranking&indicador=10368>.

Acesso em: 21 de janeiro de 2020.

JOHN, M.G.St., WALL, D.H., HUNT, W.H. Are soil mites assemblages structured by the identity of native and invasive alien grasses? **Ecology**. v.87 p. 1314-1324, 2006.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, 92:486-505, 1989.

LEP'S J, SMILAUER P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. **Bull. Ecol. Soc. Am.**v.86, 2005.

MACHADO, J.S., OLIVEIRA FILHO, L.C.L., SANTOS, J.C.P., PAULINO, A.T., BARETTA, D. **Biota neotropica**. v.19, 2019.

MANU, M. et al. Soil mite communities (Acari: Mesostigmata, Oribatida) as bioindicators for environmental conditions from polluted soils. **Sci Rep**. v.9, 2019.

MARAUN, M., SCHATZ, H., SCHEU, S. Awesome or ordinary? Global diversity patterns of oribatid mites. **Ecography**. v.30, p.209-216, 2007.

MCGONIGLE, T. P. et al. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, p. 495-501. 1990.

MELLONI, R. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. Piracicaba, SP, ESALQ, Dissertação (Curso de Mestrado), 1996.

MORAES, J. et al. Species diversity of edaphic mites (Acari: Oribatida) and effects of topography, soil properties and litter gradients on their qualitative and quantitative composition in 64km² of forest in Amazonia. **Experimental and Applied Acarology**. v.55, p.39-63, 2011.

N'DRI, J.K. et al. Abundance and diversity of soil mite (Acari) communities after conversion of tropical secondary forest into rubber plantations in Grand-Lahou, Côte d'Ivoire. **Ecological Research**. v.32, p.909-919, 2017.

OBADE, P. et al. A community trait-based approach to ecosystem functioning in soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.239, p.265–273., 2017.

OBADE, P., LAL, R. A standardized soil quality index for diverse field conditions. **Science of the Total Environment**. v.541, p.424–434, 2016.

POMPEO, P.N. et al. Morphological diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.41, 2017.

REZENDE, J. M., LOFEGO, A. C., NÁVIA, D., & ROGGIA, S. Mites (Acari: Mesostigmata, Sarcoptiformes and Trombidiformes) Associated to Soybean in Brazil, Including New Records from the Cerrado Areas. **Florida Entomologist**, v.95, p.683–693, 2012.

ROSA, M.G. et al. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Sol**. v.39, 2015.

SBCS. Comissão de Química e Fertilidade do Solo Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – Porto Alegre, 2016.

STATSOFT, Inc., **STATISTICA** (Data analysis software system). Version 7. Disponível em:<www.statsoft.com>, 2018.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America. p.775-883, 1994.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. Análises de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

WRITGHT, A.J. The overlooked role of facilitation in biodiversity experiments. **Trends in Ecology & Evolution**. v. 32, 2017.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 2: RELAÇÕES ENTRE A COMUNIDADE DE COLÊMBOLOS (COLLEMBOLA) E A PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine max* L.) EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO OESTE CATARINENSE

RESUMO

Colêmbolos são microartrópodes abundantes no solo, desempenhando importantes papéis na ciclagem de nutrientes e no controle da população microbiana, atuando como pastejadores de hifas fúngicas. Os serviços que este grupo presta contribuem direta e indiretamente para a nutrição das plantas, influenciando na produtividade acima do solo. Este estudo teve como objetivo avaliar a diversidade de morfotipos da comunidade de colêmbolos e suas relações com a produtividade da soja sob Sistema de Plantio Direto no Oeste de Santa Catarina. Foram amostrados pontos com diferentes níveis de produtividade em três lavouras em cada um dos três municípios avaliados, em dois anos agrícolas. Nos mesmos pontos foram analisados atributos físicos, químicos e microbiológicos, para serem utilizados como variáveis explicativas. A análise de redundância baseada em distância de Bray-Curtis mostrou que não houve relação entre a produtividade da soja e a comunidade de colêmbolos, o que refuta a hipótese do trabalho. Os fatores ambientais explicaram 11,82% da distribuição dos morfotipos de colêmbolos, indicando que a comunidade é provavelmente mais influenciada por processos ecológicos do que pelas variáveis ambientais abordadas. A comunidade de colêmbolos apresentou arranjos diferentes nos dois anos estudos. Na safra 2016/2017, as variáveis que mais explicaram a distribuição dos grupos foram latitude, altitude, precipitação no ciclo da soja e tempo de SPD. Para a safra 2017/2018, a latitude e a temperatura média no ciclo atuaram modelando a comunidade de colêmbolos. As análises de correlação mostraram que as variáveis não influenciaram significativamente os colêmbolos quando separados por modo de vida. Recomenda-se, para estudos posteriores, a avaliação de mais atributos relacionados à produtividade da soja, bem como a análise mais detalhada sobre quais fatores da ecologia dos colêmbolos mais contribui para a distribuição dos morfotipos em agroecossistemas.

Palavras-chave: morfotipos de colêmbolos, sistema de plantio direto, produtividade da soja.

ABSTRACT

Springtails are abundant soil microarthropods, playing important roles in nutrient cycling and microbial population control, acting like grazers. The services the group provided contribute direct and indirectly for plant nutrition, influencing productivity aboveground. This study aimed to evaluate the diversity of springtails community and its relationships with soybean productivity under no-till system (NTS) in Santa Catarina's West. Were sampled points with different productivities in three crops in each evaluated county, in two agricultural years. On the same spots were analysed physical, chemical and microbiological attributes, used like explanatory variables. The distance-based redundance analysis shown no relationship between soybean productivity and springtails community, denying this work hypothesis. The environmental factors explained 11,82% of springtails morphotypes, indicating that the community is more influenced by ecological processes than by environmental variables approached. The springtails community presented different arrangements in two years of study. In 2016/2017 harvest, the variables that explained most the groups distribution were latitude, altitude, soybean cycle precipitation and time of NTS. To 2017/2018 harvest, the latitude and average temperature acting modelling springtails community. The correlation analysis shown that variables did not influenced significantly springtails when grouped by life form. We advise, for later studies, the evaluation of more attributes related to soybean productivity, as well as more detailed analysis about which ecological factors of springtails contribute more to distribution of the morphotypes in agroecosystems.

Keywords: springtails morphotypes, no-till system, soybean productivity.

3.1 INTRODUÇÃO

Collembola é uma classe de organismos pertencente à mesofauna do solo, que compreende indivíduos de tamanho corporal de 0,2mm a 2mm (SWIFT et al., 1979). Consiste em um dos *taxa* mais abundantes na fauna do solo, atingindo grandes densidades nos mais diversos sistemas (mais de 100.000 indivíduos por metro quadrado) (ANDRE, et al., 1994).

A classe tem ganhado importância nos estudos de biologia do solo devido principalmente à sua sensibilidade diante de alterações no solo, constituindo num importante indicador de qualidade (ROGER-ESTRADE et al., 2010; JERNIGAN et al., 2020). Para Jernigan et al. (2020), a contribuição de colêmbolos na provisão de serviços ecossistêmicos é amplamente reconhecida, mas o conhecimento de como se dá a relação entre essa comunidade e a produtividade vegetal e quais ferramentas de manejo utilizar para otimizar esses processos ainda é uma lacuna a ser preenchida.

No Brasil, o Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma tecnologia de manejo conservacionista extensivamente utilizada, atingindo quase 33 milhões de hectares. No estado de Santa Catarina, quase um milhão de hectares estão sob SPD, sendo mais da metade desta área destinada ao cultivo de soja (*Glycine max* L.) (IBGE, 2018). A representatividade deste sistema de uso do solo tem levado a questões sobre sua contribuição para a manutenção das comunidades edáficas quando comparado a outros sistemas (POMPEO et al., 2017; SANTOS et al., 2017; MACHADO et al., 2019; ORTIZ et al., 2019).

Os resíduos vegetais em solos sob Sistema Plantio Direto (SPD) oferecem muitas opções de abrigo e alimento para colêmbolos. Além disso, o revolvimento mínimo característico desse sistema possibilita às comunidades um ambiente mais estável para que elas se estabeleçam. De fato, alguns estudos sobre mesofauna edáfica em diferentes sistemas de uso do solo, apontam para a grande diversidade de colêmbolos sob plantio direto, principalmente quando comparados a outros sistemas de uso do solo (Oliveira Filho et al., 2016, Zagatto et al., 2019 e Machado et al., 2019).

Colêmbolos possuem uma relação muito estreita com a microbiota do solo, consumindo fungos, bactérias e protozoários, atuando como modelador da ecologia microbiana (BHAGAWATI, et al., 2018). Este grupo participa da ciclagem de nutrientes e do controle de fitopatógenos, contribuindo ainda para a nutrição das plantas, agregação do solo, formação da microestrutura do solo, entre outros inúmeros serviços ecossistêmicos (NSENGIMANA et al., 2018).

Considerando a relevância de colêmbolos na provisão de serviços ecossistêmicos e a importância destes em sistemas agrícolas, acredita-se que essa comunidade esteja relacionada à produtividade da soja, apresentando estruturas diferentes ao longo dos diferentes níveis de produtividade. Assim, este estudo teve como objetivo investigar a relação entre diversidade funcional e estrutural da comunidade de colêmbolos e a produtividade da soja em lavouras sob plantio direto no Oeste do Estado de Santa Catarina.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de amostragem

Foram amostradas lavouras com plantio de soja (*Glycine max* L.) em três municípios no Oeste do Estado de Santa Catarina (Figura 1), com Sistema de Plantio Direto (SPD) consolidado: Campo Erê (26°23'42"S 53°5'33"O; altitude 929 metros), Chapecó (27°5'48"S 52°37'7"O; 674 metros) e Faxinal dos Guedes (26°51'21"S 52°15'23"O; 970 metros). (Figura 1).

Figura 8- Localização dos municípios amostrados: Campo Erê; Chapecó e Faxinal dos Guedes.



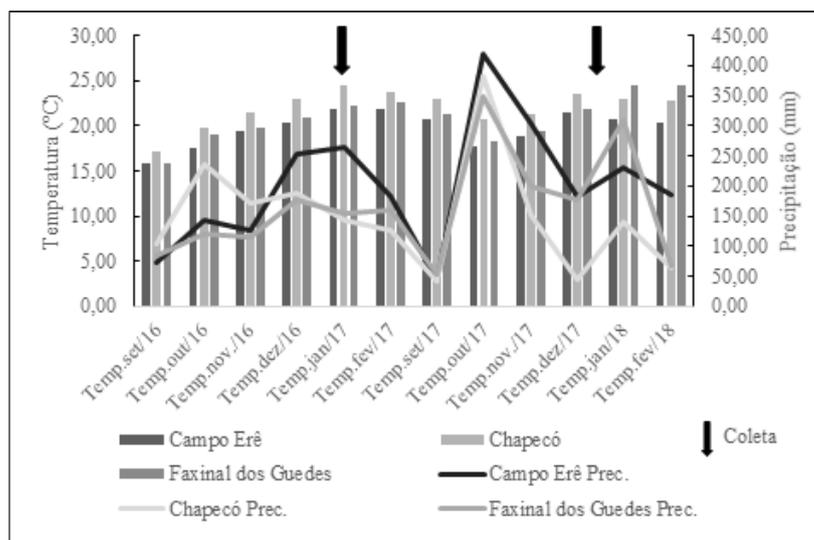
Fonte: Adaptado pela autora a partir da base cartográfica do IBGE, 2018.

As áreas de coleta foram escolhidas de acordo com seu histórico de manejo levantado junto aos produtores da região, e apresentavam manejo similar. A maioria segue as premissas básicas do sistema, como o movimentação mínima do solo, cobertura permanente com palhada ou cobertura verde, e rotação de culturas (CASÃO Jr., 2012).

Os municípios amostrados encontram-se sob dois tipos climáticos distintos: *Cfa* (Chapecó) e *Cfb* (Campo Erê e Faxinal dos Guedes), segundo Köppen (ALVARES et al., 2013). O município de Chapecó apresenta altitude média inferior a 700m, verões quentes, com temperaturas médias superiores a 22°C e precipitação entre 1900 e 2200 mm.ano-1. Faxinal dos Guedes e Campo Erê, por sua vez, têm altitude média superior a 700 m, verões amenos, com temperaturas médias inferiores a 22°C e chuvas bem distribuídas ao longo do ano (ALVARES et al., 2013).

Para o presente estudo, foram considerados os valores de precipitação média acumulada durante o cultivo de soja, de setembro a fevereiro em cada safra, e do período das coletas (precipitação média acumulada mensal). Para temperatura, foram consideradas as médias pelos meses de cultivo e média mensal do período das coletas (Figura 2). As informações sobre temperaturas médias e precipitação foram obtidas a partir de dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) Chapecó, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agritempo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

Figura 9- Dados de precipitação (mm), temperatura (°C) considerando o período de coleta e entre coletas (setembro de 2016 a fevereiro de 2018).



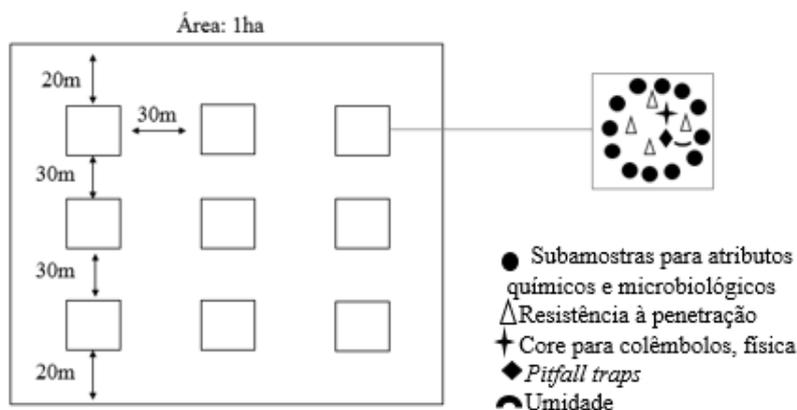
Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Grade amostral e determinação da produtividade

Foram realizadas duas coletas durante o verão, nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018, durante o estágio de florescimento da soja (R1). Em cada área amostral foram

distribuídos nove pontos, em uma grade amostral com um hectare de área total (Figura 3), três grades por município. Em cada ponto foram extraídas doze subamostras compondo uma amostra da camada de 0 a 10 cm do solo, para análises químicas e microbiológicas. Para a avaliação de atributos microbiológicos, as amostras foram acondicionadas em gelo e mantidas a 4°C até o processamento.

Figura 10- Representação da grade amostral 3x3 e esquema de amostragem de solo em cada ponto.



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Finalizado o desenvolvimento da soja, foram coletadas todas as plantas em um metro quadrado, próximo aos pontos demarcados, para calcular a produtividade. As amostras foram transportadas para o Laboratório de Ecologia do Solo, CAV/UEDESC, onde os grãos foram separados das plantas e secos em estufa com circulação de ar a 65°C até massa constante, a produtividade foi então estimada em Kg ha⁻¹. Para estabelecer os níveis produtivos, foram calculadas a produtividade média, a amplitude e o limiar (*threshold*), separando todos os pontos coletados em dois conjuntos: pontos de baixa produtividade (SPDB) e alta produtividade (SPDA). Os valores de referência na determinação dos níveis SPDB e SPDA não refletiram a produção média dos municípios ou Estado, sendo utilizados unicamente com o propósito comparativo para o estudo.

Avaliação da comunidade de colêmbolos

As coletas de colêmbolos foram realizadas em nove pontos amostrais por área, através da coleta de *cores* e instalação de armadilhas do tipo *pitfall traps*. Foram utilizados oito anéis cilíndricos de 5 cm de profundidade e 6cm de diâmetro (*cores*) (ISO 23611-2, 2006), não sendo coletado o ponto central da grade. Após a coleta, os cilindros foram transportados ao

Laboratório de Solo da Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ), Chapecó, SC. As amostras foram acondicionadas em funis de Berlese-Tullgren, para extração durante 5 dias. Após este período, os organismos foram armazenados em etanol absoluto até a identificação.

Foram também instaladas armadilhas do tipo *pitfall traps* no solo, nos nove pontos da grade amostral. Essas armadilhas consistem em frascos de aproximadamente 500 mL, contendo 200 mL de solução detergente (0,5% v/v). Os frascos foram colocados em buracos com a abertura ao nível do solo, onde permaneceram por 72 horas (BARETTA et al., 2003). Após este período, as amostras foram transportadas ao Laboratório de Solos, UNOCHAPECÓ, onde foram lavadas e acondicionadas em etanol. A identificação dos colêmbolos foi realizada no Laboratório de Ecologia do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), Lages, SC.

Os colêmbolos foram identificados através do método de morfotipagem, onde foram observados traits referentes aos ocelos, antenas, pelos, pigmentação e fúrcula, sendo atribuído um valor parcial de EMI (*Eco-morphological Index*) para cada atributo. A soma desses valores parciais gera um valor de EMI total, que possibilita a classificação segundo o modo de vida, em epigeicos, edáficos e hemi-edáficos, variando de 0 (formas epigeicas, adaptadas a camadas superficiais) a 20 (formas edáficas, indicando adaptação a camadas mais profundas no solo); hemi-edáficos possuem índices proporcionais ao seu grau de especialização (PARISI et al., 2001; VANDEWALLE et al. 2010; OLIVEIRA FILHO et al., 2016). Quanto maior o valor de EMI, menor o poder de dispersão e maior a adaptação ao perfil do solo (Tabela 2) (OLIVEIRA FILHO et al., 2016).

Tabela 4: Traits utilizados para calcular o valor parcial do índice eco-morfológico de colêmbolos.

Trait	Codificação	Valor EM parcial
Ocelo	Presente	0
	Ausente	4
Comprimento da antena	Comprimento da antena > comprimento do corpo	0
	Comprimento da antena > 0.5 × comprimento do corpo	2

	Comprimento da antena < 0.5 × comprimento do corpo	4
Furca/fúrcula	Completamente desenvolvida	0
	Reduzida/curta	2
	Ausente	4
Pelos/escamas	Presente	0
	Ausente	4
Pigmentação	Colorido e com padrões	0
	Colorido mas não uniformemente pigmentado	2
	Ausente (cor branca ou transparente)	4

Fonte: Adaptado de Vandewalle et al. (2010).

Tabela 5: Traits de Colêmbolos, categorias de morfotipos e categorias coletadas.

Valor parcial eco-morfológico (EMV)				Final EMV	Grupo EM	Morfotipo	
Ocelo	Comprimento de antena	Furca	Pelos/escamas	Pigmentação		Coletados	
0-4	0-2-4	0-2-4	0-4	0-2-4			
4	4	4	4	4	20	Edáfico	Edáfico 1 x
4	4	4	4	2	18	Edáfico	Edáfico 2
4	4	2	4	4	18	Edáfico	Edáfico 3
4	2	4	4	4	18	Edáfico	Edáfico 4
4	4	4	4	0	16	Edáfico	Edáfico 5
4	4	4	0	4	16	Edáfico	Edáfico 6 x
4	4	2	4	2	16	Edáfico	Edáfico 7
4	4	0	4	4	16	Edáfico	Edáfico 8 x
4	2	4	4	2	16	Edáfico	Edáfico 9
4	2	2	4	4	16	Edáfico	Edáfico 10
4	0	4	4	4	16	Edáfico	Edáfico 11
0	4	4	4	4	16	Edáfico	Edáfico 12
4	4	4	0	2	14	Edáfico	Edáfico 13
4	4	2	4	0	14	Edáfico	Edáfico 14
4	4	2	0	4	14	Edáfico	Edáfico 15 x
4	4	0	4	2	14	Edáfico	Edáfico 16
4	2	4	4	0	14	Edáfico	Edáfico 17
4	2	4	0	4	14	Edáfico	Edáfico 18
4	2	2	4	2	14	Edáfico	Edáfico 19
4	2	0	4	4	14	Edáfico	Edáfico 20
4	0	4	4	2	14	Edáfico	Edáfico 21
4	0	2	4	4	14	Edáfico	Edáfico 22
0	4	4	4	2	14	Edáfico	Edáfico 23
0	4	2	4	4	14	Edáfico	Edáfico 24 x
0	2	4	4	4	14	Edáfico	Edáfico 25
4	4	4	0	0	12	Hemi-edáfico	Hemi-edáfico 1
4	4	2	0	2	12	Hemi-edáfico	Hemi-edáfico 2
4	4	0	4	0	12	Hemi-edáfico	Hemi-edáfico 3
4	4	0	0	4	12	Hemi-edáfico	Hemi-edáfico 4 x
4	2	4	0	2	12	Hemi-edáfico	Hemi-edáfico 5

4	2	2	4	0	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 6	
4	2	2	0	4	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 7	
4	2	0	4	2	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 8	
4	0	4	4	0	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 9	
4	0	4	0	4	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 10	
4	0	2	4	2	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 11	
4	0	0	4	4	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 12	
0	4	4	4	0	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 13	
0	4	4	0	4	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 14	x
0	4	2	4	2	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 15	
0	4	0	4	4	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 16	
0	2	4	4	2	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 17	
0	2	2	4	4	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 18	
0	0	4	4	4	12	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 19	
4	4	2	0	0	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 20	
4	4	0	0	2	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 21	x
4	2	4	0	0	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 22	
4	2	2	0	2	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 23	
4	2	0	4	0	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 24	
4	2	0	0	4	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 25	x
4	0	4	0	2	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 26	
4	0	2	4	0	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 27	
4	0	2	0	4	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 28	
4	0	0	4	2	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 29	
0	4	4	0	2	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 30	x
0	4	2	4	0	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 31	
0	4	2	0	4	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 32	x
0	4	0	4	2	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 33	x

0	2	4	4	0	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 34	
0	2	4	0	4	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 35	
0	2	2	4	2	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 36	
0	2	0	4	4	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 37	
0	0	4	4	2	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 38	
0	0	2	4	4	10	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 39	
4	4	0	0	0	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 40	
4	2	2	0	0	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 41	
4	2	0	0	2	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 42	
4	0	4	0	0	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 43	
4	0	2	0	2	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 44	
4	0	0	4	0	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 45	
4	0	0	0	4	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 46	
0	4	4	0	0	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 47	
0	4	2	0	2	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 48	x
0	4	0	4	0	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 49	
0	4	0	0	4	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 50	x
0	2	4	0	2	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 51	
0	2	2	4	0	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 52	
0	2	2	0	4	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 53	x
0	2	0	4	2	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 54	
0	0	4	4	0	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 55	
0	0	4	0	4	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 56	
0	0	2	4	2	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 57	
0	0	0	4	4	8	Hemi- edáfico	Hemi- edáfico 58	
4	2	0	0	0	6	Epigeico	Epigeico 1	
4	0	2	0	0	6	Epigeico	Epigeico 2	
4	0	0	0	2	6	Epigeico	Epigeico 3	
0	4	2	0	0	6	Epigeico	Epigeico 4	
0	4	0	0	2	6	Epigeico	Epigeico 5	x

0	2	4	0	0	6	Epigeico	Epigeico 6
0	2	2	0	2	6	Epigeico	Epigeico 7
0	2	0	4	0	6	Epigeico	Epigeico 8
0	2	0	0	4	6	Epigeico	Epigeico 9 x
0	0	4	0	2	6	Epigeico	Epigeico 10
0	0	2	4	0	6	Epigeico	Epigeico 11
0	0	2	0	4	6	Epigeico	Epigeico 12
0	0	0	4	2	6	Epigeico	Epigeico 13
4	0	0	0	0	4	Epigeico	Epigeico 14
0	4	0	0	0	4	Epigeico	Epigeico 15
0	2	2	0	0	4	Epigeico	Epigeico 16
0	2	0	0	2	4	Epigeico	Epigeico 17 x
0	0	4	0	0	4	Epigeico	Epigeico 18
0	0	2	0	2	4	Epigeico	Epigeico 19
0	0	0	4	0	4	Epigeico	Epigeico 20
0	0	0	0	4	4	Epigeico	Epigeico 21 x
0	2	0	0	0	2	Epigeico	Epigeico 22
0	0	2	0	0	2	Epigeico	Epigeico 23
0	0	0	0	2	2	Epigeico	Epigeico 24
0	0	0	0	0	0	Epigeico	Epigeico 25

Avaliação de atributos microbiológicos

Comprimento de hifa

A determinação do comprimento de hifa foi realizada pela extração do micélio, através da suspensão e peneiramento das amostras de solo (MELLONI, 1996). Para tanto, foram pesados 10 g de solo de cada amostra, sendo suspensos em 500 mL de água e filtrando o sobrenadante em peneiras sobrepostas, com malhas de 1 e 0,25 mm, respectivamente. O processo foi repetido três vezes para cada amostra. O material retido na peneira de 0,25 mm foi suspenso em água e agitado em liquidificador, sendo submetido a agitação por 30 segundos, com repouso de 2 minutos. Após o período de repouso, o sobrenadante foi filtrado em peneira de 0,053 mm e o material retido foi filtrado a vácuo

em membrana quadriculada de nitrato de celulose (diâmetro 47mm e porosidade 0,45 µm, marca Sartorius).

Após a secagem das membranas, estas foram colocadas sobre uma lâmina de vidro contendo uma gota de óleo de amêndoas, para visualização sob microscópio (Microscópio de fluorescência, binocular. Zeiss). Em cada membrana foram observados 64 campos (8x8 quadrículos de 1mm), determinando-se o número de intersecções de hifas com as linhas horizontais da grade ocular acoplada ao microscópio (20 x20 quadrículos- aumento de 162,5 vezes).

O comprimento do micélio extrarradicular total, expresso em centímetros de hifa por grama de solo seco, foi obtido pela seguinte relação:

$$C = \left[\frac{(0,0347 \times N)}{(10-U)} \right] \times 100$$

onde:

C = comprimento de micélio extrarradicular total, em centímetros de hifa por grama de solo seco;

N = soma do número de intersecções entre as hifas e linhas horizontais da grade;

U = umidade da amostra de solo, expressa em gramas de água.

Potencial de Inóculo Micorrízico

O solo coletado na camada de 0 a 10 cm foi misturado na proporção 1:1 com areia esterilizada em autoclave à temperatura de 121°C por 1 hora, em dois ciclos. No substrato preparado foram semeadas seis sementes de *Brachiaria decumbens*, não tratadas, desinfestadas superficialmente com solução de hipoclorito de sódio a 0,5% e lavadas com água esterilizada. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação, após a semeadura, por um período de 30 dias. Ao final deste período, as plantas foram desbastadas e as raízes coradas conforme proposto por Koske e Gemma (1989).

As raízes foram submersas em solução de hidróxido de potássio (KOH) 10% e mantidas em banho-maria a 90°C por 60 minutos. Em seguida, foram lavadas com água corrente e imersas em solução de ácido clorídrico HCl 1% por uma noite. Retirado o excesso de HCl, foi

adicionada solução corante azul de tripan, onde as amostras ficaram em banho-maria por 60 minutos novamente. Finalizado o processo, foi retirado o excesso de corante e as raízes permaneceram imersas em água destilada, até a montagem das lâminas. Para a determinação da taxa de colonização micorrízica foi utilizada metodologia proposta por McGonigle et al. (1990). Foi montada uma lâmina por amostra, contendo dez segmentos de raiz de aproximadamente um centímetro de comprimento. Em cada lâmina, observou-se 200 pontos, avaliados quanto à presença de colonização por FMA (hifas, vesículas, arbúsculos e esporos). As taxas de colonização foram obtidas pela relação dos fragmentos infectados em relação ao total de fragmentos observados, expressos em porcentagem.

Atividade enzimática

Foram avaliadas enzimas envolvidas nos ciclos do carbono e fósforo, com o intuito de prover informações sobre a atividade microbiana, bem como uma medida indireta da biomassa microbiana do solo.

Atividade da celulase

A atividade da enzima Celulase foi avaliada através do método adaptado pelo proposto por Deng e Tabatabai (1994), com a incubação de 2 g de solo em duplicata mais um controle, contendo o substrato glicose provida pela solução de carboximetil celulose. A incubação foi feita a 50°C, por 24 horas e pH 5,5. Neste processo, a redução dos açúcares causa a redução do hexacianoferrato de potássio que reage com o sulfato de amônio férrico para formar o complexo azul da Prússia, determinado colorimetricamente em leitor de microplaca. A concentração do substrato foi calculada através da fórmula:

$$\mu\text{g GE/ g-1dm} / 24 \text{ h-1} = \frac{[(S-C) \times V \times D \times 100]}{(W \times \text{dm}\%)}$$

onde:

S: leitura média das amostras

C: leitura do controle

V: volume de incubação

D: fator de diluição

W: peso inicial do solo

dm% porcentagem de matéria seca do solo

Atividade da Fosfatase Ácida

A avaliação da atividade enzimática foi obtida através da metodologia proposta por Tabatabai (1994), que consiste na incubação do solo com o substrato enzimático p-nitrofenil fosfato por 2 horas, a 35°C. A concentração do p-nitrofenol produzido foi determinada colorimetricamente em leitor de microplaca a 405nm (ELX-800. Biotek), no Laboratório de Biologia Molecular, CAV-UDESC, Lages, SC. Os valores foram obtidos através da fórmula:

$$\mu\text{g pNP/ g-1. dm} / \text{h-1} = \frac{[(S-C) \times D \times 100]}{(2 \times \text{dm}\%)}$$

onde:

S: leitura média das amostras

C: leitura média dos controles

D: fator de diluição

dm% porcentagem de matéria seca do solo

Avaliação da matéria orgânica e carbono

Fracionamento químico da matéria orgânica

Foi realizada a extração e o fracionamento químico da matéria orgânica segundo o método proposto por Benites et al. (2003) que consiste extração com base na solubilidade das diferentes frações em diferentes valores de pH. Foram obtidas as frações huminas (H), ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF). Para tanto, as amostras de solo foram tratadas com NaOH 0,1 mol.l⁻¹, agitadas manualmente e deixadas em repouso por 24 h.

Após esta etapa, foram centrifugadas a 5.000 x g por 30 minutos, repetindo o procedimento duas vezes. O pH do extrato alcalino foi ajustado para 1,0, pela adição de H₂SO₄ e deixando decantar por 18 h. O material acidificado foi filtrado e seu volume ajustado para 50 mL com água destilada (fração de ácidos fúlvicos). Sobre o precipitado foram adicionados NaOH 0,1 mol.l⁻¹ até a lavagem completa do filtro, ajustando o volume para 50 ml com água destilada (fração ácidos húmicos).

O material restante nos tubos foi considerado como a fração de huminas. A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos foi feita através do Analisador TOC-Modo líquido (Multi-C / N 2100, Analytik Jena), Laboratório de

Equipamentos, CAV-UDESC, Lages, SC. A quantificação de carbono da fração humina foi obtida através da oxidação do C com dicromato de potássio e titulação do excesso, com sulfato ferroso amoniacal de acordo com Yeomans & Bremner (1988).

Carbono particulado

Para quantificação do carbono particulado do solo, foram pesados aproximadamente 20 g de solo, diluídos em 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g.L^{-1}) e agitados por 15 horas em agitador horizontal. A porção em suspensão foi passada por uma peneira de 53 μm , sendo o material retido posteriormente seco em estufa a 50°C . Após a secagem, o solo foi moído em gral de porcelana e analisado em Analisador TOC (Multi-C / N 2100, Analytik Jena), Laboratório de Equipamentos, CAV-UDESC, Lages, SC, sendo o carbono total da amostra expresso em porcentagem (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992).

Análises químicas, físicas, climáticas e de manejo

Foram determinados os teores de potássio (K), fósforo (P), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e alumínio (Al), bem como a CTC (pH 7,0), soma de bases e percentuais de matéria orgânica (M.O.), no Laboratório da EPAGRI/Chapecó, SC, seguindo o protocolo de rotina Tedesco et al., (1995). Foram também determinados o carbono (C) e nitrogênio (N) totais do solo, em analisador por combustão (TOC) (Multi-C / N 2100, Analytik Jena), Laboratório de Equipamentos, CAV-UDESC, Lages, SC.

Na determinação dos atributos físicos, foram avaliadas a porosidade do solo (total, microporos, macroporos e bioporos), em mesa de tensão e a densidade do solo, determinada pelo método do anel volumétrico (Blake e Hartge, 1986). A campo, foram avaliadas a resistência à penetração, com uso do Penetrolog (Falker) e a umidade, com auxílio do Hidrofarm (Falker), na camada de 0 a 10 cm.

Finalizado o desenvolvimento da soja, foram coletadas todas as plantas em um metro quadrado, próximo aos pontos demarcados, para calcular a produtividade. As amostras foram transportadas para o Laboratório de Ecologia do Solo no CAV/UDESC, onde os grãos foram separados das plantas e secos em estufa com circulação de ar a 65°C até massa constante. A produtividade foi então estimada em Kg. ha^{-1} , obtendo um gradiente entre as áreas amostradas.

Foi realizado o levantamento do histórico climático e de manejo das lavouras. Os dados obtidos foram tabelados e às variáveis qualitativas foram atribuídos valores, de modo a permitir o uso desses fatores como explicativos nas análises multivariadas. Foram considerados o tempo

de plantio direto (em anos); classe de solo pelo teor de argila (de 1 a 4), segundo Manual de adubação e calagem (SBCS, 2016); cobertura de inverno (gramíneas, leguminosas, crucíferas e mix); aplicação de adubação orgânica; precipitação acumulada e temperatura média no ciclo da soja e no mês da coleta, bem como dados geográficos compostos por altitude, latitude e longitude.

Na ocasião das coletas, foi feita a avaliação da serapilheira em cada ponto, sendo determinada a quantidade, em quilos por metro quadrado e os percentuais de C e N, em Analisador TOC.

Análises estatísticas

Preliminarmente, os dados foram submetidos a testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade de White e as variáveis explicativas foram transformadas pelo critério Box-Cox (BOX e COX, 1964), no programa Past 3 (HAMMER; HARPER, RYAN, 2001). Para testar a hipótese central do estudo, foram utilizadas a *Non-metric Multidimensional Scaling* (NMDS) e Análise de Redundância (RDA) no programa CANOCO 5 (LEP'S & SMILAUER, 2005). Todas as análises de correlação foram executadas no programa Statistica 7.

Para realizar as análises estatísticas multivariadas, as matrizes de abundância foram transformadas em frequência de ocorrência, ou frequência relativa. Todas as demais variáveis abordadas foram plotadas como variáveis explicativas, sendo atributos químicos (K, Ca, Mg, P, matéria orgânica, pH, Al, saturação por bases, N e C totais do solo, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, humina e N e C da serapilheira); físicos (carbono particulado, densidade, porosidade total, microporos, macroporos, bioporos, resistência à penetração, umidade, teor de argila e classe de solo segundo teor de argila); microbiológicos (atividade da celulase, atividade da fosfatase ácida, potencial de inóculo micorrízico e comprimento de micélio extrarradicular); referentes ao manejo (massa seca de serapilheira, tempo de SPD, cobertura de inverno, adubação orgânica, safra e produtividade da soja); climáticos (precipitação e temperatura média no ciclo da soja e no mês da coleta); geográficos (latitude, longitude e altitude).

3.3 RESULTADOS

Foram identificados no total 32.035 colêmbolos, distribuídos em 19 morfotipos, sendo 5 edáficos, 10 hemi-edáficos e 4 epigeicos (Tabela 2). Foram calculados os índices de diversidade, riqueza e abundância separados por produtividade e por safra (Tabela 3).

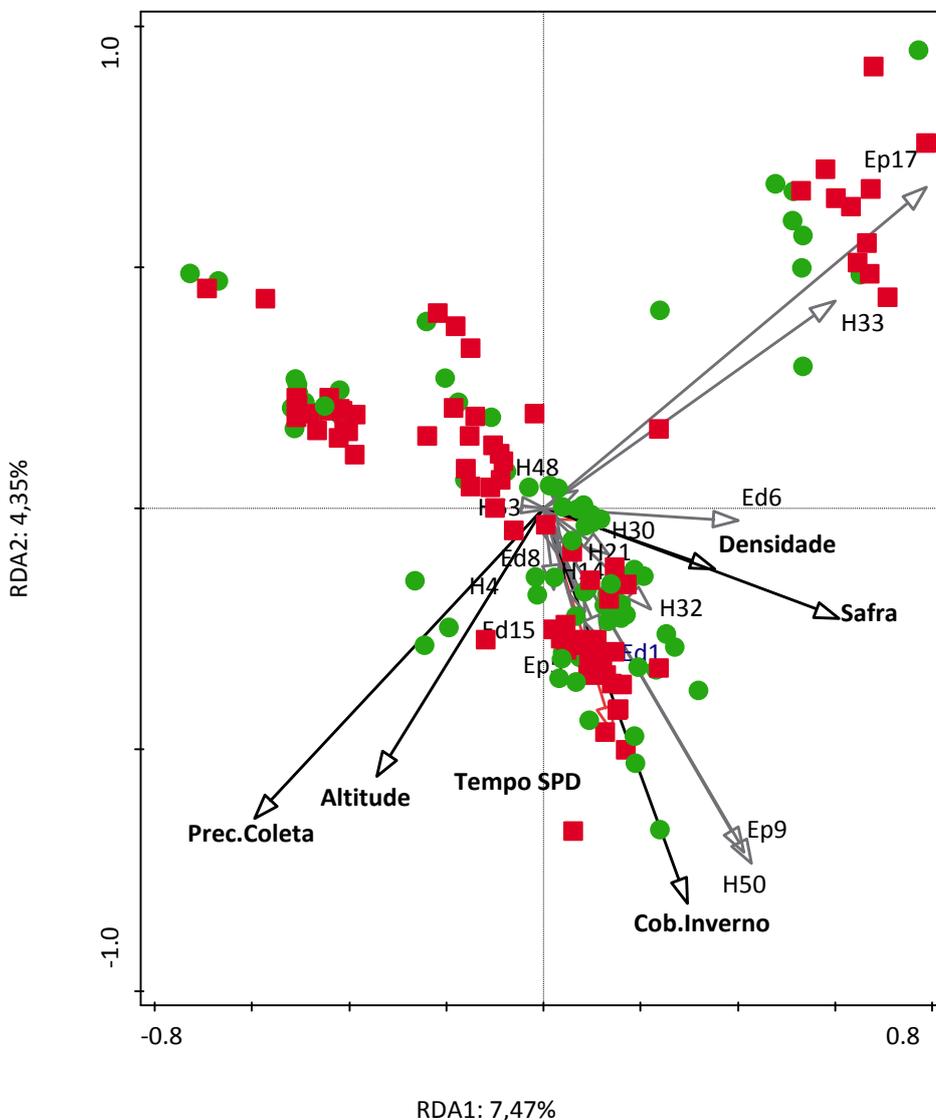
Tabela 6: Dados de abundância, riqueza e índices de diversidade de morfotipos de colêmbolos. Média dos pontos separados em alta produtividade (SPDA) e baixa produtividade (SPDB) e por ano agrícola.

	Safra 2016/2017		Safra 2017/2018	
	SPDA	SPDB	SPDA	SPDB
Abundância	72,65	213,7	251,84	391,37
Riqueza	2,96	3,61	4,1	4,03
Diversidade de Shannon (H')	0,58	0,65	0,62	0,76
Diversidade de Margalef	0,57	0,57	0,62	0,62
Dominância de Simpson (D)	0,67	0,64	0,66	0,58
Equitabilidade de Pielou (J)	0,58	0,55	0,46	0,56

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Para testar a hipótese de que a comunidade de colêmbolos apresenta diferentes estruturas em termos de características ecológicas ao longo dos níveis de produtividade, foi realizada uma Análise de Redundância baseada em distância de Bray-Curtis (db-RDA), com 1000 permutações de Monte-Carlo, forward selection e correção False Discovery Rate (FDR) de Benjamini-Hochberg (1995) (Figura 4).

Figura 11: Análise de Redundância baseada em distância de Bray-Curtis com *forward selection* e correção False Discovery Rate (FDR). Precipitação acumulada no mês da coleta em milímetros. Altitude em metros. Tempo de implantação do Sistema Plantio Direto (SPD) em anos. Densidade em gramas por centímetro cúbico. Amostras classificadas por produtividade. Verde- alta produtividade; vermelho- baixa produtividade.



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Pode-se observar que a produtividade não apresentou correlação com a distribuição dos morfotipos de colêmbolos, tanto pela observação da classificação por produtividade por igual contagem, considerando média e amplitude (símbolos vermelhos e verdes), quanto pela não significância do fator produtividade no gráfico.

Como houve efeito de safra na db-RDA, optou-se por trabalhar com os dados da primeira safra separados da segunda, para melhor visualização de quais fatores estariam influenciando na distribuição dos morfotipos de colêmbolos. Assim, as variáveis significativas

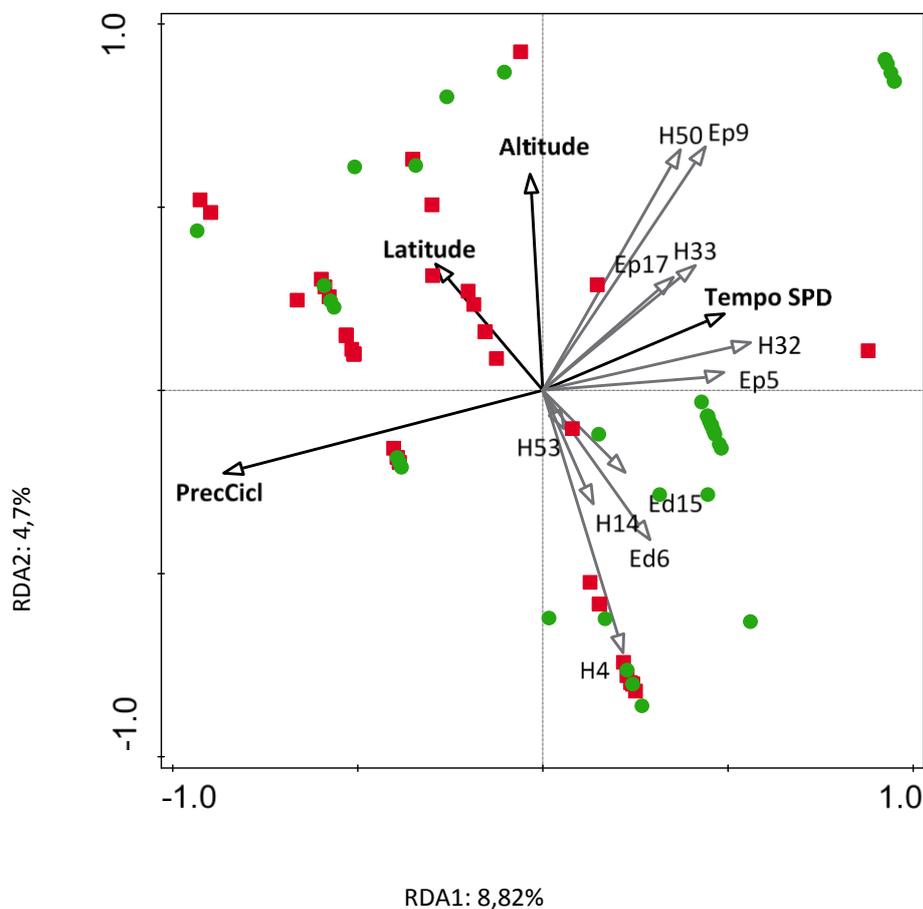
consideradas para os efeitos deste trabalho serão aquelas obtidas nas análises separadas por safra.

Resultados Safra 2016/2017

Foram identificados 8789 colêmbolos, divididos em 11 morfotipos: 2 edáficos, 6 hemiedáficos e 3 epigêicos.

Foi executada uma db-RDA com 1000 permutações de Monte Carlo e *forward selection* com correção FDR. As amostras foram classificadas por produtividade, em dois grupos de igual contagem (76 alta- 76 baixa), para melhor visualização da distribuição dos dados. Pode-se observar que não houve efeito da produtividade sobre a distribuição de morfotipos ao longo das lavouras amostradas, o que refuta a hipótese do trabalho (Figura 5). Os eixos explicaram 13,52% da variação dos dados (Eixo 1: 8,82%; eixo 2: 4,7%).

Figura 12: Análise de Redundância baseada em distância de Bray-Curtis (db-RDA) com *forward selection* e correção FDR de Benjamini-Hochberg para a safra 2016/2017. Classificação das amostras por produtividade. Verde- alta produtividade; vermelho- baixa produtividade.



Foram significativas a 5% as variáveis altitude, latitude, tempo de estabelecimento do SPD na lavoura e precipitação acumulada no ciclo da soja (Tabela 2), com explicabilidade acumulada de 20,1%. Valores de p ajustados com correção FDR.

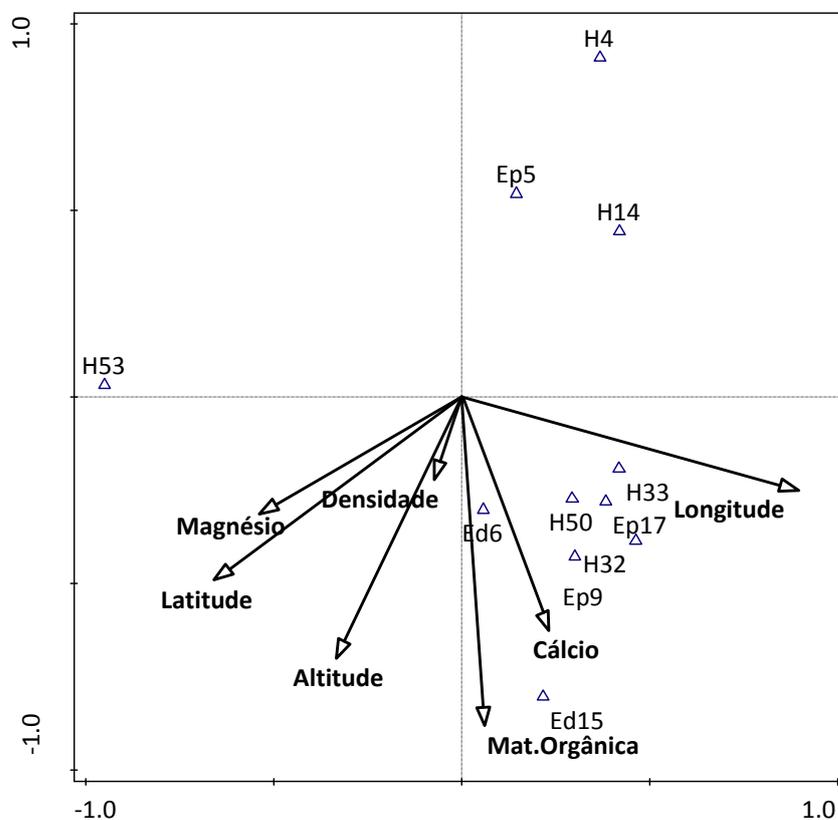
Tabela 7: Resultados da *forward selection* da db-RDA. Valores de p ajustados com correção FDR. Precipitação no ciclo da soja em milímetros. Tempo de implantação do Sistema Plantio Direto em anos. Altitude em metros. Latitude em Universal Transecta de Mercator (UTM). Significância a 5% ($p_{adj} \leq 0,05$).

Variável	Resultados da <i>forward selection</i>				
	Explicação %	Contribuição %	pseudo-F	P	P(adj)
Prec. No Ciclo	7.5	10.0	5.1	0.001	0.01224
Tempo de SPD	4.2	5.7	3.0	0.003	0.02937
Altitude	4.0	5.4	2.9	0.003	0.03671
Latitude	4.4	5.8	3.3	0.002	0.01958

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Para melhor visualização da contribuição dos fatores ambientais e geográficos sobre a comunidade de colêmbolos, foi realizado um particionamento da variabilidade de efeito simples com dois grupos: a- variáveis geográficas; b- variáveis químicas, físicas e microbiológicas e c- área de intersecção entre os grupos a e b. O comprimento do gradiente obtido foi de 3,6 sendo executada então uma Análise de Correspondência Canônica (CCA) com 1000 permutações de Monte Carlo (Figura 6).

Figura 13: Particionamento da variabilidade com efeito simples e dois grupos. Baseado em Análise de Correspondência Canônica (CCA) com *forward selection* e correção FDR. Densidade expressa em g.cm^3 . Magnésio e cálcio em cmol.c.Kg^{-1} Longitude e latitude em UTM. Matéria Orgânica em porcentagem. Altitude em metros.



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Todos os grupos e intersecção foram significativos ($p \leq 0,05$) (Tabela 3). No grupo “a”, as variáveis latitude, altitude e longitude foram significativas, explicando 4,3% da variabilidade dos dados. No grupo “b”, as variáveis Al, Mg, Ca, densidade e MO foram significativas, explicando 26,6% da variabilidade dos dados. O grupo “c”, representando explicação conjunta dos grupos a e b foi responsável pela variação de 24,3%.

Tabela 8: Resultado da variação explicada pelo particionamento da variabilidade com dois grupos e efeito simples.

Fração	Varição ajustada	% de explicação	% do total	DF	Mean Square
a	0.23856	7.7	4.3	3	0.10881
b	14.873	48.2	26.6	8	0.21643
c	13.598	44.1	24.3	--	--
Total					
Explicado	30.857	100.0	55.1	11	0.31974
Varição total	55.961	--	100.0	64	--

Fonte: Autora, 2020.

Com o objetivo de compreender melhor as relações entre os atributos que influenciam significativamente a comunidade de colêmbolos, foi realizada uma série de regressões baseadas no modo de vida. Para tanto, foram selecionadas as variáveis significativas resultantes da db-RDA e os colêmbolos edáficos, hemi-edáficos e epigéicos.

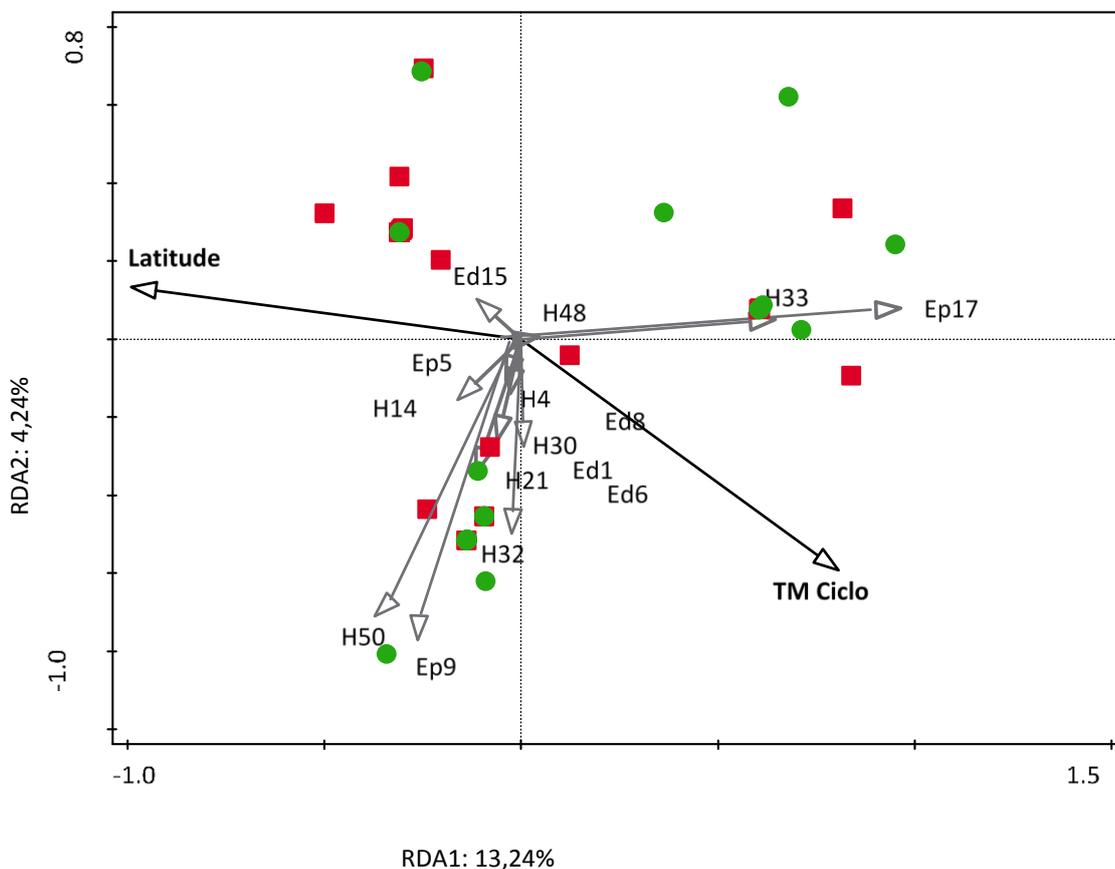
Foram apresentadas somente as correlações significativas a 5%. Para o grupo de colêmbolos edáficos, o tempo de plantio direto e a precipitação acumulada no ciclo foram significativas ($R^2=0,23$; $p=0,0349$ e $R^2=-0,20$; $p=0,0382$, respectivamente). Nenhuma das variáveis afetou o grupo de hemi-edáficos e epigéicos, como um todo.

Resultados Safra 2017/2018

Foram identificados 22.246 colêmbolos, divididos em 15 morfotipos, sendo: 4 edáficos, 8 hemiedáficos e 3 epigéicos.

Foi percorrida uma Análise de Redundância baseada em distância de Bray-Curtis, com 1000 permutações de Monte Carlo, *forward selection* para selecionar as variáveis explicativas e correção FDR de Benjamini-Huchberg (Figura 7). Os eixos explicaram 17,48% da variabilidade total dos dados (Eixo 1: 13,24%; eixo 2:4,24%).

Figura 14: Análise de Redundância baseada em distância de Bray-Curtis (db-RDA) com *forward selection* e correção FDR de Benjamini-Hochberg para a safra 2017/2018. Classificação das amostras por produtividade. Verde- alta produtividade; vermelho- baixa produtividade.



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Foram significativas a 5% as variáveis latitude e temperatura média no ciclo da soja (Tabela 4), explicando conjuntamente 19,5% da variação dos dados.

Tabela 9: Resultados da *forward selection* da db-RDA. Valores de p ajustados com correção FDR. Latitude em UTM. Temperatura média no ciclo da soja em graus Celsius. Significância a 5% ($p_{adj} \leq 0,05$).

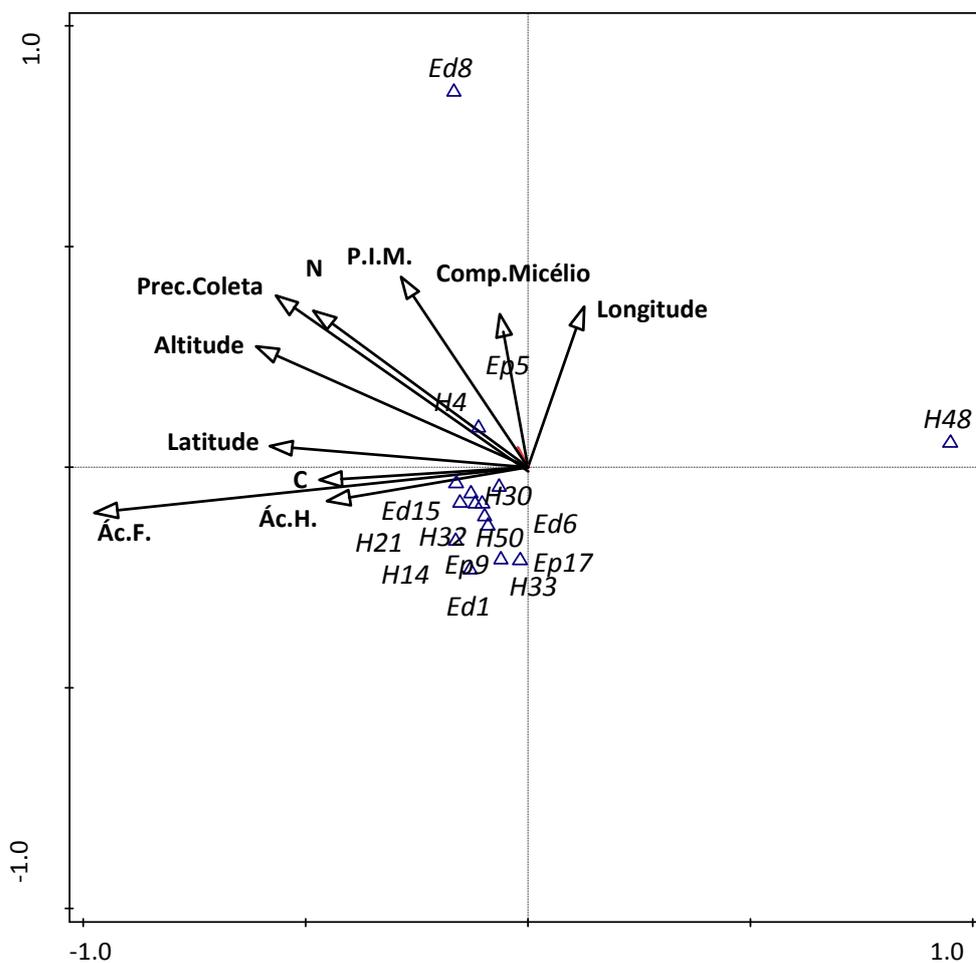
Variável	Resultado da <i>forward selection</i>				
	Explicação %	Contribuição %	pseudo-F	P	P(adj)
Latitude	13.1	16.0	8.3	0.001	0.01224
TM ciclo	4.4	5.4	2.9	0.001	0.01224

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Objetivando a melhor compreensão dos fatores que modelam a comunidade de colêmbolos, foi realizado o particionamento da variabilidade com dois grupos de efeito simples

e *forward selection* (Figura 8). O comprimento de gradiente obtido foi de 5,0 tendo sido executada uma Análise de Correspondência Canônica com 1000 permutações de Monte Carlo.

Figura 15: Particionamento da variabilidade com efeito simples e dois grupos. Baseado em Análise de Correspondência Canônica (CCA) com *forward selection* e correção FDR. Carbono e nitrogênio expressos em porcentagem. Longitude e latitude em UTM. Precipitação acumulada no mês da coleta expressa em milímetros. Ácidos húmicos e fúlvicos expressos em gramas de carbono por quilo de solo. Potencial de inóculo micorrízico em porcentagem. Altitude em metros.



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Os dois grupos de variáveis e a intersecção foram significativos a 5 % ($p \leq 0,05$) (Tabela 5). No grupo a, embora as três variáveis geográficas tenham sido significativas, a contribuição na explicação dos dados foi reduzida (<0,1%). No grupo b, das variáveis ambientais, a contribuição foi de 28,9%. O total explicado pelos grupos a e b conjuntamente foi de 15,3%.

Tabela 10: Resultado da variação explicada pelo particionamento da variabilidade com dois grupos e efeito simples.

Fração	Variação(adj)	% da explicação	% do total	DF	Mean Square
a	0.0016397	<0.1	<0.1	3	0.07287
b	21.037	65.5	28.9	9	0.29364
c	11.088	34.5	15.3	--	--
Total					
Explicado	32.141	100.0	44.2	12	0.34026
Varição total	72.693	--	100.0	56	--

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Com o objetivo de melhor compreender as relações entre colêmbolos e as variáveis que modelam a comunidade, foram realizadas regressões entre as ditas variáveis e os grupos edáficos, hemi-edáficos e epigeicos, como feito para a primeira safra. Nenhum dos atributos teve correlação com os colêmbolos quando agrupados por modo de vida.

3.4 DISCUSSÃO

Através dos resultados da db-RDA pode-se constatar que não há relação entre a produtividade da soja e a comunidade de colêmbolos, considerando a diversidade de morfotipos e o modo de vida, o que refuta a hipótese deste estudo.

O fator safra foi significativo para a explicação dos dados, conduzindo o estudo à abordagem das duas safras individualmente. Para o primeiro ano, quatro variáveis mostraram-se significativas enquanto modeladoras da comunidade de colêmbolos: latitude, altitude, tempo de plantio direto e precipitação acumulada no ciclo da soja. Entretanto, apesar de significativas, essas variáveis explicaram pouco a variabilidade total dos dados, indicando que a distribuição de morfotipos de colêmbolos provavelmente estava mais associada a fatores ecológicos.

Windefalk et al. (2016) avaliaram a influência de fatores ambientais e espaciais na composição da comunidade de colêmbolos, a qual foi avaliada com diferentes abordagens de traits, entre eles, o modo de vida. Através do particionamento da variabilidade, os autores também encontraram pouca explicabilidade dos fatores ditos abióticos, atribuindo a fatores bióticos a distribuição dos grupos.

O delineamento das comunidades edáficas pode se dar através da pressão abiótica, constituída pelos aspectos físicos, químicos e de manejo do solo, bem como o clima e a posição geográfica em que se encontram. O efeito desses atributos, em conjunto, é denominado fator homogeneizante. O restante do efeito modelador da comunidade é exercido pela própria ecologia do grupo, como dispersão, co-ocorrência e balanço entre reprodução e mortalidade. No caso deste estudo, pela baixa explicabilidade obtida na db-RDA (11,82%), pode-se inferir que a comunidade de colêmbolos nas lavouras pode ter sido mais influenciada por fatores bióticos.

Na safra de soja 2016/2017 os fatores ambientais que influenciaram positivamente da comunidade de colêmbolos foram a altitude, latitude, precipitação acumulada no ciclo da soja e tempo de plantio direto. Somente a precipitação e o tempo de plantio direto foram significativamente correlacionados aos colêmbolos agrupados por modo de vida e somente para morfotipos edáficos.

A umidade no solo afeta a reprodução, respiração e produção de alimentos para a comunidade de colêmbolos. A falta ou o excesso de água no solo então pode aumentar ou reduzir a densidade e diversidade de morfotipos (QUERNER et al., 2018). A precipitação acumulada no ciclo da soja afetou negativamente alguns morfotipos de colêmbolos, influenciando edáficos, hemiedáficos e epigeicos, indistintamente (Figura 5). Este fato pode ser devido tanto ao excesso de água no interior do solo, que limitou o acesso ao espaço poroso, por onde colêmbolos circulam, quanto à variabilidade sazonal da comunidade, conforme encontrado por Abbas e Parwez (2019).

Mausoleh (2017) afirma que, embora colêmbolos em geral demonstrem preferência por solos úmidos e mais quentes, as espécies edáficas costumam ser mais afetadas negativamente por temperaturas extremas, enquanto as hemiedáficas e epigéicas tendem a ser mais sensíveis às alterações abruptas nos teores de umidade. Esse padrão de comportamento pode ser devido às diferenças de mobilidade e ocupação de habitat entre os grupos. Espécies edáficas, por exemplo, possuem menor resistência à dessecação, sendo mais sensíveis à falta de água.

Na safra 2016/2017 o tempo de plantio direto, bem como a altitude e latitude tiveram efeito positivo sobre a comunidade de colêmbolos, influenciando a distribuição de morfotipos hemiedáficos e epigéicos. No plantio direto, à medida em que o sistema se consolida, há maior acumulação de resíduos vegetais na superfície do solo, que oferece maior possibilidade de alimento e abrigo aos colêmbolos.

A latitude e altitude, por sua vez, são variáveis que também afetam a decomposição da matéria orgânica, afetando indiretamente a dinâmica das comunidades edáficas (DECAËNS, 2010). Essa relação pode ser observada com maior detalhamento no particionamento da variabilidade, onde novamente as variáveis geográficas, bem como o teor de matéria orgânica, confirmam sua importância na estrutura da comunidade (Figura 6).

A relação entre colêmbolos e cátions trocáveis (K, Mg e Ca) é uma constante em estudos que avaliam esse grupo da mesofauna. Segundo os autores, isso pode ser devido ao estado nutricional do solo, que confere maior diversificação da microflora e, conseqüentemente, oferece ampla disponibilidade de alimento para os colêmbolos (CASSAGNE et al., 2003; OLIVEIRA FILHO et al., 2016; MACHADO et al., 2019).

Na segunda safra (2018/2019), os teores de ácidos húmicos, fúlvicos e carbono aparecem com seus vetores próximos da altitude e latitude, o que corrobora para a já citada relação entre a comunidade de colêmbolos e a decomposição da matéria orgânica, o que coincide com o encontrado em outros estudos (OLIVEIRA FILHO et al., 2016; WANG et al., 2017).

Estudos comparativos da comunidade de colêmbolos em diferentes tipos de uso de solo encontraram correlação positiva entre colêmbolos edáficos e hemiedáficos com o potencial de inóculo micorrízico e também com o comprimento de micélio, conforme encontrado no presente estudo (Figura 8), o que mostra uma diferenciação de nicho desses grupos (OLIVEIRA FILHO et al., 2016). De fato, vários autores já relataram a influência de colêmbolos na dispersão e, conseqüentemente, aumento do poder de infecção de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (CARAVACA, 2014; GRAF et al., 2019; LeFAIT et al., 2019).

Um estudo avaliando as preferências alimentares de colêmbolos, relata que, embora esse grupo apresente favoritismo por fungos fitopatogênicos, hifas e esporos de FMA são de alta palatabilidade para algumas espécies de colêmbolos (INNOCENTI E SABATINI, 2018).

3.5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que não houve relação entre a distribuição da comunidade de colêmbolos e a produtividade da soja nas lavouras amostradas. Os dados mostram que a comunidade pode ter sido influenciada principalmente por fatores bióticos não avaliados, uma vez que os fatores abióticos apresentaram baixos valores de explicação nas análises multivariadas.

A relação entre colêmbolos e o estado nutricional das plantas e, conseqüentemente, a produção de grãos, é um aspecto que já vem sendo abordado por outros autores. No presente estudo, e esta relação não se comprova, indicando que a distribuição do grupo ao longo da paisagem pode estar sendo influenciada por processos ecológicos, como co-ocorrência, imigração, dispersão e *drift* (morte e vida ao acaso).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, M.J., PARWEZ, H. Effect of habitat quality, microclimatic conditions and waste water contamination on diversity & distribution of Collembola community. **BioRxiv**. 2019.
- ANDRE, H.M., NOTI, M-I, LEBRUN, P. The soil fauna: the other last biotic frontier. **Biodivers. Conserv.** v.3, p.45–56, 1994.
- BARETTA, D. et al. Fauna edáfica avaliada por armadilha e por catação manual afetada pelo manejo do solo na região Oeste Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.2, n.2, p.97-106, 2003.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. 2003. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Comunicado Técnico 16, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 7pp.
- BHAGAWATI, S. et al. Impact of soil physicochemical properties on the density and diversity of Collembola in Majuli river island, Assam, India. **Journal of Entomology and Zoology Studies**. v.5, p. 837-842, 2018.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1.* Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.
- BOX GEP; COX DR. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society**, v. 26, p.211-252, 1964.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.
- CARAVACA F, RUESS L. Arbuscular mycorrhizal fungi and their associated microbial community modulated by Collembola grazers in host plant free substrate. **Soil Biol Biochem**. v.69, 2014.
- CASSAGNE, N., GERS, C., GAUCHELIN, T. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). **Biology and fertility of soils**. v.37.p.355-361, 2003.
- DECAËNS, T. Macroecological patterns in soil communities. **Global Ecol. Biogeography**. v.19, p.287–302., 2010.

DENG, S.P., TABATABAI, M.A. Cellulase activity of soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 26. p.1347-1354, 1994.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, D. **PAST: Paleontological Statistics Software Package**. 2001 for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1):p. 9.

IBGE. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/pesquisa/14/10193?tipo=ranking&indicador=10368>.

Acesso em: 21 de janeiro de 2020.

INNOCENTI, G., SABATINI, M.A. Collembola and plant pathogenic, antagonistic and arbuscular mycorrhizal fungi: a review. **Bulletin of insectology**. v.71, p.71-76, 2018.

JERNIGAN, A.B. et al. Legacy effects of contrasting organic grain cropping systems on soil health indicators, soil invertebrates, weeds and crop yield. **Agricultural Systems**. v.117, 2020.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, 92:486-505, 1989.

LEP'S J, SMILAUER P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. **Bull. Ecol. Soc. Am.**v.86, 2005.

MACHADO, J.S., OLIVEIRA FILHO, L.C.L., SANTOS, J.C.P., PAULINO, A.T., BARETTA, D. **Biota neotropica**. v.19, 2019.

MAUSOLEH, E.D. Long-term development of Collembola communities on a former rubble deposit. Tese de doutorado. Universidade de Bremen, Alemanha. 2017.

MCGONIGLE, T. P. et al. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, p. 495-501. 1990.

MELLONI, R. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. Piracicaba, SP, ESALQ, Dissertação (Curso de Mestrado), 1996.

NSENGIMANA, V., KAPLIN, B.A., FRANCIS, F., NSABIMANA, D. Use of soil and litter arthropods as biological indicators of soil quality in forest plantations and agricultural lands: A Review. **Entomologie faunistique**. v.71, 2018.

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

ORTIZ, D.C. et al. Diversity of springtails (Collembola) in agricultural and forest systems in Southern Santa Catarina. ***Biota Neotropica***. v.19, 2019.

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

POMPEO, P.N. et al. Morphological diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***. v.41, 2017.

QUERNER, P. et al. Habitat Structure, Quality and Landscape Predict Species Richness and Communities of Collembola in Dry Grasslands in Austria. *Insects*. v.8, 2018.

ROGER-ESTRADE, J. et al. Tillage and soil ecology: partners for sustainable agriculture. ***Soil and Tillage Research***. v.111, p. 33-40, 2010.

SANTOS, M.A., et al. Morphological diversity of springtails in Land Use Systems. ***Rev. Bras. Ciênc. Solo***. v.41, 2017.

SEASTEDT, T.R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. ***Annual Review of Entomology***. v. 29, 1984.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – Porto Alegre, 2016.

STATSOFT, Inc., **STATISTICA** (Data analysis software system). Version 7. Disponível em:<www.statsoft.com>, 2018.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M., eds. The decomposer organisms. In: *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Berkeley, University of California Press, 1979. p. 66-117.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S. *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.775-883.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. *Análises de solos, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

VANDEWALLE, M. 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.

WINDEFALK, L.A., MALMSTROM, A., BERG, M.P., BENGTSSON, J. Small-scale Collembola community composition in a pine forest soil- Overdispersion in functional traits indicates the importance of species interactions. ***Soil Biology and Biochemistry***. v.103. p, 52-62, 2016.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. ***Commun. Soil Sci. Plant. Anal.***, 19:1467-1476, 1988.

ZAGATTO, M.R.G. Soil mesofauna in consolidated land use systems: how management affects soil and litter invertebrates. ***Scientia Agricola***, v.76, p.165-171, 2019.

4 CONCLUSÃO GERAL

Os resultados indicam que a distribuição das comunidades de ácaros e colêmbolos não apresenta diferenças significativas entre os diferentes níveis de produtividades de soja. As análises de redundância mostraram ainda que atributos físicos, químicos, de manejo e clima pouco explicaram a distribuição dos grupos, o que nos permite inferir que os processos ecológicos das comunidades são mais importantes nos cenários avaliados, tais como a dispersão, co-ocorrência entre ácaros e colêmbolos, migração e morte e vida ao acaso (*drift*).

Para ácaros, as variáveis abióticas que mais contribuíram para a distribuição dos grupos foram os teores de magnésio e argila e a temperatura média no ciclo da soja, correlacionando-se diferentemente com os grupos identificados. Para colêmbolos, as variáveis abióticas que influenciaram na distribuição dos morfotipos foram latitude, altitude, precipitação e temperatura no ciclo da soja e tempo de estabelecimento do SPD nas áreas estudadas.

Sugere-se, para estudos posteriores, a seleção de um conjunto de informações relacionados à produtividade da soja além do rendimento, como a biomassa e a condição nutricional de raízes e parte aérea, bem como aspectos fisiológicos da planta relativos à produção de grãos.