

ELSTON KRAFT

**INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO E SUAS RELAÇÕES
COM PRODUTIVIDADE DE SOJA (*Glycine max* L.) NO OESTE CATARINENSE**

Dissertação 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 obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Dilmar Baretta

**LAGES
2018**

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

Kraft, Elston

Indicadores biológicos de qualidade do solo e suas relações com produtividade de soja (*Glycine max* L.) no oeste catarinense / Elston Kraft. - Lages , 2018.

112 p.

Orientador: Dilmar Baretta

Co-orientador: Osmar Klauberg Filho
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação , Lages, 2018.

1. Biologia do solo. 2. Sistema conservacionista. 3. Sustentabilidade. I. Baretta, Dilmar. II. Klauberg Filho, Osmar. , .III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação . IV. Título.

ELSTON KRAFT

**INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO E SUAS RELAÇÕES
COM PRODUTIVIDADE DE SOJA (*Glycine max* L.) NO OESTE CATARINENSE**

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

Banca Examinadora:

Orientador:



Dr. Dilmar Baretta, UDESC – Chapecó, SC

Membros internos:



Dr. Osmar Klauberg Filho, UDESC – Lages, SC

Membros externos:



Dr. Paulo Roger Lopes Alves. UFFS – Chapecó, SC

Lages, 16 de Julho de 2018

DEDICO

Em especial a minha família,
namorada e amigos, assim como, a
todos aqueles que contribuíram para
este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me guiado por este caminho que hoje estou.

Agradeço aos meus pais Siegbert e Edenice, irmão Andrei e meus avós maternos Alvirio e Inês, por nunca ter me faltado com apoio, compreensão, carinho e palavras de incentivo mesmo nos momentos de maior dificuldade.

A minha amiga e namorada Rafaela pelo apoio, por manter meus pés no chão, compreensão nos momentos de dificuldade, por estar ao meu lado nos momentos de desabafo, sendo a mediadora entre a razão e minha emoção.

Ao Professor Dr. Dilmar Baretta por ter confiado em mim para desenvolver esse projeto e tambem a Professora Dr. Carolina R.D.M. Baretta pelas orientações, debates, dúvidas sanadas, conselhos e claro pela amizade ao longo desses anos. Agradeço também ao Professor Dr. Osmar por toda ajuda durante esse caminho, que deve ter cansado de ouvir eu lhe pedindo “Professor preciso de carro pra coleta” afinal foram muitas.

Ao meu amigo e irmão de coração Douglas que ganhei ao longo desse caminho, te agradeço pelas conversas, descontrações e debates científicos. E toda sua família Sr. Ouzair, Sra Sirlei, Larissa e Lucia que me acolheram como um filho, sempre tão preocupados e cheios de carinho. Também ao Júlio Cândido Lopes, pela amizade, companheirismo, troca de saberes, filosofias e ótimas conversas.

Aos colegas e acima de tudo amigos Patrícia Nogueira, Francisca, Patricia Oliveira e Gabriele, que trabalharam firmemente nesse projeto auxiliando em diferentes etapas, calaborando para que tudo isso fosse possível, além é claro dos momentos de alegrias e descontração.

Aos parceiros de guerra André e Matheus, que pelejaram no campo abaixo de sol forte e mormaço, mas que tambem foram parceiros de muitas alegrias. Também ao Edpool que por muitas vezes foi uma mão e tanto que nos 45 do segundo tempo sempre estava disposto a ajudar e pela amizade que fizemos ao longo desse caminho, demonstrando sempre ter um coração enorme. E aos demais amigos e colegas do laboratório de solos da UNOCHAPECÓ, Neymar, Elizeu, Isabela e Janier.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Solos do CEO, Júlia Segat, Daniel, Tamires, Cleverson, Ana, Patrick. E tambem aos que foram e continuam sendo do laboratório de ecologia do solo do CAV, Ana Maccari, Letícia, Pâmela, Julia Machado, Gilvani, Priscila, Ana Lovatel, Mariana (Mariola), Felipe, Eduardo e Vanessa (Vane), pelas conversas, momentos de

descontração, foram muitos momentos de esforço braçal no campo e no laboratório, tambem por terem me acolhido tão bem no laboratório, a vocês agradeço imensamente.

Ao Márcio Gonçalves da Rosa, pessoa que tive oportunidade de conhecer melhor ao longo do tempo, demonstrando seus princípios e conceitos, auxiliando e aconselhando desde o começo dessa caminhada, agradeço por sua amizade.

Ao Luís Carlos Iuñes de Oliveira Filho, que foi um grande parceiro nessa reta final, foram muitos os debates sobre estatística, como trabalhariamos com os dados, cada pouco surgindo novas ideias e inumeras possibilidades de trabalhos para desenvolvemos.

Aos amigos e parceiros de trabalho Juan e Mayara por fazerem parte deste projeto, acompanhando e desenvolvendo juntos, por vezes momentos um pouco tenso, mas que ao final sempre valeu e vale a pena.

Ao Leandro e Evandro, amigos e parceiro fundamentais desse projeto e de outros já realizados.

Aos Produtores Diego e Rodrigo Alessio, Marcos Zanrossi, Rudimar Honaiser, Vilmar e Matheus Tonatto, que abriram as portas de suas propriedades e possibilitaram a execução desse trabalho.

A UDESC por proporcionar ensino gratuito e de qualidade, bem como a concessão da bolsa de estudos PROMOP, e aos demais colegas do programa de pós graduação em ciência do solo. Tambem a UNOCHAPECÓ e a EPAGRI coloaboradoras desse projeto.

A Fundação agrisus, pela aprovação do projeto PA 1894/16, no qual o apoio financeiro foi de fundamental importância para o desenvolvimento do mesmo.

A todos vocês meu MUITÍSSIMO OBRIGADO por fazerem parte destes momentos, essa conquista tambem é de vocês, onde cada um foi peça fundamental a conclusão dele.

RESUMO

KRAFT, Elston. **Indicadores biológicos de qualidade do solo e suas relações com a produtividade de soja (*Glycine max* L.) no Oeste Catarinense.** 2018. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2018.

O Sistema Plantio Direto (SPD) se destaca por um conjunto de práticas e processos, sendo amplamente difundido, melhorando os atributos químicos, físicos e principalmente os de cunho biológico, proporcionando alterações na qualidade do solo com reflexos na produtividade das culturas. Porém, verifica-se a necessidade de avançar nos estudos sobre a biologia do solo em SPD e suas relações com a produtividade das culturas. O objetivo do estudo foi avaliar indicadores biológicos de qualidade do solo e sua relação com outros atributos químicos e físicos do solo e a produtividade da soja em SPD. Foram selecionados sistemas abrangendo os municípios de Campo Largo, Chapecó e Faxinal dos Guedes, Maravilha, amostrando-se SPD envolvendo um gradiente de Alta (SPDA) ($>3600 \text{ Kg ha}^{-1}$), Média (SPDM) ($3600 - 2400 \text{ Kg ha}^{-1}$) e Baixa (SPDB) ($<2400 \text{ Kg ha}^{-1}$) produtividade de soja, além de Mata Nativa (MN). A amostragem foi realizada sob uma grade amostral de 3×3 pontos, com espaçamento entre cada ponto de 30 m. Para amostragem da fauna edáfica utilizaram-se dois métodos, o método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) e as armadilhas de solo (*Pitfall traps*). Ainda, foram coletados amostras de solo para avaliação de Enchytraeidae e avaliação dos atributos microbianos, carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e quociente microbiano ($q\text{Mic}$). Como variáveis explicativas foram utilizados atributos químicos, físicos do solo e também microbianos. Apartir dos dados da fauna edáfica foram gerados os índices de diversidade de Shannon-Wiener (H'), equabilidade de Pielou (J) e Dominância (D), Riqueza, indivíduos por armadilha (Ind. arm^{-1}) e por metro quadrado (Ind. m^2). Os dados microbianos, riqueza média e Ind. m^2 foram submetidos a análise de variância e as médias submetidas ao teste de Tukey ($P > 0,05$), além de regressões lineares entre os índices de diversidade e produtividade da soja. Realizaram-se a Análise de Componente Principal (ACP), seguida da Análise de Redundância (AR). Os resultados obtidos na MN se diferenciaram dos sistemas SPDA, SPDM e SPDB. Os índices de H' e J , amostrados por TSBF seguiram o gradiente de produtividade SPDA>SPDM>SPDB, sendo na análise de regressão linear observados valores de R^2 moderados e significativos entre os mesmos e a produtividade, no entanto, o índice D apresentou correlação negativa com a produtividade. Na ACP, para ambos os métodos foi possível identificar a separação dos níveis de produtividade de soja, destacando a maior diversidade de grupos da fauna edáfica em SPDA produtividade amostrada por TSBF, havendo neste sistema maior abundância de grupos Oligochaeta, Chilopoda, Dermaptera, Araneae, Diplopoda, Thysanoptera, Orthoptera e presença de alguns grupos de predadores. A fauna edáfica mais abundante em SPDA, amostradas por armadilhas, foram: Oligochaeta, Protura, Diptera, Diplopoda, Blattodea e Symphyla. O SPDA também apresentou os maiores teores de matéria orgânica do solo (MO), $q\text{CO}_2$, CBM, teores de argila, fósforo (P), umidade e a resistência a penetração na cama de 0 a 10 cm de profundidade (RP0-10). A avaliação de gêneros de Enchytraeidae demonstrou potencial de utilização como indicadora, onde, os índices de diversidade de H' , J , e Ind. m^2 seguiram a tendência de maiores valores na Mata Nativa (MN)> SPDA>SPDM>SPDB. O gênero *Fridericia* ficou associado ao SPDA, explicado pelos maiores teores de Ca. Dentre os indicadores microbianos os SPDA apresentou os maiores valores de RBS, $q\text{CO}_2$ e foram afetados pelos maiores teores de MO. Já o SPDB demonstrou maiores CBM e $q\text{Mic}$, apresentando correlação com os teores de alumínio (Al), P e RP0-10. Avaliação da biologia do solo demonstrou potencial de utilização na avaliação da produtividade em SPD, com aumento na produtividade através do aumento da biodiversidade da fauna edáfica, em condições químicas e físicas do solo semelhantes.

Palavras-chave: Biologia do solo. Sistema conservacionista. Sustentabilidade.

ABSTRACT

KRAFT, Elston. **Biological indicators of soil quality and its relation with soybean yield (*Glycine max* L.) in West of Catarinense.** 2018. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2018.

The No-Tillage system (NT) stands out by a set of practices and processes, being widely disseminated, improving the chemical, physical and especially biological attributes, providing changes in soil quality with reflections on crop productivity. However, there is a need to advance studies on NT soil biology and its relationships with crop productivity. The objective of the study was to evaluate biological indicators of soil quality and its relationship with other chemical and physical soil attributes and soybean yield in NT. We selected systems covering the municipalities of Campo Largo, Chapecó, Faxinal dos Guedes and Maravilha. NT being sampled involving a High NTH ($> 3600 \text{ Kg ha}^{-1}$), Medium (NTM) ($3600 - 2400 \text{ Kg ha}^{-1}$) and Low (NTL) ($< 2400 \text{ kg ha}^{-1}$) yield of soybean, in addition to Forest Native (FN). Sampling was performed under a sample grid of 3×3 points, with spacing between each point of 30 m. Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) and soil traps (Pitfall traps) were used to sample the soil fauna. In addition, soil samples were collected for Enchytraeidae evaluation and evaluation of microbial attributes, microbial biomass carbon (MBC), soil basal respiration (SBR), metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) and microbial quotient ($q\text{Mic}$). Chemical and physical attributes of the soil were used as explanatory variables, as well as microbial ones. The values of diversity of Shannon-Wiener (H'), Equality of Pielou (J) and Dominance (D), wealth and individuals per trap (Ind. Trap^{-1}) and per square meter (Ind. m^2). The data microbiology, average wealth and Ind. m^2 were submitted to analysis of variance and the Tukey test ($P > 0.05$), as well as linear regressions between soybean diversity and productivity indexes. Principal Component Analysis (PCA) was performed, followed by Redundancy Analysis (RDA). The results obtained in the FN differed from the NTH, NTM and NTL systems. The indices of H' and J , sampled by TSBF followed the productivity gradient NTH>NTM>NTL, being in the linear regression analysis observed moderate and significant R^2 values between them and the productivity, however, the D index showed correlation negative with productivity. In the PCA, for both methods it was possible to identify the separation of soybean productivity levels, highlighting the greater diversity of soil fauna groups in NTH productivity sampled by TSBF, with a greater abundance of Oligochaeta, Chilopoda, Dermaptera, Araneae, Diplopoda, Thysanoptera, Orthoptera, and presence of some groups of predatory. The most abundant soil fauna in NTH, sampled by traps, were: Oligochaeta, Protura, Diptera, Diplopoda, Blattodea and Symphyla. NTH also showed the highest soil organic matter (OM), $q\text{CO}_2$, MBC, clay, phosphorus (P), moisture content and resistance to bed penetration from 0 to 10 cm depth (RP0-10). Soil biology evaluation showed potential of use in the evaluation of productivity in NT, with increase in productivity by increasing the biodiversity of soil fauna, in similar chemical and physical soil conditions.

Key words: Soil biology. Conservation system. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização dos municípios escolhidos para amostragem de solo: Chapecó, Campo Êre, Faxinal do Guedes e Maravilha 43
- Figura 2 - Dados de precipitação (mm), temperatura máxima, mínima e média (°C) durante o período de avaliação de setembro de 2016 a março de 2018, com base nos dados da EPAGRI/CEPAF/CHAPECÓ e INMET 44
- Figura 3 - Representação da grade amostral de 3 × 3 pontos e esquema de amostragem de solo ao redor de cada ponto 45
- Figura 4 - Correlação entre os índices de diversidade de Shannon-Wiener (H'), equabilidade de Pielou (J) e dominância (D) da fauna edáfica amostrados por monólitos de solo (TSBF) e a produtividade de soja em sistemas plantio direto no Oeste de Santa Catarina, independente do ano de amostragem para os dois anos de avaliação. $n = 24$ 60
- Figura 5 - Análise de Componentes Principais (ACP) para os grupos taxonômicos da fauna edáfica no 1^a Ano de coleta (A), 2^a Ano de coleta (B) e para os dois anos de coleta juntos (C), as variáveis explicativas em vermelho e os Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina . Dipt = Diptera; L. Col = Larva de Coleoptera; Ara = Araneae; Col= Coleoptera; Ort = Orthoptera; Enchy = Enchytraeidae; Chi = Chilopoda; Olig = Oligochaeta (Minhocas); Der = Dermaptera; Dip = Diplopoda; Dipl = Diplura; Gas = Gastropoda; Hem = Hemiptera; Thy = Thysanoptera; Sym = Symphyla; Bla = Blattodea; Sip = Siphonaptera; For = Formicidae; Out = Outros; Umidade; Al = Alumínio; RP0-10 = Resistência a penetração 0-10 cm de profundidade e P = Fósforo. CP1 = Componente Principal 1; CP2 = Componente Principal 2 62
- Figura 6 - Análise de Componentes Principais (ACP) para os grupos taxonômicos da fauna edáfica no 1^a Ano de coleta (A), 2^a Ano de coleta (B) e para os dois anos juntos (C), as variáveis explicativas em vermelho e os Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina . Dipt = Diptera; L. Col = Larva de Coleoptera; Ara = Araneae; Aca = Acarina Col= Coleoptera; Coll = Collembola; Ort = Orthoptera; Enchy = Enchytraeidae; Chi = Chilopoda; Olig = Oligochaeta (Minhocas); Der = Dermaptera; Dip = Diplopoda; Dipl = Diplura; Gas = Gastropoda; Hem = Hemiptera; Thy = Thysanoptera; Sym = Symphyla; Bla = Blattodea; Sip = Siphonaptera; Isop = Isopoda; For = Formicidae; Ter = Termitidae; Tri = Trichoptera; Out = Outros; Umidade; Al = Alumínio; RP0-10 = Resistência a penetração 0-10 cm de profundidade e P = Fósforo. CP1 = Componente Principal 1; CP2 = Componente Principal 2 69
- Figura 7 - Análise de Componentes Principais (ACP) para os gêneros de Enchytraeidae (em itálico), variáveis explicativas (em vermelho) e os Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja (em azul) no Oeste de Santa Catarina. qCO₂ = Quociente metabólico; Ca = Cálcio; pH; qMic = Quociente microbiano; RP0-10 = Resistência a penetração 0-10 cm de profundidade. CP1 = Componente Principal 1; CP2 = Componente Principal 2. 76
- Figura 8 - Análise de Componentes Principais (ACP) na 1^a Ano (A); 2^a Ano (B) e os dois Anos juntos (C) para os atributos microbianos carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente microbiano (qMic) e quociente metabólito (qCO₂), as variáveis explicativas em vermelho e os Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina. MO = Matéria Orgânica; Umidade; pH; Ca = Cálcio; Al

= Alumínio; RP0-10 = Resistência a penetração 0-10 cm de profundidade e P = Fósforo. CP1 = Componente Principal 1; CP2 = Componente Principal 2.....82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores químicos, físicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.	30
Tabela 2 - Teores de Argila, pH, Fósforo (P), Potássio (K), Matéria Orgânica (MO), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Resistência a Penetração na camada 0-10 cm de profundidade (RP0-10), Resistência a Penetração na camada 10-20 cm de profundidade (RP10-20) e Umidade nos Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja em quatro municípios do Oeste de Santa Catarina. (n = 4).	55
Tabela 3 - Riqueza média, Densidade média (Indivíduos por metro quadrado – Ind. m ²), índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') índices de Dominância (D) e equabilidade de Pielou (J) dos grupos da fauna edáfica amostrados por monólitos de solo (TSBF) em Mata Nativa (MN) e nos Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina. n = 4	57
Tabela 4 - Riqueza média, abundância média (Indivíduos por armadilha – Ind. arm ⁻¹), índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') índices de Dominância (D) e equabilidade de Pielou (J) dos grupos da fauna edáfica amostrados por Pitfall traps em Mata Nativa (MN) e nos Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina . n = 4	66
Tabela 5 - Riqueza média, densidade média (Indivíduos por metro quadrado – Ind. m ²), índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') índices de dominância (D) e equabilidade de Pielou (J) dos gêneros de Enchytraeidae em Mata Nativa (MN) e nos Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina. N = 4	73
Tabela 6 - Respiração Basal do Solo (RBS), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Quociente Metabólico (qCO ₂), Quociente Microbiano (qMic) e Carbono Orgânico Total (COT), em Mata Nativa (MN) e nos Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina.	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	HIPÓTESES E QUESTÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS.....	22
1.2	OBJETIVO GERAL	22
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1	SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	25
2.2	QUALIDADE DO SOLO	27
2.3	BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO	31
2.3.1	Fauna edáfica.....	34
2.3.2	Indicadores microbianos	38
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	43
3.2	MÉTODOS DE AMOSTRAGEM.....	45
3.3	VARIÁVEIS ANALISADAS.....	46
3.3.1	Atributos químicos e físicos.....	46
3.3.2	Fauna edáfica.....	46
3.3.3	Atributos microbianos do solo	48
3.3.4	Outras avaliações	49
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1	VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	53
4.2	VARIÁVEIS RESPOSTAS	56
4.2.1	Fauna edáfica.....	56
4.2.1.1	Fauna edáfica por Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF)	56
4.2.1.2	Fauna edáfica por Pitfall traps	65
4.2.1.3	Diversidade de gêneros de Enchytraeidae	73
4.2.2	Atributos microbianos do solo	77
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
	REFERÊNCIAS	87
	APÊNDICES.....	105

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de entender e avaliar a qualidade do solo, através da utilização de indicadores tem sido apontada como um dos principais compromissos da ciência do solo (CHERUBIN et al., 2015; PAZ-FERREIRO; FU, 2016; BALOTA, 2017). Neste contexto, a qualidade do solo adquire uma dimensão importante relacionada às estratégias de conservação, boas práticas agrícolas e sustentabilidade dos agroecossistemas.

A qualidade do solo pode ser dimensionada a partir da avaliação de seus indicadores sobre os parâmetros químicos, físicos e de mais difícil mensuração biológicos do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Desta maneira, representa a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, mantendo e/ou melhorarando características essenciais para a vida (DORAN; PARKIN, 1994).

A interação entre esses parâmetros pode ser modificada de acordo com as práticas de manejo do solo adotadas, tais como o sistema plantio direto (SPD) que promove alterações na qualidade do solo, sendo atualmente uma das práticas de manejo do solo mais difundidas no Brasil, com mais de 31 milhões de hectares (*Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO*, 2015). Os princípios para sua execução adequada, baseia-se no mínimo revolvimento do solo apenas na linha de cultivo, rotação de culturas e a cobertura permanente do solo, através de cobertura viva ou morta (PECHE FILHO, 2005; FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO – FEBRAPDP, 2018).

A partir da utilização do SPD foram obtidos grandes avanços no que se refere a conservação do solo e da água em sistemas cultivados. Porém, à medida que se intensificam os conhecimentos sobre o mesmo, percebe-se que a utilização de atributos químicos e físicos comumente utilizados como indicadores, não são suficientes para mesurar a qualidade do solo, uma vez que sofrem influência dos atributos biológicos, havendo como consequência a variabilidade no rendimento das culturas, como já identificado por pesquisadores (NICOLODI; GIANELLO, 2017). Assim, à necessidade de avaliação conjunta destes atributos com a biologia do solo, visando elucidar as questões relacionadas a qualidade do solo e o rendimento das culturas.

Atualmente, tem se discutido sobre o ruído na fertilidade do solo, causado pela variação entre os níveis de fertilidade do solo e a resposta pela produtividade das culturas. Este ruído sempre existiu, porém tem-se constatado que o mesmo apresenta proporções muito maiores em

SPD do que em sistema convencional de cultivo (PC), onde nem sempre altos teores da fertilidade do solo correspondem a elevados rendimentos e o contrário também é verdadeiro (NICOLODI; GIANELLO, 2017). Os autores atribuem a fatores como, ausência da palhada sobre o solo e certo revolvimento do mesmo, promovendo alterações significativas na estrutura e nos gradientes químicos e biológicos do solo. Desta maneira, acredita-se que a produtividade possa estar sendo afetada por outros fatores, entre eles os biológicos.

A utilização de indicadores biológicos, comumente conhecidos como bioindicadores, trata-se do uso de organismos vivos, que de acordo com sua presença, ausência ou abundância, e processos desenvolvidos, indicando a relação com o estado de conservação ou degradação de um solo (OLIVEIRA et al., 2016). Entre os bioindicadores, destaca-se a fauna edáfica, composta por organismos que passam toda ou parte do seu ciclo de vida no solo, onde desenvolvem relações fundamentais para a manutenção da vida (PAZ-FERREIRO; FU, 2016). Estes organismos exercerem papel relevante na fragmentação e decomposição de material orgânico, na sua distribuição no solo e na regulação de populações de microrganismos (BARETTA et al., 2011; BROWN et al., 2015). Além disso, promovem alterações substanciais nos parâmetros físicos, tais com porosidade e agregação do solo (GARDI et al., 2009), contribuindo direta e indiretamente para diversos serviços essenciais para o funcionamento sustentável dos ecossistemas terrestres (LAVELLE et al., 2006).

A biomassa microbiana do solo, compreende a fração viva da matéria orgânica do solo, contendo de 1 a 5% de C em sua composição, sendo considerados todos os organismos menores que 5 mm³ (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os parâmetros relacionados a esta biomassa, como carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMic$) são importantes indicadores tanto no que se refere à ciclagem dos nutrientes, capacidade de uso e manejo do solo para o crescimento vegetal (MARTINEZ-SALGADO et al., 2010; ARAUJO et al., 2012), possibilitando estimar as taxas de mineralização e disponibilização de N, assumindo papel chave como catalisadora de diversas reações (CARNEIRO et al., 2008).

O manejo do solo exerce grande influência sobre o atributos biológicos, que respondem mais rapidamente do que outros atributos edáficos (químicos e físicos), servindo, portanto, como bioindicadores sensíveis às alterações ecológicas nos agroecossistemas (BARETTA et al., 2014). Desse modo, o conhecimento da fauna edáfica, microbiologia do solo e suas relações ecológicas são importantes, tanto para a avaliação da qualidade do solo, como para o entendimento da dinâmica dos sistemas de produção (BARETTA et al., 2011).

Apesar do conhecimento de longa data destes bioindicadores pela comunidade científica e de como o uso e manejo do solo afetam a qualidade do solo (BARETTA et al., 2003; ALVES et al., 2006; BARTZ et al., 2013; ROSA et al., 2015; ZORNOZA et al., 2015; POMPEO et al., 2016), são poucos os trabalhos que correlacionam a produtividade das culturas com atributos microbiológicos (MENDES et al., 2015), sendo que para a fauna, não foram encontrados quaisquer trabalhos no Brasil. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a abundância e diversidade da fauna edáfica, atributos microbianos do solo e sua relação com outros atributos edáficos (físicos e químicos) e a produtividade da soja em sistema plantio direto.

1.1 HIPÓTESES E QUESTÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

As hipóteses do trabalho são:

- a) alguns grupos da fauna edáfica podem ser utilizados como indicadores da produtividade de soja;
- b) existe relação entre os atributos químicos e físicos do solo com o rendimento esperado da soja nos Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja;
- c) a abundância e a diversidade de grupos da fauna edáfica e alguns atributos microbianos ligados a dinâmica do carbono se correlacionam com o rendimento de soja;
- d) os Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA) produtividade de soja apresentam maior biomassa e atividade microbiana em relação aos de SPDB produtividade.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a abundância e diversidade da fauna edáfica, atributos microbianos do solo e sua relação com outros atributos edáficos (físicos e químicos) e a produtividade da soja em sistema plantio direto.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) gerar conhecimento sobre indicadores biológicos, químicos e físicos do solo e correlacionar com a produtividade da soja em sistema plantio direto;
- b) identificar os principais grupos da fauna edáfica e atributos microbiológicos do solo que se correlacionam com o rendimento esperado da soja em Sistema Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade.
- c) determinar quais são as variáveis ambientais explicativas significativas que mais explicam a abundância e diversidade de grupos da fauna edáfica nos sistemas de plantio direto avaliados.

- d) avaliar quais os atributos microbiológicos, grupos da fauna e gêneros de Enchytraeidae que apresentaram maior potencial para separação dos SPDs e foram mais abundante no SPDA produtividade de soja.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMA PLANTIO DIRETO

O uso e manejo sustentável do solo é uma preocupação global, onde a manutenção e/ou a melhoria da sua qualidade é fundamental para garantir a segurança alimentar, das águas e do ar, bem como a redução dos impactos extremos da variação climática sob o solo (OBADE; LAL, 2014). Neste sentido, o Sistema Plantio Direto (SPD) é conhecido como uma prática agrícola ambientalmente correta e reconhecida no mundo inteiro como sustentável, capaz de diminuir as ações nocivas da água e do vento sobre a erosão do solo e ainda auxiliar na mitigação da emissão dos principais gases de efeito estufa, melhorando as propriedades intrínsecas do solo, sequestrando o carbono, incrementando a biodiversidade e contribuindo positivamente para o ciclo hidrológico (MOTTER et al., 2015).

Atualmente, o SPD é o sistema de manejo do solo mais praticado no Brasil, tendo seu início em 1970, onde passou por melhorias constantes passando a ocupar uma grande extensão do território nacional (FEBRAPDP, 2018). De acordo com a (FAO, 2015), em 2012 havia 31 milhões de hectares (ha) sob esse sistema, o qual tem sido apontado como a melhor opção em termos de sustentabilidade (BARTZ et al., 2012).

A utilização do SPD vem sendo largamente difundida, por ser um sistema que prega um menor revolvimento do solo, além de manter o solo protegido e menos suscetível a erosão, diferentemente dos demais sistemas de manejo do solo como o plantio convencional (PC) e o cultivo mínimo (CM). O SPD, quando comparado a outros sistemas de manejo, demonstra-se como a melhor opção no que se refere à manutenção e melhoria dos atributos físicos (FREITAS et al., 2017; LOSS et al., 2017), químicos (FINK et al., 2016; LUSTOSA FILHO et al., 2017) e biológicos do solo (BARETTA et al., 2014), diminuindo o selamento superficial pelo impacto das gotas de chuva, aumentando o teor de carbono orgânico, estabilidade de agregados e a formação e manutenção de bioporos no solo (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

Atualmente, preconiza-se pela qualidade do plantio direto, ou seja, para que se um SPD de boa qualidade deve-se, impreterivelmente, atender aos seus três pilares: mínimo revolvimento do solo (somente na linha de plantio), manutenção de cobertura permanente no solo (viva ou morta = palhada) e rotação de culturas atrelada à adubação verde (PECHE FILHO, 2005).

Quando tais princípios não são realizados de forma adequada, pode-se acelerar processos naturais que incluem o adensamento da superfície do solo (BERTOL et al., 2004),

levando ao aumento da sua densidade e da resistência do solo a penetração pela diminuição da sua porosidade (LUCIANO et al., 2010). A ausência do plantio em nível e a retirada dos terraços também acabam por favorecer a velocidade de escoamento da água devido à baixa rugosidade da superfície, favorecendo a erosão do solo, tendo seus reflexos na qualidade do solo e, consequentemente, na produtividade das culturas (PECHE FILHO, 2005).

Contudo, à medida que se intensificam os conhecimentos sobre o plantio direto, verifica-se que a utilização de um único parâmetro de avaliação químico (como utilizado atualmente pelos técnicos e produtores rurais) ou físico, não proporciona a caracterização adequada da qualidade do solo (CARNEIRO et al., 2009). Somente a utilização conjunta destes atributos somados aos biológicos e, eventualmente, a inclusão dos mesmos em um modelo de avaliação da qualidade do solo poderão auxiliar neste entendimento adequado (NICOLODI, 2006).

Atualmente, muito tem se discutido sobre o ruído na fertilidade do solo, causado pela variação entre os níveis de fertilidade do solo e a resposta pela produtividade das culturas. Este ruído sempre existiu, porém tem-se constatado que o mesmo apresenta proporções muito maiores em SPD do que em sistema convencional de cultivo (PC) (NICOLODI; GIANELLO, 2017). Os autores mencionam que, nos últimos anos tem-se tornado mais frequente encontrar altos teores de fertilidade e baixo rendimento das culturas em SPD ou vice e versa. Atribuindo a fatores como, ausência da palhada sobre o solo e certo revolvimento do mesmo, promovendo alterações significativas na estrutura e nos gradientes químicos e biológicos do solo. Porém, os autores ainda justificam parte desta incoerência, as curvas de calibração terem sido baseadas em um sistema construído para o preparo convencional.

Desta maneira, questiona-se se esta variação no rendimento das culturas em SPD não pode estar sendo influenciada pelas condições biológicas oferecidas pela fauna edáfica e microrganismos do solo. A adoção de um sistema conservacionista de manejo do solo, com redução da intensidade de preparo e rotação de culturas são fatores de diversificação dos agroecossistemas.

Em termos de biota do solo e resposta das culturas agrícolas, os sistemas conservacionistas colaboram para a promoção ao aumento da diversidade (SANTOS et al., 2016) e abundância de inimigos naturais, levando a redução do número de insetos fitófagos (ANDERSEN, 1999). Melhoram as características físicas e químicas possibilitando a formação e estabilização dos macro-agregados, melhorando a estrutura do solo pelo aporte contínuo de material orgânico e intensa atividade de raízes (TORRES et al., 2015) e representam um

importante mecanismo na formação e manutenção da matéria orgânica do solo (MO), além da reserva de água e estímulo a atividade microbiana (BALOTA et al., 2004).

O SPD pode beneficiar algumas das populações da fauna do solo (BARETTA et al., 2006; SANTOS et al., 2016) por modificar o habitat (JIANG et al., 2018), melhorando o ambiente edáfico pela presença da palhada na superfície do solo (KLADIVKO, 2001), aumentando a diversidade de espécies da fauna, principalmente, nos primeiros 5 cm de profundidade (WINTER et al., 1990), sendo constatado que em SPD favorece a presença de minhocas quando comparado ao PC (BROWN et al., 2003; BARETTA et al., 2003; ALVES et al., 2006).

Esse aumento na diversidade da fauna na camada superficial do solo no SPD, em relação ao PC, se deve, principalmente, pelo aumento de matéria orgânica ao longo do tempo, menor revolvimento do solo e pela maior proteção a degradação pelo impacto da gota da chuva (MENDES; REIS-JUNIOR, 2004), bem como possível efeito protetor da MO e cobertura do solo. O tipo de preparo do solo, associado à rotação de culturas pode modificar as características físicas, químicas e principalmente biológicas do solo, promovendo modificações diversas nas populações de organismos que nele habitam, através de seus efeitos diretos e indiretos sobre os fatores relacionados ao solo e às plantas (ALVES et al., 2006).

Por esses motivos, se faz necessário realizar estudos avaliando possíveis indicadores biológicos de qualidade do solo para utilização como instrumentos de decisão quanto as práticas de manejo, tornando informações complexas sobre qualidade do solo mais acessíveis e interpretáveis (OBADE; LAL, 2014), utilizando-as para correlação com os valores obtidos do rendimento das culturas nestas áreas. Tais informações sobre a fauna edáfica, ainda são bastante escassas, se constituindo em um grande desafio para as próximas décadas o desenvolvimento de estratégias e ferramentas para otimizar a sustentabilidade, maximizando os rendimentos, tendo em vista que as ferramentas desenvolvidas até os dias atuais excedem a capacidade da terra (BENDER; WAGG; HEIJDEN, 2016).

2.2 QUALIDADE DO SOLO

O aumento populacional tem demando por uma maior produção de alimento, fibras, forragens e derivados animal, acarretando desta forma na expansão das áreas agrícolas, além de maior intensificação dos recursos naturais como o solo (BALOTA, 2017). Contudo, o solo quando manejado de maneira inadequada, devido à intensificação das práticas agrícolas promove o aumento da degradação da sua qualidade, ocasionando erosão, provocando drásticas

reduções nos teores iniciais de C, redução na atividade e diversidade biológica do solo, tendo seu reflexo perceptível na produtividade das culturas.

O solo fornece alimentos, água, madeira e fibras; regulação de serviços que afetam o clima, inundações, doenças, resíduos e qualidade da água; serviços culturais que proporcionam benefícios recreativos, estéticos e espirituais; além de serviços de apoio, tais como ciclagem de nutrientes (MARZAIOLI et al., 2010; ZORNOZA et al., 2015; FERRARINI et al., 2017). Do ponto de vista agronômico, o solo é um corpo dinâmico, vivo e natural que determina várias funções fundamentais nos ecossistemas terrestres (CATTelan; HARTEL; FUHRMANN, 1999). Para tal, o mesmo necessita ser manejado com cuidado e sabedoria, tendo o conhecimento que ele não é um recurso renovável em uma curta escala temporal, ou seja, degrada-se muito mais solo do que sua capacidade de formação e recuperação.

Discussões sobre qualidade do solo vêm se intensificando desde o início da década de 90, quando se começou a abordar em suas publicações a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a importância do solo como um mediador dos processos e funções de equilíbrio do ecossistema (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; ARAÚJO et al., 2012).

A necessidade de entender e avaliar a qualidade do solo através da utilização de indicadores, tem sido apontada como um dos principais compromissos da ciência do solo (CHERUBIN et al., 2015; PAZ-FERREIRO; FU, 2016; BALOTA, 2017). Muitos são os conceitos de qualidade do solo, dentre eles, um dos mais clássicos refere-se ao mencionado por Doran; Parkin (1994), onde qualidade do solo é a capacidade do mesmo funcionar dentro dos limites dos ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar as plantas e a produtividade animal, manter e/ou melhorar a qualidade do ar e da água e promover a saúde de plantas, animais e homens.

Para a avaliação do solo, no intuito de estimar sua qualidade, comprehende a utilização de indicadores, propriedades mensuráveis (quantitativas ou qualitativas) (ARAUJO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2016; BALOTA, 2017), fornecendo informações chaves da sua função, composição e estrutura ecológica e integrando simultaneamente a complexidade do solo (PAZ-FERREIRO; FU, 2016), referindo-se as interações de suas propriedades químicas, físicas e biológicas (OLIVEIRA et al., 2016).

Os atributos do solo utilizados como indicadores de mudança da sua qualidade devem ser sensíveis ao manejo, numa escala de tempo que permita a verificação de suas alterações (ISLAM; WEIL, 2000). Deve-se identificar um conjunto de propriedades do solo, atendendo a

critérios básicos tais como, envolver processos do ecossistema, ser acessível e comprehensível (pequisadores, professores, assistência técnica e principalmente aos agricultores) (MENTA et al., 2018), sendo sensíveis a variações de manejo e de clima em escala geográfica e temporal (DORAN; PARKIN, 1994; DORAN; ZEISS, 2000), apresentando baixo custo de execução.

Um indicador de qualidade do solo adequado pode apresentar variações entre locais distintos, variar com o tipo de solo, manejo, de quais funções do solo são necessárias e dos seus fatores de formação (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Pesquisadores, grupos de pesquisa/instituições têm utilizado como indicadores da qualidade do solo os atributos químicos, físicos e biológicos, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Indicadores químicos, físicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

Indicadores	Relação com a qualidade do solo	Autores
Físicos		
Estrutura do solo	Retenção e transporte de água e nutrientes	
Infiltração e densidade do solo	Movimento da água e porosidade do solo	REICHERT et al. (2011).
Capacidade de infiltração do solo	Armazenamento e disponibilidade de água	
Químicos		
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes	PAVINATO; ROsoleM (2008).
Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana	
Conteúdo de N, P, K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas	
Matéria Orgânica	Fertilidade, estrutura e fertilidade do solo	CARMo; SILVA (2016); DORAN; PARKIN, (1994). CQFS (2016).
Biologia do solo		
Fauna do solo (abundância, diversidade, riqueza de grupos, etc.).	Estruturação, regulação na disponibilidade de nutrientes, controle biológico,	
	fragmentação, decomposição de material orgânico e humificação, regulação da cadeia trófica, infiltração e armazenamento	
	de água e sequestro de C.	
Biomassa microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes	LAVELLE et al. (2006); BROWN; SAUTTER, (2009); SANTOS; MAIA (2013); BARETTA et al. (2014); ALMEIDA et al. (2015); BROWN et al. (2015).
Mineralização de nutrientes	Produtividade do solo e potencial de suprimento	
	de nutrientes	
Respiração do solo	Atividade microbiana	
Atividade enzimática	Atividade microbiana e catalítica no solo.	ALEF; NANNIPIERI (1995).
		DICK et al. (1996); TABATABAI (1994).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018. Adaptado de Santos e Maia (2013); Brown et al. (2015).

Nessa mesma linha de pensamento, que se busca a determinação de indicadores de qualidade do solo, alguns autores acreditam que a produtividade seja a expressão final da qualidade de um solo, pois a alta produtividade das culturas ocorre quando atributos biológicos, físicos e químicos estão em equilíbrio (DORAN; PARKIN, 1994; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Como em alguns casos já é perceptível que o uso de um atributo não condiz com os resultados de produtividade (NICOLODI; GIANELLO, 2017).

As mudanças no “status” da qualidade do solo têm sido avaliada por intermédio de sistemas quantitativos em que se utilizam indicadores apropriados, efetuando-se a comparação com valores desejáveis em diferentes intervalos de tempo (ARAUJO et al., 2012). Evidentemente, a escolha de determinados indicadores depende da finalidade a que se propõe sua utilização (DORAN; ZEISS, 2000), havendo uma multiplicidade simultânea de interações sobre os fatores químicos, físicos e biológicos, que resultam em grande variabilidade no funcionamento variado do solo (PAZ-FERREIRO; FU, 2016; BALOTA, 2017). Porém necessita-se evoluir nos estudos de parâmetros biológico que auxiliem a esclarecer questões sobre qualidade do solo e principalmente no que se refere ao rendimento das culturas.

Portanto, um componente importante da avaliação da qualidade do solo é a utilização conjunta de atributos sensíveis do solo que refletem a capacidade de um solo funcionar e poder ser usados como indicadores da qualidade do solo. Como o manejo usual tem apenas efeitos limitados em curto prazo sobre propriedades inerentes tais como textura e mineralogia, a utilização de outros indicadores, tais como os biológicos são extremamente úteis e necessários (BÜNEMANN et al., 2018).

Assim o monitoramento de mudanças em bioindicadores por comporem funções chave, no tempo e espaço, pode determinar se a qualidade de um solo sob um determinado manejo está melhorando, permanece estável ou está sob processo de degradação (SHUKLA et al., 2006). Apesar de inúmeros avanços por parte dos pesquisadores em estudos de bioindicadores de qualidade do solo, não tem-se resultados expressivos para os indicadores microbianos quanto sua aplicabilidade prática sobre o redimento das culturas, não sendo encontrado resultados para a fauna.

2.3 BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

A avaliação da qualidade do solo pode ser dimensionada a partir da avaliação de seus atributos ecológicos, sendo os indicadores biológicos ou bioindicadores organismos vivos, que

de acordo com sua presença, ausência, abundância (OLIVEIRA et al., 2016) e processos. Desta maneira, podem indicar relação com o estado de conservação ou degradação de um solo, respondendo mais rapidamente as alterações que ocorrem no mesmo em relação aos demais indicadores (químicos e físicos).

Os componentes biológicos apresentam grande potencial de utilização por reponderem por muitas das funções do ecossistema incluindo a fixação biológica de nitrogênio (FBN), degradação de xenobióticos, síntese de substâncias húmicas, ciclagem de nutrientes, estruturação do solo e decomposição de resíduos (SANTOS; MAIA, 2013; PAZ-FERREIRO; FU, 2016).

Os bioindicadores mais frequentemente utilizados englobam a biomassa microbiana (BM) e sua atividade, atividade enzimática do solo, taxas de mineralização de N, respiração do solo, relação bactéria e fungo e proporção de vários grupos funcionais da fauna edáfica (SHAO et al., 2008). Assim, não é adequado realizar a avaliação da qualidade do solo sob duas ou menos variáveis, sendo bem provável que estas não irão refletir a verdadeira condição do solo, necessitando ser realizada sobre uma variada base de indicadores biológicos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; SANTOS; MAIA, 2013).

Entretanto, um dos grandes desafios a serem transpostos no uso de indicadores biológicos para avaliações de qualidade de solo é a dificuldade para interpretação dos valores individuais desses parâmetros, uma vez que a inclusão dos bioindicadores nessas avaliações pressupõe o estabelecimento de valores que possam separar solos com diferentes condições de sustentabilidade (MENDES; SOUZA; REIS-JUNIOR, 2015; MUNÓZ-ROJAS et al., 2016).

Muitos são os esforços pelos pesquisadores em elaborar índices biológicos de qualidade do solo, principalmente pela utilização de técnicas de pontuações (*score*) para avaliação (PARISI et al., 2005; MASTOS et al., 2008, MARZAIOLI et al., 2010). Contudo, a utilização deste modelo de avaliação exige que se defina subjetivamente e arbitrariamente valores ponderados de acordo com o objetivo (PAZ-FERREIRO; FU, 2016). De acordo com o mesmo autor, além deste, muitos são os impecilhos para determinações dos índices a partir dos bioindicadores, tais como: a escolha dos indicadores certos que participem dos processos que ocorrem no solo; a inexistência de projetos a longo prazo para melhor compreensão dos processos biológicos que determinam a qualidade do solo; seleção de indicadores que levem em consideração a produção das culturas, considerando as variações sazonais e espaciais.

Seguindo a ideia de utilização de uma base de dados biológicos como ferramenta para aplicação prática de manejo, ainda não se tem uma base de valores desejados ou almejados.

Diferentemente do que ocorre para alguns parâmetros químicos (níveis de fertilidade dos solos, pH, MOS) (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC – CQFS, 2016), ou físicos (densidade do solo, textura, porosidade, resistência a penetração) (MUNARETO et al., 2010; CHIODEROLI et al., 2012; COSTA; APARICIO; CERDÀ, 2015; GIRARDELLO et al., 2017; SEIDEL et al., 2018). Essa realidade ainda não condiz com os parâmetros biológicos (diversidade e abundância da fauna edáfica, CBM, NBM, atividade microbiana) (SANTOS; MAIA, 2013). De acordo com esse mesmo autor, a qualidade edáfica pode ser inferida a partir de mudanças nos atributos (biológicos) do solo e para isso devem ser selecionados indicadores (abundância, diversidade, densidade) os quais permitem caracterizar, acompanhar e avaliar as alterações ocorridas num dado ecossistema.

Alguns autores têm utilizado índices baseados na comunidade de artrópodes (Qualidade Biológica do Solo de Artrópodes - QBS-ar) para estimar a qualidade dos solos, o qual pode envolver um único táxon ou uma estimativa geral deste grupo da fauna. Grupos como Acarina, Collembola ou Isopoda podem ser usados como indicadores de impactos antropogênicos ou para comparar diferentes sistemas de cultivo (MENTA et al., 2018).

Este índice foi desenvolvido para combinar dois aspectos importantes em relação aos microartópodos do solo: 1) sua presença no solo, destinada à biodiversidade; 2) sua capacidade de se adaptar às condições do solo, visando à vulnerabilidade. O QBS-ar aplica-se à comunidade de microartópodes do solo para avaliar a adaptação dos microartópodos ao ambiente do solo e superar as dificuldades bem conhecidas da análise taxonômica no nível das espécies para os microartópodos do solo (MENTA et al., 2018).

O índice QBS-ar centra-se na presença de caracteres morfológicos que indicam adaptação ao solo por microartópodes e não requer uma identificação taxonômica complexa ao nível da espécie (PARISI et al., 2005), sendo este já considerado como um protocolo padrão de avaliação em toda a europa para avaliação biológica de qualidade do solo.

Outros autores como Marzaioli et al. (2010), elaboraram índices de qualidade do solo (Soil Quality Index - SQI) a partir de outra abordagem, sendo o índice de qualidade baseado em três princípios: 1) definição de um conjunto de dados mínimos, 2) atribuição de pontuação a cada indicador por funções matemáticas (funções de pontuação linear ou não linear) e 3) integração de dados em um índice. Contudo, em seus trabalhos objetivaram o uso deste índice para avaliação do impacto dos diferentes sistemas de uso do solo.

Outra abordagem que tem sido discutida é o desenvolvimento e utilização de uma faixa de operação normal (*Normal Operating Range* - NOR) para o funcionamento do solo, sendo

incipiente até o presente momento. Em resumo, o NOR pode ser representado por flutuações naturais dos indicadores de saúde/qualidade do solo, determinando os limites "naturais" de variação no funcionamento do solo (SILVA, 2013). A aplicabilidade do NOR como ferramenta de monitoramento depende fortemente de sua capacidade de definir o que é normal em um solo e, portanto, de detectar mudanças em resposta a distúrbios, sendo necessário uma visão ampla dos principais processos que definem a função do solo.

Há uma grande lacuna destes indicadores biológicos no que concerne com a produtividade das culturas, sendo incipientes no que se refere aos indicadores microbiológicos e inexistindo dados deste tipo tanto a nível regional ou nacional para fauna edáfica e até o momento mundial, com intuito de medir a correlação direta da fauna com a produtividade.

2.3.1 Fauna edáfica

A fauna do solo é composta essencialmente por invertebrados que passam toda ou parte de sua vida no solo. A classificação da fauna edáfica mais utilizada é a proposta por Swift; Heal; Anderson (1979), na qual os organismos são classificados de acordo com seu tamanho em microfauna (menores que 0,2 mm), mesofauna (0,2-2,0 mm) e macrofauna (>2,0 mm).

A microfauna é composta de animais microscópicos e inclui nematóides, rotíferos e tardígrados, sendo em sua maioria organismos aquáticos, vivendo associados ao filme de água do solo (BROWN et al., 2015). Possuem um ciclo de vida rápido, alimentando-se de raízes, outros animais menores e microrganismos, sendo associados a ciclagem de nutrientes através da ingestão de bactérias e fungos. Podem afetar a estrutura do solo através de interações com a microbiota (fungos, bactérias) (LAVELLE, 1997).

Os organismos com diâmetro entre 0,2 e 2,0 mm classificam-se como mesofauna, sendo os indivíduos numericamente mais representativos abrangendo os grupos Acarina e Collembola (BARETTA et al., 2011). Apresentam funções importantes no solo como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e regulação da população de microrganismos, participando ativamente na fragmentação de resíduos vegetais da serapilheira, aumentando a superfície de contato para o ataque de microrganismos (BROWN et al., 2015; PAZ-FERREIRO; FU, 2016).

A macrofauna é representada por uma grande diversidade de organismos maiores que 2 mm, sendo os mais representativos: Formicidae, Termitoidae, Oligochaeta e Coleoptera. Os componentes desse grupo criam estruturas específicas que permitem sua movimentação no solo

graças ao seu hábito escavatório, promovendo a formação de buracos, galerias e ninhos, além da deposição de coprólitos e fezes, que tem efeito sobre a estrutura e fertilidade do solo, sendo reconhecidos como os “engenheiros do ecossistema” (GARDI et al., 2009; ROGER-ESTRADE et al., 2010; BARETTA et al., 2011), atuando também na fragmentação do material mais grosso da serapilheira (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979) e estabilização de agregados (BEDANO et al., 2016).

Assim, a sua utilidade como indicadores ecológicos é inquestionável, pois respondem imediatamente as alterações, refletindo na sua densidade e diversidade (POMPEO et al., 2016). Por suas inúmeras atribuições a fauna edáfica é considerada um importante indicador da qualidade do solo, tendo em vista sua ampla distribuição geográfica, sensibilidade aos扰动s ambientais e antropogênicos (D’HOSE et al., 2018) e facilidade de mensuração.

O tipo de preparo e cultivo do solo associado à rotação de culturas pode modificar as características físicas (BEARE et al., 1994; KRABBE et al., 1994), químicas (SILVA et al., 1997) e, principalmente, biológicas do solo (BALOTA et al., 1998; BALOTA et al., 2004; BARETTA et al., 2006), promovendo alterações nas populações de organismos que nele habitam. Desse modo, o conhecimento da fauna e suas relações ecológicas são importantes tanto para a avaliação da qualidade do solo, como para o entendimento da dinâmica dos sistemas de produção e adoção de práticas de manejo (BARETTA et al., 2011).

Atributos biológicos como a fauna, possibilitam medir o nível de desequilíbrio ao qual um determinado ambiente está sujeito, sendo úteis para determinar os efeitos positivos e negativos da ação antrópica ou natural sobre a qualidade do solo (CUNHA et al., 2011). A densidade de uma população e/ou mudança na sua estrutura e função, os quais participam de processos chaves na cadeia do solo, demonstram-se importantes indicadores da qualidade do solo, indicando o grau de conservação (ANDERSON; DOMSCH, 1990; DORAN; PARKIN, 1994; VARGAS; CARNEIRO et al., 2008).

Estudos recentes destacam o efeito das práticas agrícolas e do manejo do solo sobre a fauna edáfica (BARETTA et al., 2003; ALVES et al., 2006; ALVES et al., 2008; BARTZ et al., 2011a; BARTZ; BROWN, 2011b; BARETTA et al., 2014; ROSA et al., 2015), demonstrando importante indicador da sustentabilidade ou degradação do sistema produtivo.

Assim, a fauna edáfica como bioindicadora do estado do solo têm sido bastante utilizada, visto que podem ser coletadas com métodos de fácil aplicação como, por exemplo, a catação manual e armadilhas (BARETTA et al., 2011), onde a diversidade biológica do solo exerce significativa interação com a manutenção da sua capacidade produtiva (BROWN;

SAUTTER, 2009), demonstrando-se valiosa em vista da utilização de organismos vivos e de sua fácil interpretação (PAOLO et al., 2010). Sendo ainda mais importante na manutenção da produtividade do solo, em sistemas conservacionistas, visando a diminuição do uso de fertilizantes e agrotóxicos (JIANG et al., 2018)

Diante do exposto, no Brasil, as pesquisas relacionadas ao SPD aprofundaram-se no estudo de parâmetros físicos e químicos separadamente, existindo um número reduzido de trabalhos analisando a biologia do solo, sendo ainda mais carente quando de uso conjunto com os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Embora, muitos estudos tenham sido conduzidos na avaliação da qualidade do solo, não há uma metodologia geral para caracterizar a mesma e definir um conjunto de indicadores no que se refere à biologia do solo (ZORNOZA et al., 2015).

Outra questão que dificultou e ainda dificulta a pesquisa no que se diz respeito da utilização da fauna edáfica como indicadores de qualidade, rege sobre como essa biodiversidade pode ser manejada, uma vez que a mesma pode ser apenas realizada de maneira indireta (ROGER-ESTRADE et al., 2010). Alguns autores sugerem a criação de ferramentas para que os agricultores possam utilizar e acompanhar tais indicadores, capaz de ser aplicada em suas práticas de manejo, tornando o sistema mais sustentável e produtivo (BALOTA, 2017).

Como já citado, até o presente momento, não foram encontradas referências quanto a fauna edáfica relacionada diretamente com a produtividade das culturas, contudo diversos trabalhos já foram realizados avaliando o sistema plantio direto em comparação com outros sistemas de uso do solo e alguns trabalhos avaliando a qualidade entre sistemas plantio direto. Assim, o trabalho realizado por Bartz et al. (2013), avaliando a utilização de minhocas como indicadores de qualidade do solo em sistemas plantio direto, estabeleceu que sistema plantio direto com mais de 200, entre 200 à 100, entre 100 à 25 e menos que 25 indivíduos por metro quadrado (Ind. m^2) são classificados como excelentes, bons, moderados e pobres, respectivamente.

Ainda, Bartz et al. (2014) evidenciaram a influência dos sistemas de uso do solo sobre a fauna edáfica na região oeste de Santa Catarina, utilizando armadilhas de queda (*Pitfall traps*) obteve valores médios para abundância total, riqueza total de grupos, índice de diversidade de Shannon-Wiener e equabilidade de Pielou de 3.915, 14, 0,49 e 0,49, respectivamente, onde que com exceção da abundância total, todos os demais parâmetros foram inferiores a mata nativa considerada referência para estudos ecológicos. Rosa et al. (2015) avaliando diferentes sistemas

de uso do solo, obteve em SPD para fauna coletada por TSBF o valor de 1,6 para o índice de Shannon-Wiener (H'), sendo inferior ao fragmento de mata nativa que apresentou $H' = 1,7$.

Em trabalho desenvolvido por Van Groenigen et al. (2014), realizando uma meta análise entre minhocas e o aumento na produtividade das culturas, coletando dados de 462 trabalhos de 58 estudos a nível mundial constataram efeito positivo da presença de minhocas sobre o rendimento, chegando a contribuir com 25% do mesmo. Esses mesmos autores atribuem o valor de 400 minhocas por m^2 para considerar solos produtivos.

Bedano et al. (2016), avaliando o manejo dos produtores sobre áreas em sistema plantio direto com boas práticas agrícolas (BPA) onde seguiam os pressupostos de rotação de culturas, cobertura do solo, manejo integrado de plantas, pragas e doenças, reposição adequada de nutrientes e uso rotacionado de agroquímicos e áreas em sistema plantio direto em que nem todos os pressupostos eram seguidos. Os autores utilizaram uma área de campo nativo como referência positiva e outra de cultivo convencional como referência negativa e constataram que a abundância dos organismos Oligochaeta, Formicidae, Collembola e algumas espécies de ácaros diminuíram do SPD com BPA para onde as mesmas não eram seguidas, com produtividade das culturas de soja e milho de 3.055 Kg ha^{-1} e 10.850 Kg ha^{-1} com BPA e de 2.758 Kg ha^{-1} e 5.350 Kg ha^{-1} sem BPA, respectivamente.

Domingues; Bedano (2016), avaliando atributos químicos, físicos e biológicos em locais de adoção do sistema plantio direto em comparação com sistemas de cultivo reduzido, concluíram que o sistema plantio direto é muito mais dependente da fauna do solo que os demais. Os autores encontraram correlações positivas de grupos taxonômicos amostrados por mónolitos de solo, como Oligochaetas (minhocas) com as variáveis ambientais umidade e densidade do solo e do grupo Formicidae com pH, resistência a penetração, cobertura do solo e matéria orgânica. Por outro lado, a elevada abundância do grupo Enchytraeidae foi associada a baixa qualidade dos parâmetros físicos e químicos do solo.

Em trabalho conduzido por Bender; Van Der Heijden (2014), avaliando o aumento da sustentabilidade agrícola, aumento do rendimento da cultura, absorção de nutriente e diminuição nas perdas de N, sobre a fauna do solo, constataram em condições de mesocosmos um aumento de 22% sobre a produtividade do milho nos tratamentos contendo organismos da micro e mesofauna em relação ao tratamento sem organismos edáficos.

Ressaltando por fim a necessidade de avaliar os atributos biológicos de maneira conjunta com químicos e físicos, no intuito de elucidar questões relacionadas ao rendimento das culturas em SPD e gerar bases sólidas sobre a biologia do solo nesta área.

2.3.2 Indicadores microbianos

Os atributos microbianos do solo, tais como a BM do solo, a respiração microbiana do solo, suas relações: quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e quociente microbiano ($q\text{Mic}$) são importantes indicadores tanto no que se refere à ciclagem dos nutrientes, como também na estimativa da capacidade de uso e manejo do solo para o crescimento vegetal (ARAUJO et al., 2012), podendo ser utilizados para estimar as taxas de mineralização e disponibilização de N (FERREIRA et al., 2017), demonstrando serem eficientes para indicar a qualidade do solo sob diferentes condições edafoclimáticas e de ecossistemas, auxiliando no monitoramento e planejamento das práticas de manejo adotadas.

A BM do solo é o componente vivo da matéria orgânica do solo (fração lábil) compreendendo todos os organismos menores que 5 mm^3 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Sua avaliação é útil para obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades do solo; detectar variações causadas por cultivos ou por devastação de florestas; medir a regeneração dos solos após a remoção da camada superficial; avaliar os efeitos de poluentes como metais e pesticidas de maneira rápida (FRIGHETTO, 2000) e eficiente.

O teor de CBM pode ser indicativo do potencial de disponibilidade de nutrientes para as plantas, sendo um bioindicador da qualidade do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A determinação do CBM não fornece indicações sobre a atividade dos microrganismos do solo, sendo necessário avaliar simultaneamente atributos que possam medir o estado metabólico da comunidade microbiana do solo.

A respiração microbiana do solo é um processo que reflete a atividade biológica do solo, sendo definida como a produção de CO_2 resultante da soma de todos os processos metabólicos dos organismos vivos do solo (ARAUJO et al., 2012). As bactérias e os fungos representam os principais responsáveis pela liberação do CO_2 via degradação de material orgânico adicionado ao solo (SILVA et al., 2007). Este parâmetro demonstra-se bastante sensível às mudanças que ocorrem no solo, seja por efeito climático, aeração, umidade e disponibilidade e qualidade do substrato disponível. De modo geral, a quantidade do CO_2 emitido está relacionada à capacidade de degradação da matéria orgânica pela microbiota heterotrófica, o que constitui uma fase fundamental no ciclo do carbono (SANTOS; MAIA, 2013).

Elevada emissão de CO_2 pode ser considerada uma característica desejável indicando uma elevada atividade microbiana, resultante de um grande “pool” de substratos ricos em C lábil e disponibilização de nutrientes (SANTOS; MAIA, 2013). Contudo, longos períodos de

elevada atividade microbiana não são desejáveis, pois podem levar a oxidação da MOS resultante de fatores estressantes que incluem, a exposição do material orgânico que encontrava-se protegido dentro de agregados do solo por práticas de revolvimento do solo (TÓTOLA; CHAER, 2002), levando a diminuição dos teores de MOS ao longo do tempo.

A atividade microbiana do solo pode ser influenciada por diversos fatores ambientais e de ação antrópica tais como umidade do solo, temperatura, disponibilidade de nutrientes, quantidade de C orgânico, pluviosidade, qualidade da matéria orgânica, adição de resíduos vegetais e utilização de adubos orgânicos (BALOTA, 2017). Assim, a análise deste parâmetro deve ser realizada sob cautela e de forma criteriosa, pois seu resultado deve levar em consideração as condições envolvidas e o objetivo do estudo, fazendo-se necessário a utilização de medidas auxiliares à utilização deste parâmetro de forma individualmente e complementação com medidas como o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$).

O $q\text{CO}_2$ é determinado apartir da RBS por unidade de CBM, sendo uma medida da eficiência da BM na utilização de C como substrato e reflete o grau em que os microrganismos do solo são limitados pelo substrato. Normalmente, valores acima de 2 g C- CO_2 h⁻¹ Kg CBM⁻¹ são comumente supostos para indicar um limiar crítico para o desempenho de comunidades microbianas (ANDERSON, 2003), ou seja, quanto menor for o $q\text{CO}_2$ mais eficiente é a comunidade microbiana do solo em acumular C, sendo menos C perdido na forma de CO_2 , demonstrando um maior estado de equilíbrio. Por outro lado, valores elevados são indicativos de ecossistemas jovens, submetidos a alguma condição de estresse (MALUCHE-BARETTA; AMARANTE; KLAUBERG FILHO, 2006)

O $q\text{CO}_2$ baseia-se na teoria bioenergética proposta por Odum (1969), onde comunidades microbianas sob condições de estresse (limitações de nutrientes, baixo pH, umidade, etc.) ou expostas a qualquer tipo de perturbação serão menos eficientes em converter o C assimilado em biomassa, pois a maior parte do C deverá ser utilizado para fornecer energia para processos metabólicos necessários à manutenção celular.

Normalmente, em solos com alto $q\text{CO}_2$ são dominados por organismos colonizadores de rápido crescimento (R-estrategistas) (SANTOS; MAIA, 2013; BRADY; WEIL, 2013), assim as mudanças na composição da comunidade microbiana podem contribuir para aumento ou diminuição dos valores de $q\text{CO}_2$ e a interpretação adequada destes resultados requer cautela e conhecimento dos processos envolvidos.

Outro indicador importante refere-se ao quociente microbiano ($q\text{Mic}$), que corresponde à relação entre o CBM e o carbono orgânico total (COT) e reflete processos importantes

relacionados às adições e transformações da MOS, assim como a eficiência de conversão de C desta em CBM (SPARLING, 1992; ANDERSON, 1994); podendo ser utilizado como indicador de estabilidade do sistema, devido a sua velocidade de resposta as mudanças que ocorrem no solo.

Em circunstâncias de desequilíbrio ambiental ou em situação em que a biomassa é submetida a algum fator de estresse (restrição de nutrientes, acidez, déficit hídrico, etc.), a capacidade de utilização de C é diminuída e, neste caso, o *qMic* tende a diminuir (WARDLE, 1992). De acordo com alguns autores (ANDERSON; DOMSCH, 1990; BARETTA et al., 2005), esta relação como indicador da qualidade da matéria orgânica expressa a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C desta matéria orgânica. Os mesmos autores ainda sugerem que valores acima de 2,2% indicam o acúmulo de C, sendo valores inferiores a este indicando a perda do mesmo. Contudo, Balota (2017) sugere que para as condições de clima tropical esse valor de referência possa ser um pouco abaixo, sendo aproximadamente de 1,5%.

Por outro lado, em ecossistemas estáveis, onde predominam condições favoráveis, há uma tendência de aumento da atividade microbiana e, em consequência, o *qMic* tende a crescer até atingir um equilíbrio (POWLSON; BROOKES; CHRISTENSEN, 1987). Desse modo, em ambientes preservados e em estado de equilíbrio, o valor desta relação pode ser usado como padrão para avaliar quanto um solo se encontra degradado.

Inúmeros tem sidos os trabalhos avaliando os atributos microbianos do solo e suas relações com os impactos dos usos do solo (BALOTA et al., 2004; GREEN et al., 2007; SILVA et al., 2007; BRÖERING, 2013), contudo são excassos os trabalhos que visam esses indicadores e suas correlações com a capacidade produtiva. Godoy et al. (2015), avaliando os atributos de qualidade do solo (químicos, físicos e microbiológicos) e a relação entre produtividade do arroz sob sistema plantio direto constataram correlações positivas entre a produtividade e as variáveis CBM, NBM, *qMic* e a relação NBM:N total.

De forma semelhante, Mendes; Souza; Reis Junior (2015), a partir de experimentos de longa duração com as culturas da soja e milho, utilizando a análise de correlação e posteriormente a análise de regressão, tentaram estabelecer uma relação entre os valores das variáveis microbianas encontradas (CBM, RBS e atividade enzimática) e o rendimento relativo acumulado das culturas, juntamente com o teor de matéria orgânica do solo. O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrado e trouxe como valores baixos, moderados e adequados para respiração basal do solo ≤ 40 , 41-90 e ≥ 90 mg de $\text{CO}_2 \text{ Kg}^{-1}$ de solo, respectivamente. Já para

CBM, os valores obtidos foram, ≤ 215 , $216-375$ e ≥ 375 mg de C Kg⁻¹ de solo, respectivamente, para os níveis baixos, moderado e adequados.

Em trabalho desenvolvido por Choudhary et al. (2018), avaliando a sustentabilidade de agroecossistemas sobre a qualidade do solo, da biota e a produtividade dos cereais, considerando a produtividade de todas as culturas durante os anos agrícolas, em sistema plantio direto e convencional na Índia, constataram maiores rendimentos em SPD com teores de CBM que variaram de 1182 à 1990 $\mu\text{g g}^{-1}$ de solo seco e a menor produtividade em SPD com teores de CBM por volta de 890 $\mu\text{g g}^{-1}$.

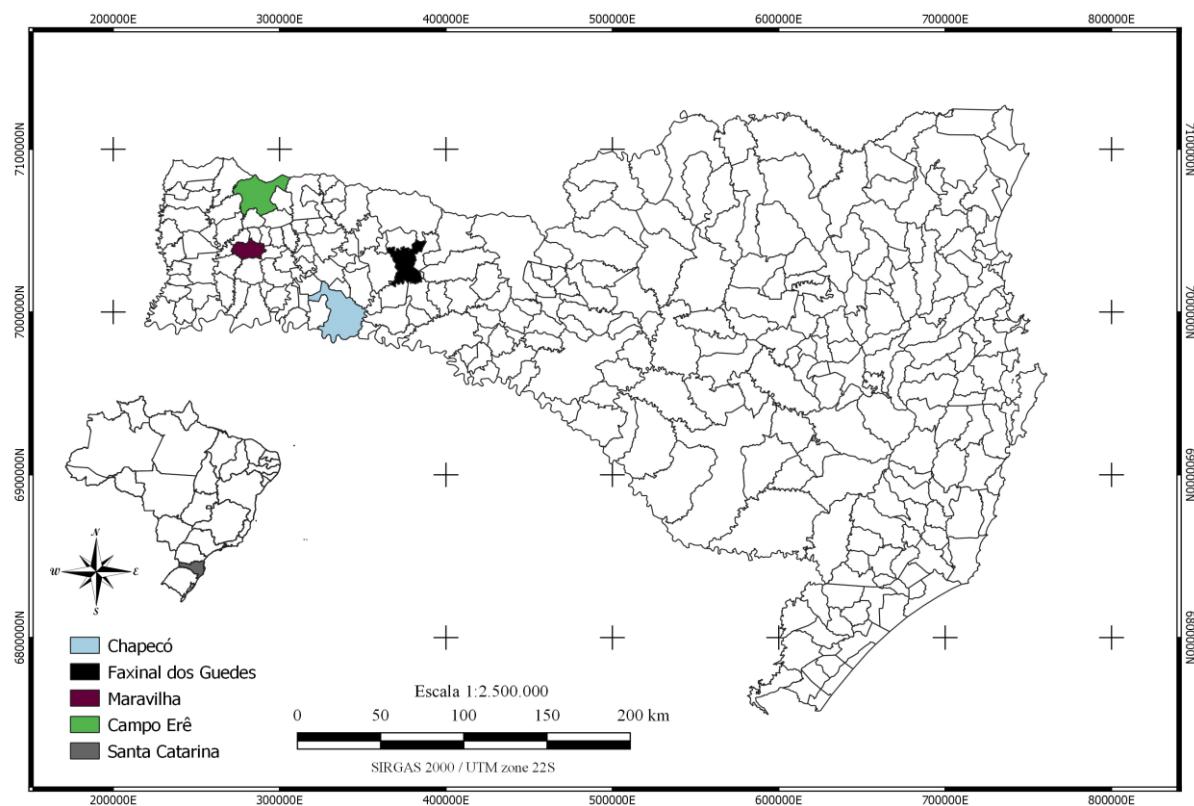
Em outro trabalho, Moreira et al. (2018), avaliando bioindicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo do solo, no oeste do estado do Paraná, constataram em sistema plantio direto com 18 anos de cultivo, valores médios de COT, CBM, RBS, $q\text{CO}_2$ e $q\text{Mic}$ em torno de $30,7$ g Kg⁻¹, $173,57$ mg g⁻¹ de solo, $1,0$ mg C-CO₂ g⁻¹ solo h⁻¹, $6,31$ mg C-CO₂ mg⁻¹ CBM h⁻¹ e $57,68$ mg g⁻¹ $q\text{Mic}$, respectivamente, obtendo nessa mesma área uma produtividade média de 2.670 Kg ha⁻¹ de soja. Contudo não se pode afirmar que estes valores são elevados ou mesmo baixos por não haver tabelas para comparação até o presente momento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

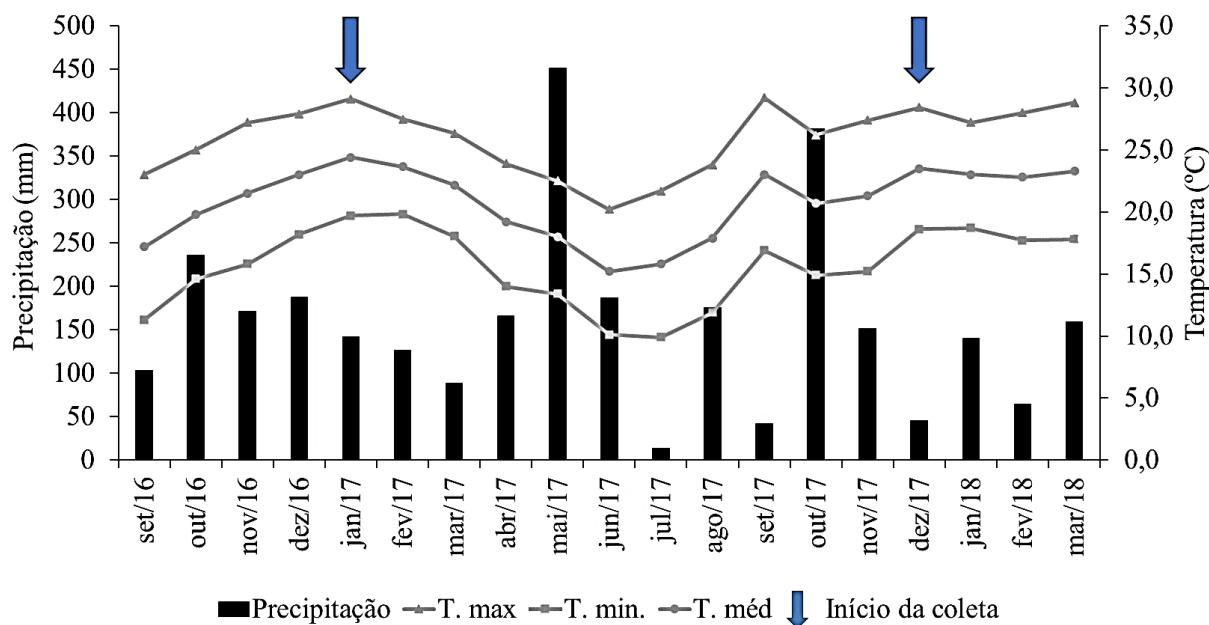
O estudo foi realizado na região Oeste de Santa Catarina, nos municípios de Chapecó, Campo Erê, Faxinal dos Guedes e Maravilha (Figura 1), sendo amostrados Sistema Plantio Direto (SPD) consolidados, escolhidos de acordo com um gradiente de produtividade de soja (*Glycine max L.*). Informações referentes aos dados climáticos foram fornecidas pela Estação Meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI/CEPAF/CHAPECÓ) e obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 2). Também foram realizadas amostragens em duas áreas de Mata Nativa (MN) próximas aos SPD (menos de 3 km), sendo uma localizada no município de Chapecó e outra localizada no município de Faxinal dos Guedes, uma representante de cada condição climática Cfa e Cfb, respectivamente.

Figura 1 - Localização dos municípios escolhidos para amostragem de solo: Chapecó, Campo Erê, Faxinal dos Guedes e Maravilha.



Fonte: Elaborado por Luís Carlos Iuñes de Oliveira Filho, 2018.

Figura 2 - Dados de precipitação (mm), temperatura máxima, mínima e média (°C) durante o período de avaliação de setembro de 2016 a março de 2018, com base nos dados da EPAGRI/CEPAF/CHAPECÓ e INMET.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os municípios de Maravilha e Chapecó apresentam clima Cfa de acordo com a classificação de Köppen, com altitudes inferiores a 700 m ao nível do mar, com precipitação variando de 1.900 a 2.200 mm ao ano, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C. Já os municípios de Campo Largo e Faxinal dos Guedes apresentam clima Cfb, com altitudes acima dos 700 m, chuvas uniformemente distribuídas. A precipitação varia entre 1.100 a 2.000 mm ao ano, sem estação seca e com temperatura média do mês mais quente não atingindo 22 °C, com um verão fresco (ALVARES et al., 2013).

Inicialmente, foram selecionadas SPD que apresentavam diferentes níveis de produtividade, em um gradiente de produtividade de grãos Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB), baseado no histórico médio de produtividade fornecidos pelos produtores. Os sistemas selecionados atenderam, requisitos de um SPD de qualidade, que pressupõe mínimo revolvimento do solo, manutenção permanente de cobertura do solo e rotações de culturas (PECHE FILHO, 2005) e apresentaram características químicas e físicas semelhantes. Contudo, a partir dos históricos mais detalhados de manejo levantado *a posteriori*, percebeu-se que haviam sistema plantio direto e áreas apenas sob plantio direto. Informações mais detalhadas a respeito do histórico de manejo das áreas, coordenadas geográficas, período de implantação dos sistemas, agrotóxicos utilizados durante o período de avaliação são apresentadas nos Apêndices A e B.

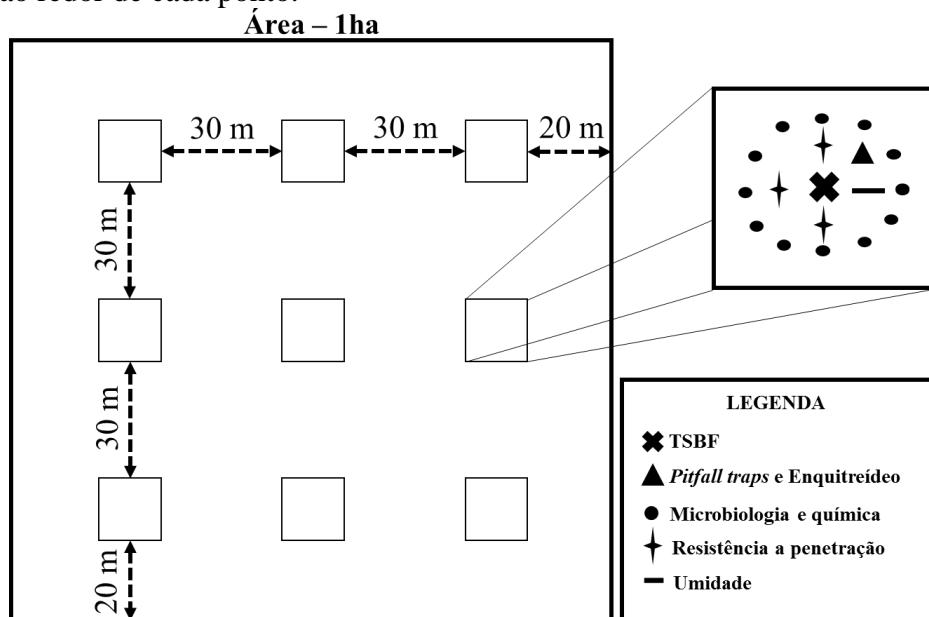
A escolha dos Sistema Plantio Direto estudados se deu a partir da produtividade, considerando a produtividade média para o estado de Santa Catarina. Para o ano agrícola 2016/2017 que se iniciaram as coletas, a produtividade média prevista para estado foi de 3.580 Kg ha⁻¹, de acordo com os dados da CONAB (2018) e com base no conhecimento dos demais pesquisadores envolvidos no projeto, estabeleceram-se o gradiente para Sistema Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade, sendo inicialmente de >3.600, 3.600-2.400 e <2.400 Kg ha⁻¹, respectivamente.

3.2 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

As amostragens, foram realizadas nos anos agrícolas de 2016/2017 e 2017/2018, nos períodos de janeiro a fevereiro de 2017 e de dezembro de 2017 a janeiro de 2018, respectivamente. Foram coletadas amostras de solo em pontos distribuídos em uma grade de amostragem por Sistema Plantio Direto estudado, sendo os municípios considerados as réplicas verdadeiras dos SPDs, ao redor de cada ponto realizada a coleta para todas as variáveis analisadas (Figura 3).

As amostras de solo para análises químicas, físicas e biológicas foram coletadas nas camadas de 0-10 cm, quando a cultura da soja encontrava-se no estádio de florescimento (R1).

Figura 3 - Representação da grade amostral de 3 × 3 pontos e esquema de amostragem de solo ao redor de cada ponto.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Foram coletadas doze subamostras ao redor de cada ponto da grade amostral para formar uma amostra composta representativa, em nove pontos por sistema, utilizadas para análises químicas e microbiológicas do solo. As amostras compostas destinadas as análises microbiológicas foram armazenadas em sacos plásticos e transportadas em caixas térmicas com gelo e conduzidas até o Laboratório de Solos da Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ), Chapecó, SC, sendo que posteriormente estás amostras de solo foram tamizadas (malha de 2 mm) e mantidas à 4 °C até serem analisadas.

3.3 VARIÁVEIS ANALISADAS

3.3.1 Atributos químicos e físicos

No presente estudo os atributos químicos e físicos do solo foram utilizados como variáveis explicativas, utilizado-se as metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e realizadas no Laboratório de Solos da EPAGRI/CEPAF/CHAPECÓ. Foram determinados teor de argila (%), pH-água, índice SMP, teores de fósforo (P), potássio (K), matéria (MO), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al), capacidade de troca de cátions (CTC pH7) e soma de bases.

A resistência à penetração (RP) foi obtida à campo com o uso de um penetrômetro digital (Penetrolog – PLG1020) com os dados obtidos em Kg pascal (Kpa) sendo as amostragens realizadas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm com leituras efetuadas a cada 2,5 cm de profundidade. Também como variável física do solo foi avaliado o teor de umidade volumétrica do solo, determinada através da utilização de aparelho portátil (Hidrofarm – HFM1010) (Apêndice F).

3.3.2 Fauna edáfica

A fauna edáfica foi amostrada por meio de uma adaptação da metodologia desenvolvida pelo programa de Biologia e Fertilidade dos Solos Tropicais (*Tropical Soil Biology and Fertility* – TSBF) descrito por Anderson e Ingram (1993), coletando-se monólitos quadrados de 25×25 cm de largura, na camada de 0-10 cm. Após a coleta, os monólitos foram transportados para o Laboratório de Solos da Universidade Comunitária de Chapecó (UNOCHAPECÓ) (Apêndice E).

Outro método utilizado para amostragem da fauna edáfica foram as armadilhas de solo (*Pitfall traps*), que consistiu na implantação de recipientes cilíndricos com abertura de 8 cm de diâmetro, com capacidade volumétrica de 500 mL, contendo 200 mL de solução detergente a 0,5% (v/v) e enterrados com sua extremidade vazada nivelada com a superfície do solo (BARETTA et al., 2014). Esses recipientes permaneceram no campo por 72 horas consecutivas (Apêndice E).

No laboratório, a fauna amostrada por TSBF foi triada manualmente, com o auxílio de iluminação artificial. A fauna amostrada através das armadilhas, quando no laboratório foram triadas com o auxílio de duas peneiras sobrepostas, a superior com malha de 2 mm e a inferior com malha 0,053 mm, sob água corrente. A primeira peneira teve por objetivo reter materiais grosseiros (folhas, torrões de solo, galhos) e a segunda para reter toda a fauna amostrada. Todos os organismos encontrados foram mantidas em álcool 70%, com exceção das minhocas, que foram mantidas em álcool absoluto. Posteriormente, com auxílio de microscópio estereoscópico os organismos da fauna edáfica foram identificados ao nível taxonômico de Classe/Subclasse/Ordem/Família/Epifamília (RUGGIERO et al., 2015) e quantificados (Apêndice H).

A coleta dos enquitreídeos foi realizada apenas no segundo ano (ano agrícola 2017/2018), seguindo as recomendações da ISO 23611-3 (2007) que consiste em monólitos cilíndricos de solo, com dimensões 5×5 cm, coletados com auxílio de um anel (Apêndice F), sendo coletado no mesmo local onde posteriormente foi inserido as armadilhas de solo (*Pitfall traps*) no intuito de causar menos perturbação no local de avaliação. O método de extração úmida a frio é recomendado internacionalmente (ISO, 2007). Como já demonstrado por Niva et al. (2015), não é o método mais adequado para extração de enquitreídeos em regiões tropicais, sendo então utilizada uma adaptação da metodologia de extração úmida quente de O'Connor (1955).

Para extração dos enquitreídeos as amostras de solo são postas em peneiras plásticas (15 cm de diâmetro) forradas com uma flanela porosa, acoplada a um funil plástico (19 cm de diâmetro) e cobertas por água. A amostra é aquecida por uma lâmpada (75 V), de modo que a temperatura na superfície da água alcance 40-50 °C. O gradiente de calor produzido pela lâmpada induz os enquitreídeos a se moverem para baixo, do solo para a água, caindo até a válvula ligada na extremidade inferior do funil. Depois de 2,5 a 3 horas de aquecimento os enquitreídeos são coletados em recipientes com capacidade para 1,5 litros. Após deixar a amostra decantar por cerca de 10 minutos, o excesso de água é cuidadosamente descartado,

evitando a perda de qualquer sedimento. O material decantado é então ressuspensido e transferido para placas de petri. As placas de petri são levadas para microscópio estereoscópio para contagem dos enquistreídeos e remoção de raízes e outros resíduos. Faz-se nesse momento a contagem dos enquistreídeos e determina-se a sua abundância. A identificação dos enquistreídeos em nível de gênero é realizada *in vivo*, ou seja, indivíduos juvenis ou adultos vivos e não danificados, visualizados em microscópio óptico (Apêndice H).

3.3.3 Atributos microbianos do solo

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método de fumigação-extrAÇÃO (VANCE et al., 1987), com três repetições laboratoriais, sendo três amostras fumigadas e três não fumigadas. A fumigação foi realizada com clorofórmio livre de etanol (CHCl_3). As amostras foram incubadas em dessecador por 24 h à 25 °C, na ausência de luminosidade. O CBM foi extraído por agitação por 30 minutos em presença de sulfato de potássio 0,5 mol L⁻¹ (K_2SO_4), seguido de decantação por ao menos uma hora e posterior filtragem lenta em filtro de papel (4-12 µm). As alíquotas foram oxidadas com dicromato de potássio 66,7 mmol L⁻¹ ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) em banho maria a temperatura de 100 °C por uma hora. O teor de C solúvel foi determinado por titulação com $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 33,3 mmol L⁻¹ na presença do indicador difenilamina (1%). O CBM foi calculado pela diferença entre carbono extraído do solo fumigado e não fumigado multiplicada pelo fator de correção $K_{\text{ec}} = 0,33$, que representa a eficiência da extração de 33%, proposto por Sparling; West (1988) (Apêndice G).

A atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal do solo (RBS) de amostras de 50 gramas de solo incubadas a temperatura de 28 °C até que ocorresse a estabilização das emissões de CO₂, período que variou de 10 a 15 dias. O CO₂ liberado foi capturado em solução de hidróxido de sódio (NaOH) 50 mmol L⁻¹, precipitado com solução de cloreto de bário ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0,5 mol L⁻¹, e quantificado por titulação do NaOH remanescente com ácido clorídrico (HCl) 50 mmol L⁻¹ na presença de fenolftaleína (ALEF; NANNIPIERI, 1995) (Apêndice G).

Com os resultados da atividade respiratória microbiana e do CBM calculou-se o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), que representa a quantidade de C-CO₂ liberada em determinado tempo, por unidade de C microbiano ($\mu\text{m h}^{-1} \text{C-CO}_2 \text{ g CBM}^{-1}$), conforme proposto por Anderson; Domsch (1993).

Para determinação do teor de carbono orgânico total (COT) de cada amostra peneirada a 2 mm foi retirada uma subamostra de 10 g que foi seca à 60 °C e moída em gral de porcelana e posteriormente determinado através da espectroscopia de infravermelho – NIR, para o nitrogênio total (NT) foram determinados utilizando um analisador de carbono e nitrogênio (multi N/C 2100, Analytik Jena, Alemanha), o qual utiliza a absorção de radiação infravermelha não dispersiva (NDIR) pelo dióxido de carbono formado após combustão da amostra a 800 °C em forno horizontal. A partir dos resultados de CBM e COT foi calculado o quociente microbiano (q_{Mic}) expresso como a percentagem de C microbiano em relação ao C orgânico total do solo (ANDERSON, 1994).

3.3.4 Outras avaliações

Ao final do desenvolvimento da cultura da soja, quando a mesma encontrava-se em estádio reprodutivo R8 (maturação de campo) foram coletadas todas as plantas dentro de 1 m² (Apêndice F) em cada ponto avaliado. Posteriormente, estas amostras foram transportadas até a Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias (UDESC/CAV), onde foram separados os grãos do restante da biomassa vegetal e secas em estufa a 65 °C até peso constante. As amostras foram pesadas e estipulado a produtividade das áreas de soja para Kg ha⁻¹. As produtividades médias para o ano agrícola 2016/2017 para os SPDA, SPDM e SPDB foram de 4.533, 4.256 e 4.231 Kg ha⁻¹, respectivamente, e no ano agrícola de 2017/2018 para os SPDA, SPDM e SPDB as produtividades foram de 5288, 4813 e 4648 Kg ha⁻¹, respectivamente, a fim de verificar o gradiente de produtividade das áreas avaliadas.

Ao final de cada ano agrícola, foram realizadas coleta de dados referente ao histórico das áreas, diretamente com os produtores. Estas coletas tiveram como objetivo levantar questões relacionadas ao manejo das áreas em relação ao plantio direto, rotação de culturas, período de implantação do sistema, bem como histórico de aplicação de agrotóxicos durante o período de avaliação (Apêndices A e B).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados químicos e físicos do solo foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade, sendo que quando necessário utilizou-se a transformação de Log ou Box-Cox.

Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quando alguma das variáveis não atendeu tais pressupostos (normalidade e homogeneidade), estás foram analisadas através do teste não-paramétrico de Kruskal Wallis, ambos pelo programa estatístico Statisca 10 (STATSOFT, 2018), estas variáveis foram utilizadas apenas como explicativas, para verificar a semelhança das características físicas e químicas do solo.

A partir dos dados da fauna edáfica calcularam-se os índices de diversidade de Shannon-Wiener (H'), equabilidade de Pielou (J), Dominância (D) e Riqueza (S), utilizando o programa estatístico Past 3.0 (HAMMER; HARPER, RYAN, 2001), a fim de verificar como o sistema plantio direto com diferentes produtividades poderiam afetar a distribuição dos grupos da fauna. Os valores médios de abundância, H' , J, D e S foram calculados ponto a ponto ($n = 9$), compondo uma média para cada tratamento SPDA, SPDM e SPDB produtividade de cada município, sendo estas consideradas réplicas verdadeiras dos sistemas avaliados ($n = 4$), estes utilizados para os testes estatísticos. Os dados de riqueza média, indivíduos por metro quadrado da fauna edáfica e os dados microbiológicos foram submetidos aos testes de normalidade e homegenindade, seguindo o mesmo método descrito para as variáveis químicas e físicas do solo.

As análises de regressão foram realizadas com modelos de regressão linear para obter a correlação entre os índices de diversidade e a produtividade da cultura da soja, utilizando o programa Sigma Plot (SIGMA PLOT, 2008). A análise foi realizada somente para os índices da fauna edáfica amostrada por TSBF e a produtividade de soja nos respectivos pontos, independente do ano de avaliação (4 municípios \times 3 níveis de produtividade \times 2 anos = 24 pontos). Já para a fauna edáfica amostrada por *Pitfall traps* e gêneros de enquitreídeos apresentaram baixo valor de R^2 ($<0,15$), assim sendo, não foram apresentadas.

Para a análise multivariada foram excluídos os dados obtidos na Mata Nativa (MN), uma vez suas características distintas interferiam a separação entre os SPDs avaliados. A abundância total dos grupos taxonômicos obtidos em cada método de coleta foi utilizada para a obtenção do comprimento de gradiente através da Análise de Correspondência Direcionada (ACD) (TER BRAAK; SMILAUER, 1998). A análise da abundância dos grupos da fauna e da produtividade em SPDA, SPDM e SPDB deu-se pela Análise de Componentes Principais (ACP) para ambos os métodos de amostragem, a fim de verificar a associação dos grupos taxonômicos com níveis de produtividade. As variáveis explicativas colineares foram identificadas através do *Variance Inflation Factor* (VIF) e por operações de *forward selection*, usando sucessivas Análise de Redundância (AR) com base em permutações por teste de Monte-Carlo para cada tipo de variável, retirando as que apresentaram colinearidade e selecionando as que melhor explicaram a variação dos dados.

Desta maneira, se permitiu a escolha de um conjunto mínimo de variáveis físicas, químicas e, também, microbiológicas quando utilizando a fauna como resposta, que sejam significativas para explicar a variação dos grupos da fauna edáfica em cada ano de coleta. Somente as variáveis significativas das ARs foram posteriormente utilizadas na ACP. A análise multivariada foi realizada para cada ano de avaliação (anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018), e também para os dois anos juntos, a fim de obter maior consistência dos resultados. Para as análises multivariadas foi utilizado o programa CANOCO 4.5 (TER BRAAK; SMILAUER, 1998).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

Não foram encontradas diferenças estatísticas ($P > 0,05$) os SPDA, SPDM e SPDB produtividade de soja com base nos atributos químicos e físicos. Esse fato rejeita uma das hipóteses do trabalho, demonstrando que mesmo em SPD com altos níveis de fertilidade, não garantem elevadas produtividades.

Atualmente, tem se discutido sobre o ruído na fertilidade do solo, o qual consiste na incoerência da expectativa de rendimento esperado e os teores de nutrientes observados no solo. Esta variação se apresenta em proporções muito maiores nos cultivos sob SPD em comparação ao sistema convencional (PC), constituindo assim, na diferença entre a fertilidade existente e a percebida pelas plantas (NICOLODI; GIANELLO, 2017). Os autores mencionam que, nos últimos anos tem-se tornado mais frequente encontrar altos teores de fertilidade e baixo rendimento das culturas em SPD ou vice e versa. Atribuindo a fatores como, ausência da palhada sobre o solo e certo revolvimento do mesmo, promovendo alterações significativas na estrutura e nos gradientes químicos e biológicos do solo. Porém, os autores ainda justificam parte desta incoerência, as curvas de calibração terem sido baseadas em um sistema construído para o preparo convencional.

Tomando como base o Manual da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – SC/RS (CQFS, 2016), os níveis de fertilidade das áreas amostradas encontram-se no que se considera alto e muito alto para a condição de produtividade de grãos. Apenas fazendo uma ressalva para a condição do fósforo, onde de acordo com os teores de argila levados em consideração para determinação dos teores críticos do elemento, o SPDM encontra-se entre o limiar de médio para alto para os dois anos de avaliação, porém, não sendo uma variação considerável (Tabela 2). Desta maneira, pode-se dizer que nos níveis de produtividade avaliados a diferença no rendimento da cultura da soja possivelmente não está relacionada às propriedades químicas do solo.

A resistência à penetração do solo aumenta com a compactação do solo e com a diminuição da umidade do solo, fazendo com que ocorra uma maior coesão com as partículas de solo, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores que variam de 1.500 a 3.000 Kpa (BEUTLER et al., 2001). Nota-se que a variável resistência a penetração na profundidade de 0-10 cm (RP0-10) (Tabela 2) apresentou uma ampla variação justificando a

não diferença nesta camada para o primeiro ano ($P > 0,05$), contudo os valores encontrados nesta camada são considerados baixos (100-1.000 Kpa), de acordo com a escala proposta por Soil Survey Staff (1993). De acordo, com os mesmos autores para a variável RP10-20, a mesma já é considerada alta (2.000-4.000 Kpa), sendo que está variável não diferiu entre os sistemas ($P > 0,05$).

Os níveis críticos de resistência a penetração, no qual se correlaciona diretamente a densidade do solo (GIRARDELLO et al., 2017) para o crescimento radicular das plantas, variam com o tipo de solo e as culturas (MARTINS et al., 2009). Desta maneira, pode ocorrer a redução no desenvolvimento radicular das plantas (CHEN; WEIL, 2010) e, consequentemente, no rendimento das culturas. Contudo, para as variáveis analisadas, além de não se observar diferença estatística entre elas não é possível observar nenhuma tendência que justifique a produtividade no SPDB. Os dados obtidos por Girardello et al. (2017), avaliando o tráfego controlado de máquinas na cultura da soja em SPD, não evidenciaram diminuição no rendimento com resistência a penetração de até 2.000 Kpa até 20 cm de profundidade.

Assume-se que são necessários mais parâmetros físicos para que afirmações mais conclusivas sejam feitas (as quais estão em andamento), entretanto, até o presente momento pode-se afirmar que a diferença de produtividade obtida também não se justifica pelos atributos físicos apresentados. Ao rejeitar a hipótese mencionada, abre-se a possibilidade para que as diferenças de produtividade estejam sendo influenciadas pelas propriedades biológicas do solo

Tabela 2 - Teores de Argila, pH, Fósforo (P), Potássio (K), Matéria Orgânica (MO), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Resistência a Penetração na camada 0-10 cm (RP0-10), Resistência a Penetração na camada 10-20 cm de profundidade (RP10-20) e Umidade nos Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja em quatro municípios do Oeste de Santa Catarina. (n = 4).

Sistema	Argila	pH	P	K	MO	Al	Ca	Mg	RP0-10	RP10-20	Umidade	Serapilheira
	(%)		-----mg dm ⁻³ -----	g Kg ⁻¹	-----cmolc dm ⁻³ -----				-----Kpa-----		(%)	Kg ha ⁻¹
Ano 1												
SPDA	48,73 ^{ns}	5,45 ^{ns}	14,61 ^{ns}	206,67 ^{ns}	46,99 ^{ns}	0,14 ^{ns}	6,72 ^{ns}	2,72 ^{ns}	934,91 ^{ns}	2.479,52 ^{ns}	17,97 ^{ns}	4.446,3 ^{ns}
SPDM	41,88	5,86	11,86	224,24	40,00	0,15	7,74	2,31	643,37	2.178,51	16,12	4.232,59
SPDB	39,15	5,73	21,05	193,94	40,00	0,16	6,84	2,31	589,78	2.452,58	20,26	5.086,54
Desv.	10,14	0,45	9,46	66,44	10,60	0,21	1,60	1,12	243,81	481,52	6,71	1.340,20
Ano 2												
SPDA	48,68 ^{ns}	5,32 ^{ns}	13,73 ^{ns}	259,57 ^{ns}	48,20 ^{ns}	0,59 ^{ns}	6,71 ^{ns}	4,20 ^{ns}	1002,98 ^{ns}	2.521,13 ^{ns}	12,89 ^{ns}	3.847,42 ^{ns}
SPDM	41,88	5,86	11,95	224,24	40,00	0,16	7,81	3,70	1086,44	3.036,53	13,75	4.234,50
SPDB	40,40	5,78	16,34	161,78	41,30	0,66	6,71	2,89	1156,55	2.748,89	12,65	3.264,03
Desv.	10,40	0,51	9,04	74,56	12,00	0,87	1,66	1,32	315,85	639,16	1,48	1.284,77

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4.2 VARIÁVEIS RESPOSTAS

4.2.1 Fauna edáfica

4.2.1.1 Fauna edáfica por *tropical soil biology and fertility* (TSBF)

No total foram identificados 5.703 organismos da fauna edáfica, distribuídos em 23 grupos taxonômicos nos dois anos de avaliação (anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018), a densidade média de indivíduos observados foi de 580 por metro quadrado (Ind. m⁻²) (Tabela 3).

Dentre os atributos da fauna edáfica, somente a riqueza média no primeiro ano de avaliação apresentou diferença estatística, onde a MN (7,55) diferiu-se dos demais sistemas SPD avaliados. Contudo, a densidade de indivíduos por metro quadrado não apresentou diferença estatística. Para os índices de diversidade, cabe salientar que o índice H', apresentou-se maior em MN e diminuindo de acordo com o gradiente de produtividade SPDA>SPDM>SPDB (Tabela 3). Quando observado apenas dentro dos sistemas SPD, destaca-se o índice de diversidade de J da fauna em SPDA, apresentando uma melhor homogeneidade na distribuição dos grupos apresentando uma leve diminuição em direção ao SPDB. Já para o índice D, observou-se os maiores valores no SPDB produtividade diminuindo em relação ao SPDA produtividade (Tabela 3).

Tabela 3 - Riqueza média, Densidade média (Indivíduos por metro quadrado – Ind. m²), índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') índices de Dominância (D) e equabilidade de Pielou (J) dos grupos da fauna edáfica amostrados por monólitos de solo (TSBF) em Mata Nativa (MN) e nos Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina.

TSBF	Ano 1				Ano 2			
	MN	SPDA	SPDM	SPDB	MN	SPDA	SPDM	SPDB
Araneae	23	14	7	10	23	17	60	23
Blattodea	4	0	0	0	4	5	2	2
Chilopoda	19	12	6	4	19	17	37	15
Coleoptera	83	96	101	80	83	163	251	225
Dermoptera	8	26	27	7	8	18	24	20
Diplopoda	31	32	40	82	31	66	43	52
Diplura	4	0	0	0	4	2	0	0
Diptera	0	0	0	0	0	2	0	2
Enchytraeidae	101	343	393	344	101	230	137	314
Hymenoptera (Formicidae)	328	30	32	104	328	62	167	154
Gastropoda	14	1	1	2	14	4	1	2
Hemiptera	7	0	0	0	7	11	9	6
Isopoda	1	0	0	0	1	0	0	0
Larva Coleoptera	21	40	51	50	21	39	81	48
Larva Diptera	33	3	2	2	33	1	13	0
Oligochaeta (Minhocas)	5	59	73	67	5	44	200	134
Orthoptera	0	2	2	0	0	1	5	1
Outros ¹	4	5	4	0	4	1	1	0
Pseudoscorpionida	2	0	0	0	2	0	0	0
Siphonaptera	1	0	0	0	1	0	0	0
Sympyla	0	1	1	5	0	3	1	0
Termitoidae (Isoptera)	99	0	0	0	99	0	0	0
Thysanoptera	3	3	9	2	3	10	4	7
Riqueza média	7,55a	4,60b	4,55b	4,11b	7,55 ^{ns}	5,52	5,67	5,31
Ind. m ²	703 ^{ns}	300	333	337	703 ^{ns}	324	460	447
Shannon (H')	1,31	1,13	1,14	0,99	1,31	1,27	1,22	1,15
Dominância (D)	0,39	0,40	0,38	0,46	0,39	0,35	0,39	0,41

Equabilidade (J)	0,68	0,81	0,79	0,74	0,68	0,79	0,79	0,77
------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

¹Outros – Organismos não identificados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A Riqueza média foi maior em MN, diferenciando-a do SPDs, apenas no primeiro ano de avaliação, entre os SPDs não houve diferença estatística. A Riqueza é definida por vários fatores, entre eles o microclima, serapilheira, plantas de cobertura, tipo de solo, entre outros (ALVES et al., 2008). De acordo com Melo (2008), a riqueza é um parâmetro mais robusto para medir efeitos em populações, quando se tem um maior número de amostras, podendo identificar a natureza da comunidade, facilitando a compreensão dos resultados. O autor ainda sugere que, na avaliação de comparação de médias o mais recomendado seja a utilização da riqueza de espécies/grupos, por estimar aspectos distintos da comunidade e, portanto, podem responder de modo mais claro a tratamentos experimentais ou situações ambientais.

Os autores Birkhofer et al. (2015), afirmam que pode haver relações diferentes com o aumento da riqueza e os processos desenvolvidos, idealizando três modelos através do aumento da riqueza. Uma delas é uma relação linear entre o aumento de espécies/grupos e as funções desempenhadas, de outro ponto de vista pode ocorrer uma relação redundante e a terceira sendo idiossincrática.

Desta maneira, quando houver baixos níveis de biodiversidade do solo, a entrada de um novo grupo/espécie proporcionará manutenção e/ou aumento na atividade biológica do solo, enquanto em níveis de maior biodiversidade, os efeitos da riqueza de espécies no funcionamento serão menos evidentes (BENDER; VAGG; HEIJDEN, 2010).

Na figura 4, foram apresentados apenas as análises que apresentaram os principais resultados. A utilização de análise de regressão linear demonstrou correlação positiva para as variáveis índice H' ($R^2 = 0,57$, $P < 0,0001$) e J ($R^2 = 0,31$, $P < 0,01$) com a produtividade de soja em SPD. No entanto, foi observado correlação negativa entre o índice D ($R^2 = -0,57$, $P < 0,0001$) e a produtividade de soja em SPD (Figura 4). A partir desta análise podemos verificar que o aumento na diversidade da fauna, representado pelo índice de Shannon-Wiener (H'), e o quanto similar os grupos estão representados, demonstrado pelo índice de Pielou (J), proporcionaram o aumento do rendimento da soja. Porém, quando há aumento no índice dominância, ou seja, a predomínio de determinado grupo sobre os demais, houve redução no rendimento da soja.

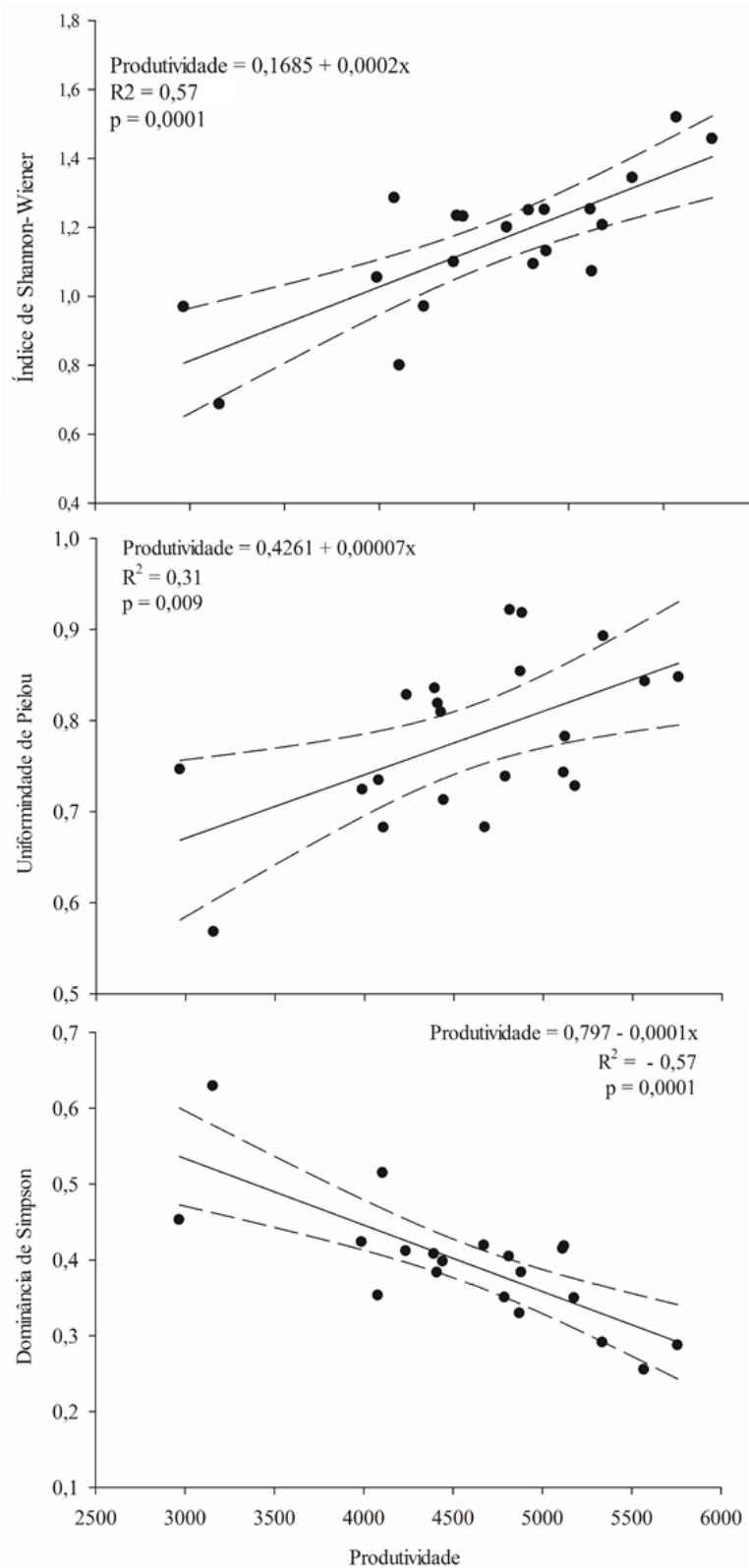
De forma semelhante, o baixo valor do índice de H' e elevado valor de D em SPDB indica a baixa diversidade de grupos da fauna edáfica e elevada dominância de poucos grupos, que pode afetar a atividade biológica de maneira negativa, como por exemplo grande presença de organismos que atuem na fragmentação da serapilheira, porém falta de organismos que atuem na mineralização e ciclagem de nutrientes exemplificando o que pode ocorrer devido à baixa diversidade. Tendo seus reflexos no rendimento da cultura, como pode ser observado na análise de regressão (Figura 4), contudo, a falta de outros trabalhos semelhantes a este impossibilita a comparação com outros trabalhos.

A equabilidade de Pielou (J) demonstrou comportamento semelhante ao índice H' nas áreas sob SPD seguindo o gradiente de produtividade SPDA>SPDM>SPDB, uma vez que para está variável, a MN apresentou os menores valores. Este índice é derivado do índice de diversidade de Shannon-Wiener, o qual permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes (PIELOU, 1966), assim quanto maior os valores obtidos para está variável melhor a distribuição da fauna entre os grupos.

Para o índice de D, os valores apresentados seguiram a tendência inversa dos demais, com os maiores valores obtidos no SPDB em relação ao SPDM e SPDA. Comportamento esperado, visto a tendência dos demais índices de diversidade, assim, o funcionamento adequado no SPDB, pode ser prejudicado pela baixa diversidade de grupos e consequente redução nos diferentes serviços ecossistêmicos.

A partir dos valores de correlação obtidos, pode-se inferir que há uma boa correlação entre os índices e a produtividade da cultura da soja, levando em consideração a ampla variabilidade que a fauna edáfica apresenta. Jiang et al. (2018) com o objetivo de avaliar os efeitos do plantio direto com cobertura de milho na macrofauna do solo, a abundância, diversidade e composição da comunidade de macrofauna do solo, obteve valores médios de $R^2 = 0,22$ entre a abundância da fauna e a taxa de cobertura do solo, e de $R^2 = 0,03$ entre a riqueza da fauna e a taxa de cobertura do solo. Evidenciando baixos valores de R^2 na avaliação da fauna edáfica.

Figura 4 - Correlação entre os índices de diversidade de Shannon-Wiener (H'), equabilidade de Pielou (J) e dominância (D) da fauna edáfica amostrados por monólitos de solo (TSBF) e a produtividade de soja em sistemas plantio direto no Oeste de Santa Catarina, independente do ano de amostragem para os dois anos de avaliação. $n = 24$



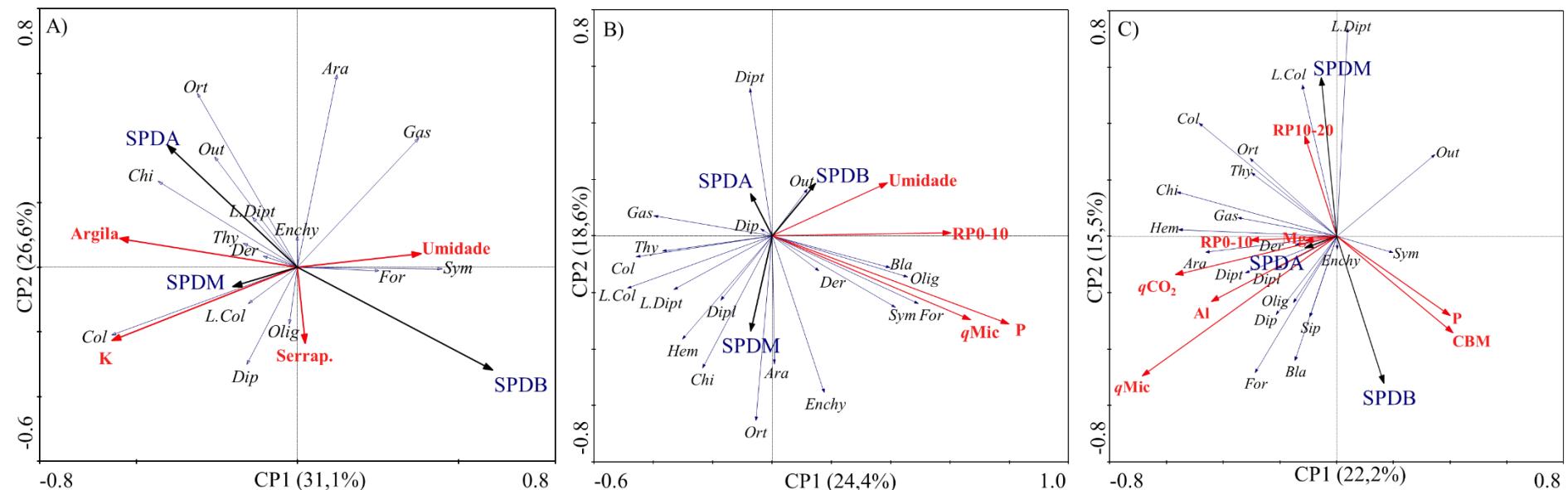
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A Análise de Componentes Principais (ACP) evidenciou a diferença existente entre os SPDA, SPDM e SPDB produtividade, para ambos os anos avaliados (Figuras 5 – A e 5 – B). A ACP do primeiro ano (Figura 5 – A), o CP1 explicou 31,1% e o CP2 26,6%, totalizando 57,7% da variabilidade, ficando evidente a maior diversidade de grupos taxonômicos em SPDA, predominando os grupos Chilopoda, Orthoptera, Larva de Diptera, Thysanoptera, Dermaptera e Outros (organismos não identificados), os quais foram explicados pelos elevados teores de Argila nessas áreas. No SPDM, os grupos mais associados foram Coleoptera, bem como as Larvas de Coleoptera, explicado pelos maiores teores de K, enquanto no SPDB nenhum grupo ficou associado no primeiro ano de avaliação. Os grupos Diplopoda e Oligochaeta ficaram relacionados a biomassa de serapilheira e os grupos Formicidae e Symphyla aos teores de umidade, mas não estiveram fortemente associados a nenhum sistema.

Durante o segundo ano de avaliação (Figura 5 – B), o CP1 explicou 24,4% e o CP2 18,6%, totalizando 43,0% da variação dos dados. Novamente, o SPDB apresentou a menor diversidade, ficando baixa abundância e não identificados (Outros). O SPDM apresentou a maior diversidade de grupos, associado aos grupos Araneae, Enchytraeidae, Chilopoda, Diplura, Hemiptera e Orthoptera. Já os grupos Diplopoda e Diptera estiveram associados ao SPDA. Os grupos Dermaptera, Blattodea, Formicidae, Oligochaeta e Symphyla foram influenciados pelos teores de P e *qMic*, porém não ficaram associados a nenhum sistema.

A avaliação independente do ano de amostragem, ou seja, considerando os dois anos avaliados (Figura 5 – C), evidenciou a separação entre os sistemas e os grupos da fauna edáfica, onde o CP1 explicou 22,2% e o CP2 explicou 15,5%, totalizando 37,7% da variação dos dados. Em SPDA, ficou concentrada a maior diversidade da fauna edáfica, evidenciando forte associação com os grupos, Araneae, Dermaptera, Diplura, Diptera, Oligochaeta e Diplopoda, explicados pelas variáveis Mg, *qMic*, *qCO₂*, Al e RP0-10. O SPDM ficou associado as Larvas de Coleoptera e Larva de Diptera, influenciados pela maior RP10-20, onde, novamente o SPDB não teve associação com grupos da fauna.

Figura 5 - Análise de Componentes Principais (ACP) para os grupos taxonômicos da fauna edáfica no primeiro ano de coleta (A), segundo ano de coleta (B) e para os dois anos de coleta juntos (C), as variáveis explicativas em vermelho e os Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina . Dipt = Diptera; L. Col = Larva de Coleoptera; Ara = Araneae; Col= Coleoptera; Ort = Orthoptera; Enchy = Enchytraeidae; Chi = Chilopoda; Olig = Oligochaeta (Minhocas); Der = Dermaptera; Dip = Diplopoda; Dipl = Diplura; Gas = Gastropoda; Hem = Hemiptera; Thy = Thysanoptera; Sym = Symphyla; Bla = Blattodea; Sip = Siphonaptera; For = Formicidae; Out = Outros; Umidade = Umidade; Al = Alumínio; RP0-10 = Resistência a penetração 0-10 cm de profundidade e P = Fósforo. CP1 = Componente Principal 1; CP2 = Componente Principal 2.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

De maneira geral, independente do ano de avaliação ou para os dois anos juntos, as ACPs presentaram baixa diversidade de grupos associadas ao SPDB. O SPDA apresentou maior riqueza de grupos, demonstrando grande participação de grupos predadores como Chilopoda, Dermaptera e Thysanoptera (este último grupo em partes, pois nem todos organismos deste grupo são predadores) (Figura 5 – A). No entanto, para que haja predominância de predadores, é importante que as cadeias alimentares estejam estabelecidas, o que dificilmente ocorre em áreas agrícolas (BARETTA, 2007; ROSA et al., 2015). Porém, pode ser favorecido SPDA em relação SPDB, sendo um efeito cascata, devido aos maiores teores Argila proporcionando maior efeito tamponante do solo (ROCHA et al., 2013), beneficiando organismos que formam a base da cadeia alimentar, os quais são sensíveis a oscilações como, por exemplo, do pH.

Estes grupos de predadores demonstraram, juntamente com Orthoptera, Larva de Diptera e outros organismo não identificados relação com os teores de Argila durante o primeiro ano (Figura 5 – A). Maiores teores de Argila no solo podem atuar de diferentes maneiras sobre a fauna edáfica: a primeira é que em áreas com maiores teores de argila os solos possuem maior poder tampão (CQFS, 2016), bem como uma maior capacidade de sorção dos agrotóxicos (ROCHA et al., 2013). Assim, o efeito dos agrotóxicos pode ser mitigado provocando menor dano a comunidade edáfica, visto a grande quantidade de agrotóxicos aplicados nestes sistemas (Apêndice A e B). Outra maneira é que, alguns grupos são fortemente influenciados pelos teores de argila e pH como já mencionados, entre eles os grupos Collembola, Acarina e Enchytraeidae (LORANGER et al., 2001; BEYLICH; GRAEFE, 2012), os quais são base da cadeia alimentar de outros níveis tróficos.

Observa-se no primeiro ano (Figura 5 – A), que o grupo Coleoptera foi fortemente influenciado pelos teores de K, resultado este que corroboram com os encontrados por Wink et al. (2005). Já os grupos Diplopoda e Oligochaeta foram dependentes da biomassa da serapilheira. A MO do solo bem como o material vegetal em decomposição são a principal fonte de alimento destes dois grupos (COSTA NETO, 2007; BARTZ et al., 2014). A diminuição da serapilheira e consequentemente da MO, pode afetar em 50% ou mais a população de minhocas em SPD (SMITH et al., 2008). Jiang et al. (2018), avaliando diferentes quantidades de biomassa remanescente da cultura do milho em SPD, observaram esse mesmo efeito significativo sobre a abundância de organismos, bem como, na população dos grupos Oligochaeta e Hymenoptera e a quantidade de material vegetal remanescente.

Os grupos Formicidae e Symphyta, estão correlacionados aos maiores teores de umidade do solo. O grupo Formicidae é considerado “engenheiro do ecossistema”, formando

galerias que auxiliam da infiltração e distribuição da água no solo, sendo que muitas espécies deste grupo se alimentam de fungos (BARETTA et al., 2011), assim a maior umidade pode favorecer também o cultivo de fungos por estes organismos em seus ninhos. Grande parte dos organismos pertencentes a mesofauna do solo dentre eles o grupo Symphyla, estão associados a ambientes de umidade mais elevada (BARETTA et al., 2011; BEDANO et al., 2016).

No segundo ano de coleta (Figura 5 – B), o SPDA demonstrou associação ao grupo Diplopoda. Estes são considerados em sua maioria fungívoros e detritívoros, alimentam-se de fragmentos orgânicos com papel fundamental na decomposição da matéria orgânica e formação do solo (COSTA NETO, 2007). Devido a elevada capacidade de fragmentação da serapilheira por diplópodes, grande parte dos nutrientes presos no material vegetal podem enriquecer o solo e nutrir as plantas (SMITT; VAN AARDE, 2001; CORREIA; OLIVEIRA, 2005).

Alguns grupos como Blattodea, Dermaptera, Symphyla, Formicidae e Oligochaeta (Minhoca), ficaram correlacionados ao maior *qMic* e teores de P. O maior *qMic* pode indicar uma maior eficiência na utilização e transformação do C neste sistema, bem como já foi relatado a influência do P na presença de alguns grupos (DUNXIÃO et al., 1999; ROSA et al., 2015.). Por exemplo, já é conhecido que as minhocas têm forte relação com os teores de P, uma vez que o muco intestinal destes anelídeos possui enzimas digestivas e microrganismos que potencializam a mineralização e a disponibilidade de fósforo (GUIMARÃES et al., 2017).

A análise dos dados para os dois anos juntos (Figura 5 – C), é no intuito de obter maior consistência dos dados. Nesse caso, destaca-se a maior diversidade de grupos taxonômicos associados ao SPDA, entre eles predadores como Araneae e Dermaptera, bem como detritívoros Diplopoda e Oligochaeta, grupos já muito discutido quanto sua importância e seus benefícios no que se refere a regulação da cadeia trófica, estrutura do solo, agregação e ciclagem de nutrientes (BARETTA et al., 2011; BARTZ et al., 2013; VAN GROENIGEN et al., 2014), apresentando também outros grupos, não menos importantes como Diplura, Diptera e Hemiptera, os quais foram fortemente influenciados pelos teores de Mg, Al, *qCO₂*, *qMic* e RP0-10. Em trabalho realizado por Rosa (2013), avaliando a macrofauna do solo em diferentes sistemas de uso no Oeste e Planalto de Santa Catarina, evidenciou-se relação significativa entre grupos da fauna edáfica amostrados por TSBF e as variáveis Resistência a Penetração (RP) e Mg.

O papel dos organismos do solo no funcionamento do ecossistema tem sido reconhecido há algum tempo, sendo bem conhecido sua importância para o ciclo de nutrientes e carbono nos ecossistemas agrícolas e naturais (BENDER; WAGG; HEIJDEN, 2016). Assim, a maior

diversidade de grupos da fauna é importante para a manutenção dos ecossistemas BENDER; WAGG; HEIJDEN, 2016) e produtividade agrícola (BEDANO et al., 2016).

Em trabalho desenvolvido por Bedano et al. (2016), foi observado efeito significativo de SPDs bem manejados sobre a fauna edáfica, em relação a SPDs onde o manejo não era bem executado. O trabalho foi realizado em um transecto na Argentina, avaliando SPDs com boas práticas de manejo (rotação de cultura, uso adequado de adubação e redução no uso de agrotóxicos) e sem boas práticas de manejo, onde os autores identificaram alterações na abundância de organismos e na estrutura da comunidade de organismos edáficos. De acordo com esses autores, as variáveis que mais influenciaram a distribuição da fauna edáfica foram os teores de umidade, densidade do solo e MO, sendo a densidade do solo representado pela resistência a penetração nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Embora, houve diferença no rendimento da cultura da soja nos sistemas avaliados sendo de 3.055 Kg ha^{-1} e 2.758 Kg ha^{-1} com boas práticas de manejo e sem as boas práticas de manejo respectivamente, os autores não atribuíram a diferença exclusivamente a fauna, mas sim, um efeito potencializado pelas boas práticas de manejo adotadas e as funções ecológicas desenvolvidas pela fauna.

4.2.1.2 Fauna edáfica por *pitfall traps*

A partir dos dados da fauna do solo, amostrados por armadilhas de solo do tipo *Pitfall traps* nos dois anos de coleta (anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018), observou-se a presença de 29 grupos taxonômicos, com abundância média de 279 de indivíduos por armadilha (Ind. arm $^{-1}$) sendo contabilizados 65.372 organismos, onde os mesmos variaram de acordo com os diferentes níveis de produtividade de soja. Os valores de Riqueza média, Indivíduos por armadilha (Ind. arm $^{-1}$), não diferiram entre si, nos dois anos avaliados (Tabela 4).

Tabela 4 - Riqueza média, abundância média (Indivíduos por armadilha – Ind. arm⁻¹), índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') índices de Dominância (D) e equabilidade de Pielou (J) dos grupos da fauna edáfica amostrados por *Pitfall traps* em Mata Nativa (MN) e nos Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina. n = 4

Pitfall traps	Ano 1				Ano 2			
	MN	SPDA	SPDM	SPDB	MN	SPDA	SPDM	SPDB
Acarina	35	2.208	2.561	4.929	35	2.132	2.593	2.283
Araneae	76	180	119	186	76	61	105	53
Blattodea	29	0	1	0	29	0	2	0
Chilopoda	1	6	12	3	1	14	17	4
Coleoptera	666	615	811	691	666	257	286	199
Collembola	1.281	4.089	5.704	1.323	1.281	9.964	7.427	8.046
Dermoptera	1	14	23	4	1	6	1	4
Diptera	755	411	273	296	755	207	141	146
Diplopoda	4	6	2	7	4	37	19	1
Diplura	0	2	0	0	0	0	0	1
Enchytraeidae	0	2	0	1	0	0	0	0
Formicidae	720	196	536	294	720	88	129	387
Gastropoda	0	10	4	3	0	0	3	42
Hemiptera	5	23	33	23	5	17	35	40
Hymenoptera	4	0	0	0	4	0	0	0
Isopoda	0	1	1	10	0	0	1	0
L. Coleoptera	12	19	16	30	12	21	22	54
L. Diptera	4	2	3	1	4	1	0	15
Oligochaeta	0	1	3	1	0	4	2	5
Opiliones	16	0	0	0	16	0	0	0
Orthoptera	41	133	52	82	41	42	86	36
Outros ¹	8	16	11	9	8	1	2	1
Protura	4	0	0	0	4	0	0	1
Siphonaptera	3	0	0	2	3	1	0	1
Symplyla	0	0	0	0	0	0	1	0
Termitoidae (Isoptera)	143	1	1	0	143	0	0	2
Thysanoptera	9	67	135	82	9	47	78	89

Trichoptera	0	1	0	0	0	0	0	0
Tysanura	1	0	0	0	1	1	0	0
Riqueza média	10,27 ^{ns}	8,7	8,92	9,39	10,27 ^{ns}	8,46	8,73	8,96
Ind. arm ⁻¹	212 ^{ns}	228	286	222	212 ^{ns}	462	322	404
Shannon (H')	1,58	1,32	1,30	1,36	1,58	0,90	1,0	1,0
Dominância (D)	0,25	0,38	0,38	0,39	0,25	0,55	0,50	0,52
Equabilidade (J)	0,69	0,62	0,60	0,60	0,69	0,43	0,46	0,47

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

¹Outros: Organismos não identificados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A Riqueza média não apresentou diferença estatística, porém os menores valores foram identificados sempre em SPDA e aumentaram em SPDM e SPDB. Tem se discutido em redundância funcional, argumentando-se que uma perda de espécie/grupo pode não causar simultaneamente uma perda de características funcionais (BIRKHOFER et al., 2015). Por exemplo, o grupo Collembola foi mais abundante em SPDA em relação aos demais para o segundo ano e foi um pouco inferior ao SPDM, mas superior ao SPDB no primeiro ano, estes organismos são considerados estratégistas R e respondem rapidamente as mudanças do habitat (OLIVEIRA FILHO; BARETTA, 2016).

A variável Ind. arm⁻¹ apresentaram comportamentos distinto entre os anos de avaliação. O índice de Dominância (D) para o primeiro ano demonstrou-se menor nos tratamentos SPDA e SPDM em relação ao SPDB, no entanto para o segundo ano os maiores valores de H' e J foram obtidos em SPDB, e os menores valores destes índices foram obtidos em SPDA.

Ao observar a inconsistência dos dados na comparação da fauna edáfica amostrada por armadilhas entre os anos avaliados, verifica-se a necessidade de um maior período de condução do experimento, ou melhor, de se utilizar mais do que um método de avaliação quando objetivo for avaliar a diversidade de organismos do solo. Levando em consideração que este tipo de captura da fauna está intimamente ligado à sua atividade, o mesmo pode proporcionar uma variação maior dos dados e a utilização de índices e modelos univariados pode não proporcionar o entendimento adequado, subestimando ou superestimando os dados.

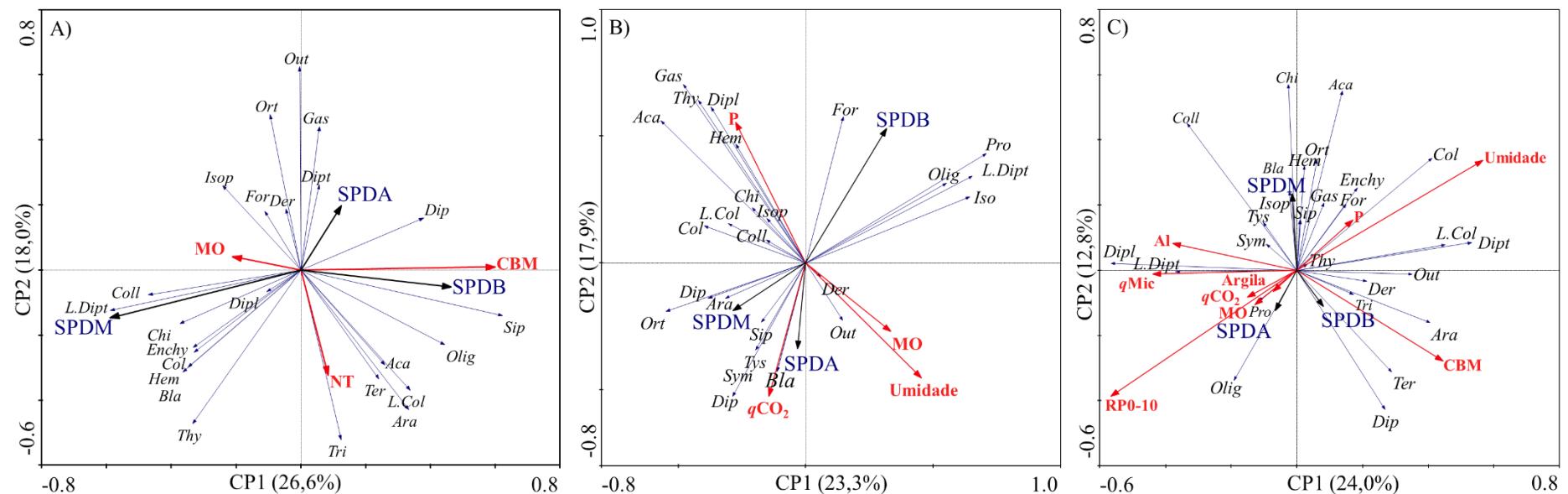
A ACP evidenciou a diferença existente entre os níveis de produtividade de soja e os grupos da fauna edáfica para ambos os anos avaliados (Figuras 6 – A e 6 – B). Durante o primeiro ano (Figura 6 – A), o CP1 explicou 26,6% e o CP2 explicou 18,0%, totalizando 44,6% da variação dos dados. Os grupos edáficos Dermaptera, Diptera, Gastropoda, Orthoptera, Formicidae e Outros (organismos não identificados) estão mais associados ao SPDA,

explicados pelos maiores teores de MO nesse sistema. Já o SPDM, apresentou maior abundância de Coleoptera, Collembola, Larva de Diptera, Chilopoda, Enchytraeidae, Hemiptera e Blattodea. O SPDB apresentou o menor número de grupos taxonômicos, ficando associados apenas Oligochaeta (Minhocas) e Siphonaptera, sendo explicados pelo elevado CBM. Os grupos Trichoptera, Acarina, Araneae, Termitoidae (Isoptera) e Larva de Coleoptera não se associaram fortemente a nenhum sistema e foram favorecidos pelo nitrogênio total (NT).

Para o segundo ano de avaliação (Figura 6 – B), o CP1 explicou 23,2% e o CP2 explicou 17,9%, totalizando 41,1% da variação dos dados, no qual os grupos Formicidae, Protura, Larva de Diptera, Termitoidae (Isoptera) e Oligochaeta (Minhocas) estiveram mais associados ao SPDB. Em SPDM ficaram associados os grupos Araneae, Diptera e Orthoptera e no SDPA destaca-se a maior abundância dos grupos Diplopoda, Tysanura, Symphyla, Siphonaptera, Blattodea e Outros, explicados pelos teores de umidade, MO e o $q\text{CO}_2$. Já os grupos como Thysanoptera, Hemiptera, Acarina, Gastropoda e Diplura, demonstraram ser influenciados pelos teores de P no solo, porém não se associaram especificamente a nenhum dos sistemas estudados.

Quando analisamos os dados, independente do ano de coleta, ou seja, os dois anos juntos (Figura 6 – C), o CP1 explicou 24,0% e o CP2 explicou 12,8%, totalizando 36,8% da variação dos dados, observando a menor abundância dos grupos Protura e Oligochaeta associados ao SPDA, influenciados pelos elevados teores Argila, MO, $q\text{CO}_2$ e RP0-10. No SDPM ficaram associados os grupos taxonômicos Blattodea, Isopoda, Siphonaptera, Gastropoda, Formicidae, Enchytraeidae, Hemiptera, Orthoptera, Chilopoda e Acarina, devido aos teores de P e umidade do solo. Em SPDB ficaram associados os grupos Trichoptera, Araneae, Termitoidae e Diplopoda sendo influenciados pelos maiores valores de CBM.

Figura 6 - Análise de Componentes Principais (ACP) para os grupos taxonômicos da fauna edáfica no primeiro ano de coleta (A), segundo ano de coleta (B) e para os dois anos juntos (C), as variáveis explicativas em vermelho e os Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina. Dipt = Diptera; L. Col = Larva de Coleoptera; Ara = Araneae; Aca = Acarina Col= Coleoptera; Coll = Collembola; Ort = Orthoptera; Enchy = Enchytraeidae; Chi = Chilopoda; Olig = Oligochaeta (Minhocas); Der = Dermaptera; Dip = Diplopoda; Dipl = Diplura; Gas = Gastropoda; Hem = Hemiptera; Thy = Thysanoptera; Sym = Symphyla; Bla = Blattodea; Sip = Siphonaptera; Isop = Isopoda; For = Formicidae; Ter = Termitoidae; Tri = Trichoptera; Out = Outros; Umidade = Umidade; Al = Alumínio; RP0-10 = Resistência a penetração 0-10 cm de profundidade e P = Fósforo. CP1 = Componente Principal 1; CP2 = Componente Principal 2.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

O SPDB, apresentou a menor diversidade de grupos da fauna edáfica, sendo Siphonaptera e Oligochaeta (Minhocas) explicados pelos maiores teores de CBM (Figura 6 – A). Segundo os autores Kuzyakov; Blagodatskaya (2015), há um aumento da biomassa microbiana de microrganismos nos poros formados pelo sistema radicular e escavação de solo pela fauna edáfica, onde são encontradas as fezes desses animais, contribuindo para a introdução de compostos orgânicos lábeis e recalcitrantes no sistema.

O aumento no conteúdo da MO contribui para a sustentabilidade dos ecossistemas (LOSS et al., 2011), sendo os efeitos da MO do solo para a maioria dos grupos da fauna bem conhecido. Como, por exemplo, na ordem Coleoptera, existem famílias que desenvolvem importantes serviços do ecossistema, no qual podemos citar Scarabaeidae como coleópteros que realizam escavação e posterior incorporação e acúmulo de matéria orgânica no solo em diferentes profundidades (POMPEO et al., 2016). Algumas espécies de Dipteras em sua fase larval, se alimentam exclusivamente da MO (COURTNEY et al., 2017), assim como os Enchytraeidae, onde algumas espécies consomem de 16-34 g m⁻² MO ano⁻¹ (LAGERLÖF; ANDRÉN; PAUSTIAN, 1998). O material vegetal que constitui a serapilheira e MO está relacionado à atividade e abundância de fauna edáfica, contribuindo para manter estes organismos nos sistemas (BARETTA et al., 2011).

Outros organismos não identificados (Outros) e o grupo Dermaptera foram dependentes da MO e umidade do solo. O alto conteúdo de matéria orgânica contribui favoravelmente em relação à densidade e riqueza de grupos (AQUINO; CORREIA; ALVES, 2008). Sendo importante fonte de alimento e energia para a fauna edáfica (BARETTA et al., 2011), onde a fauna edáfica é responsável pela vasta maioria decomposição da matéria orgânica e regulação dos fluxos de carbono (NIELSEN et al., 2011).

Assim, pode haver uma relação mutua onde a biomassa microbiana é favorecida por organismos fragmentadores de serapilheira como Diplopoda, que facilitam o ataque microbiano, aumentando a taxa de decomposição (CORREIA; OLIVEIRA, 2005), favorecendo organismos colonizadores de rápido crescimento (estrategistas R).

No segundo ano (Figura 6 – B), o SPDB ficou associado a vários grupos, entre os quais se encontra o grupo Formicidae, porém na análise nenhuma variável explicativa ficou associada a mesma. Algumas espécies do grupo Formicidae podem indicar áreas mais fortemente antropizadas, com indícios de degradação, podendo ser oportunistas e dominante em alguns locais, muito em função da sua adaptação e ampla mobilidade (BARETTA et al., 2011). Contudo, o avanço na identificação de família, gênero ou espécie, pode ser uma ferramenta

importante, tendo em vista a ampla gama de hábito alimentar, além de que determinadas espécies são encontradas apenas em ambientes mais conservados com maior biodiversidade vegetal (ROEDER; ROEDER, 2016).

Grupos como Acarina foram favorecidos pela maior presença de P, resposta semelhante também foi obtido por King; Hutchinson (1980). Os autores avaliaram os efeitos de superfosfato e intensidade de pastejo sobre microartrópodes e encontraram aumento da comunidade de Collembola e Acarina com o aumento da adubação fosfatada. Os autores atribuem esta resposta, ao aumento na disponibilização de nutrientes, que afeta positivamente o desenvolvimento das plantas e da comunidade microbiana, o qual é a base alimentar destes grupos. Em trabalho avaliando acidez do solo envolvendo ecologia das teias alimentares em pastagem desenvolvido por Mulder; Elser (2009), identificaram correlação entre os teores de nutrientes (P) e a fauna edáfica. Os autores observaram que a diminuição na disponibilidade de P diminuía a abundância da fauna, porém aumentava-se a biomassa corporal, atribuindo ao fato que, o aumento de P e menor relação C:P reflete em maior alocação de P no RNA ribossômico, que por sua vez permite o aumento da síntese proteica, aumentando as taxas de crescimento dos indivíduos e de crescimento populacional.

Em SPDA houve forte associação ao grupo Oligochaeta (Minhoca) (Figura 6 – C), de importância amplamente conhecida. A literatura demonstra que as minhocas favorecem o desenvolvimento da cultura, através do aumento na taxa de infiltração e fluxo das trocas gasosas e água no solo, construção de macro e bioporos, além do aumento da estabilidade dos agregados do solo (LAVELLE et al., 2006; D'HOSE et al., 2018). Este grupo, foi influenciado pelos teores de argila, RP0-10, qCO_2 e MO. D'HOSE et al. (2018) trabalhando com meta análise, compilando dados de diferentes sistemas de uso do solo na Europa sobre a fauna edáfica e atributos microbianos, constataram maior abundância e biomassa de minhocas com o aumento da MO, mas ressalta que o efeito sobre a biomassa foi muito mais pronunciado do que sobre a abundância. Os teores de qCO_2 ligados a atividade microbiana, tem relação direta com os teores de matéria orgânica, sendo a fonte de energia dos microrganismos (DADALTO et al., 2015).

A presença de variáveis explicativas ligadas ao carbono tais como MO e qCO_2 se demonstra como uma importante ferramenta para o funcionamento do solo. Desta maneira, para desenvolver e otimizar a agricultura sustentável é necessário mais discernimento sobre como o manejo influencia a biota do solo e como isso afeta o funcionamento da relação clima, solo e planta.

Em relação a RP0-10, a mesma tem relação direta com a densidade do solo, diversos são os trabalhos que mencionam efeito negativo com o aumento da mesma sobre a infiltração, aeração, limitações ao crescimento radicular e atividade biológica (ALVES et al., 2010; BEDANO et al., 2016; GIRARDELLO et al., 2017). Os valores da variável RP0-10 (Tabela 2) ficaram abaixo dos valores limitantes para o desenvolvimento da soja, contudo, além de fatores mecânicos a maior atividade radicular e hifas de fungos micorrízicos e a ação cimentante de coprólitos das minhocas (STEFFEN et al., 2013), podem aumentar estruturação e agregação do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Desta maneira, pode proporcionar um leve aumento na resistência do solo, além de teores de argila mais elevados nessas áreas também, refletindo na maior RP. Porém, o uso de mais variáveis físicas do solo tais como densidade do solo e principalmente a presença de micro, macro e bioporos pode auxiliar melhor na explicação dos dados, devido sua interação com a fauna (ROSA et al., 2015) e, consequentemente, na produtividade da cultura.

Van Groenigen et al. (2014), afirmam que os benefícios proporcionados pelas minhocas são favorecidos em ambiente com maiores teores de argila e menor pH, condição está, que são melhores proporcionadas, no presente estudo, pelo SPDA (Tabela 2). Alguns autores propuseram cinco possíveis maneiras de como as minhocas promovem o desenvolvimento das plantas sendo elas: (I) biocontrole de pragas e doenças; (II) estimulação de simbiontes de plantas microbianas; (III) produção de substâncias reguladoras do crescimento das plantas; (IV) mudanças na estrutura do solo; e (V) maior disponibilidade de nutrientes (VAN GROENIGEN et al., 2014). Apesar dos dois últimos mecanismos serem os mais estudados e divulgados, os autores sugerem que a disponibilidade de N seja o caminho dominante que promove o desenvolvimento vegetal, contudo quando avaliado em leguminosa o efeito é menos pronunciado devido a fixação biológica de nitrogênio. A incorporação de material orgânico da superfície do solo pelas minhocas pode alterar a proporção de biomassa fúngica e bacteriana, levando a diferenças marcantes na disponibilidade e armazenamento de C e N no solo (SUBLER; KIRSCH, 1998).

Além da necessidade de um histórico mais detalhado, bem como de um período mais amplo do mesmo, juntamente com identificação mais refinada a nível de família, gênero ou espécie de alguns grupos podem auxiliar a elucidar quais componentes/organismos mais afetam a produtividade da soja em SPD. Além disso, também pode auxiliar na tomada de decisão quanto ao manejo a ser adotado e até mesmo favorecer grupos chaves que possam contribuir

com a elevação na produtividade em sistemas com baixa e média produtividade com preservação da biodiversidade.

O uso da relação entre predador-herbívoro na fauna do solo é necessário em agroecossistemas sustentáveis, a fim de prevenir surtos de pragas (JIANG et al., 2018). Dessa forma, com o interesse crescente na manutenção da produtividade do solo, torna-se necessário também obter informações sobre a estrutura da comunidade edáfica do solo nos sistemas avaliados e realização de trabalhos futuros incluindo a separação de grupos por hábitos alimentares como uma ferramenta importante.

4.2.1.3 Diversidade de gêneros de Enchytraeidae

A partir dos dados de abundância de gêneros de Enchytraeidae, observou-se a presença de quatro gêneros, com abundância média de 4775 de indivíduos por metro quadrado (Ind. m^{-2}), onde os mesmos variaram de acordo com os diferentes níveis de produtividade. A variável Riqueza média foi maior em MN, SPDA e SPDM não diferiram de MN (Tabela 5).

Tabela 5 - Riqueza média, densidade média (Indivíduos por metro quadrado – Ind. m^{-2}), índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') índices de dominância (D) e equabilidade de Pielou (J) dos gêneros de Enchytraeidae em Mata Nativa (MN) e nos Sistemas Plantio Direto Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina. $n = 4$.

Gênero	MN	SPDA	SPDM	SPDB
<i>Guaranidrilus</i>	6	0	0	0
<i>Enchytraeus</i>	54	62	49	12
<i>Hemienchytraeus</i>	17	4	4	2
<i>Fridericia</i>	23	96	20	1
Riqueza média	2,66 a	2,04 ab	1,58 ab	1,2 b
Ind. m^{-2}	8.489 ^{ns}	6.875	3.098	636
Shannon (H')	0,85	0,49	0,31	0,13
Dominância (D)	0,47	0,68	0,79	0,91
Equabilidade (J)	0,88	0,65	0,41	0,18

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os dados obtidos para a variável Riqueza média demonstraram diferenças estatísticas entre a MN e o SPDB, apresentando também maiores índices de diversidade para as variáveis H' e J diminuindo em SPD no mesmo sentido do gradiente de produtividade. No entanto os resultados para o índice D apresentou comportamento inverso (Tabela 5). Os maiores resultados para a maioria das variáveis em MN já eram esperados, uma vez que consiste em um ecossistema equilibrado, com maior diversidade florística, diferentes estágios de decomposição da serapilheira e aporte constante e maiores teores de MO (CALVI; PEREIRA, ESPÍNDULA JUNIOR, 2009). A MN foi a única a apresentar o gênero *Guaranidrulis*. Entre os tratamentos SPDA, SPDM e SPDB, não houve diferença apresentando os gêneros *Enchytraeus*, *Hemienchytraeus* e *Fridericia*. A variável Ind. m² não apresentou diferença significativa, essa resposta está relacionada a ampla variação na densidade destes organismos, algo comum quando se trabalha com os mesmos.

Nos SPDs a menor diversidade de grupo, baixos valores de J e H' e os elevados valores de D foram obtidos em SPDB, podendo vir a impactar nos serviços ecossistêmicos de suporte a vida, prestados pela fauna edáfica tais como, mineralização, ciclagem de nutrientes e afetar o balanço da atividade biológica, entre outros fatores (NILSEN et al., 2011). De acordo com Pelosi; Römbke (2016), é importante a utilização dos enquitreídeos como indicadores de práticas de manejo agrícola, uma vez que são sensíveis às mudanças, tanto em termos de abundância total da população e composição de espécies.

Os enquitreídeos são reconhecidos como indicadores de atividade biológica em solo e estresse químico em ecossistemas terrestres. Eles são regularmente listados nas discussões sobre os grupos de organismos mais apropriados para monitorizar a qualidade biológica dos solos (MÉDIÈNE et al., 2011). Sua diversidade e abundância dependem principalmente de poucos parâmetros do solo, como pH, umidade do solo e matéria orgânica (PELOSI; RÖMBKE, 2016). Seus papéis funcionais nos solos são visíveis e podem ser ainda mais importantes que os das minhocas (GOLEBIOWSKA; RYSZKOWSKI, 1977), assim, a maior presença de enquitreídeos e distribuição dos gêneros em SPDA pode proporcionar maior disponibilidade de nutrientes, anteriormente inacessíveis as plantas. Devido à sua flexibilidade alimentar podem ingerir MO com 5 a 10 anos de idade, sendo capazes de acessar fontes de carbono mais recalcitrantes quando necessário (PELOSI; RÖMBKE, 2016). Van Vliet et al. (1995), estimam que os enquitreídeos são capazes transportar 2180 g de solo por m² ano⁻¹ na camada arável, proporcionando um perfil mais homogêneo, favorecendo o desenvolvimento radicular e a manutenção da produtividade.

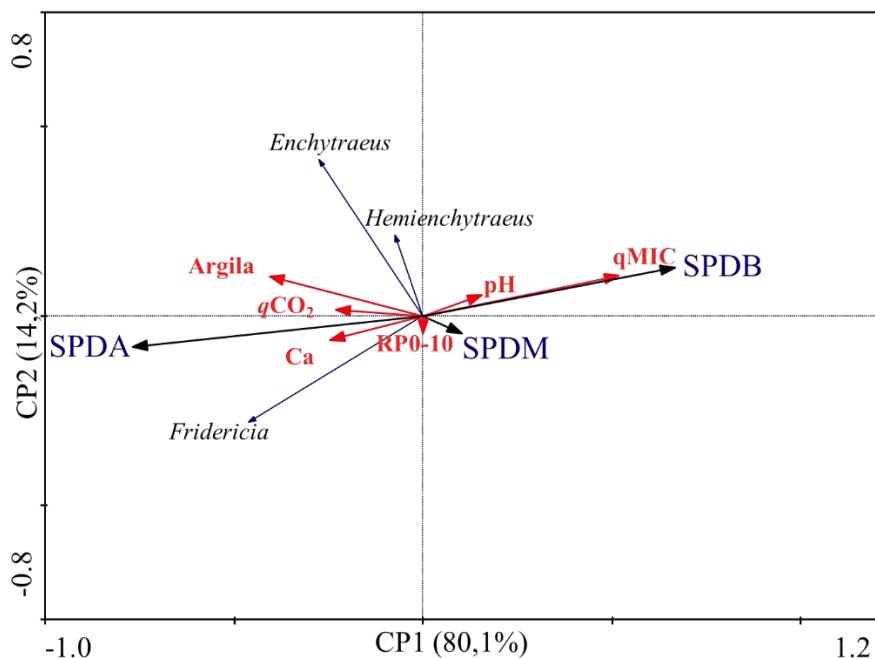
Os gêneros dominantes na América Latina em termos de abundância e riqueza são *Guaranidrilus* e *Hemienchytraeus* (SCHMELZ et al., 2013; NIVA et al., 2015). Estes dados discordam com os obtidos no estudo citado, sendo que a ordem de abundância foi *Enchytraeus*>*Fridericia*>*Hemienchytraeus*>*Guaranidrilus*. Ressalta-se que *Guaranidrilus*, demonstrou-se sensível a perturbação antrópica de manejo do solo, por ter sido encontrado apenas no fragmento de mata nativa. Em trabalho desenvolvido na Alemanha por Beylich; Graefe (2012), identificaram nas áreas de cultivo de grãos a mudança na estrutura da comunidade ao longo de sete anos, onde inicialmente o gênero *Enchytraeus* dominava, e quase deixou de existir, passando a dominar o gênero *Achaeta* atribuindo a acidez moderada do local.

De acordo com os autores acima citados, em regiões de clima tropical a densidade de enquitreídos normalmente é abaixo de 10.000 Ind. m⁻², já para clima temperado o valor é acima do mesmo referido, corroborando com o presente estudo. Estudo conduzido por Niva et al. (2015), avaliando a abundância de enquitreídeos em floresta ombrófila mista por extração quente e fria obteve em coletas durante a primavera e outono 14.1475 e 61.192 Ind. m⁻² respectivamente, com média de cinco gêneros sendo predominante *Guaranidrilus*. Este gênero é considerado um gênero típico da América do Sul (SCHMELZ; COLLADO, 2010), já o gênero *Hemienchytraeus* é considerado cosmopolita (SCHMELZ et al., 2013).

Os gêneros *Fridericia* e *Enchytraeus* são comumente encontrados em clima temperado, mas também foi encontrado em ecossistema de mata atlântica por Niva et al. (2015). Esses autores ainda destacam que o gênero *Fridericia* é mais comum em áreas de pastagem, já para *Enchytraeus* sua abundância é menor em sistemas florestais mais velhos. Contudo, a comparação entre os níveis de produtividade ainda é algo difícil de mensuração, devido à falta de dados, mesmo quando em comparação entre os gêneros e diferentes sistemas de uso.

A Análise de Componentes Principais (ACP) evidenciou a diferença existente entre os níveis de produtividade de soja e os gêneros de Enchytraeidae (Figura 7), sendo que o CP1 explicou 80,1% e o CP2 explicou 14,2%, totalizando 94,3% da variabilidade total. No SPDA ficou associado o gênero *Fridericia*, influenciados pelos teores Ca e *qCO₂*, porém nenhum grupo ficou associado aos SPDM e SPDB produtividade de soja. Os gêneros *Enchytraeus*, *Hemienchytraeus* foram explicados pelos maiores teores de Argila, mas não tiveram forte associação a nenhum SPD (Figura 7).

Figura 7 - Análise de Componentes Principais (ACP) para os gêneros de Enchytraeidae (em *italico*), variáveis explicativas (em vermelho) e os Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja (em azul) no Oeste de Santa Catarina. qCO_2 = Quociente metabólico; Ca = Cálcio; pH; $qMic$ = Quociente microbiano; RP0-10 = Resistência a penetração 0-10 cm de profundidade. CP1 = Componente Principal 1; CP2 = Componente Principal 2.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A ACP evidenciou a relação entre a variável qCO_2 e o gênero *Fridericia*, Andresen et al. (2011), avaliando os fluxos de matéria orgânica na teia alimentar em uma floresta de clima temperado sob uma mudança climática multifatorial. Na camada de 3-6 cm de profundidade, obteve-se relação positiva entre o fluxo de CO_2 e os gêneros *Enchytronia*, *Achaeta* e *Fridericia*, sendo o primeiro gênero mencionado sem ocorrência na América Latina (SCHMELZ et al., 2013). Em trabalho desenvolvido por Ivask et al. (2008), avaliando a comunidade de invertebrados edáfico em três tipos de solos cultivados da Estônia, encontraram sete espécies do gênero *Fridericia* e três espécies de *Fridericia* em solos calcários, enquanto em solos não calcários foi encontrado apenas uma espécie. De acordo com Rosa et al. (2015) avaliando a fauna edática em sistemas de uso do solo, destaca que a presença de nutrientes no solo, como o Ca, por exemplo, é importante para diversos invertebrados, pois fisiologicamente esse cátion está relacionado a vários mecanismos de regulação osmótica, no qual ele constatou em Oligochaeta (minhocas).

Contudo, do ponto de vista do agricultor, a preservação da biota do solo não é, e por muito tempo ainda não será o seu principal objetivo, até que se consiga provar que o aumento

da biodiversidade virá acompanhado de um solo com melhores serviços de manutenção a vida e, consequentemente, aumento na produtividade das culturas. O presente estudo, traz informações importantes para a sociedade e levanta outras hipóteses que devem ser comprovadas com novos estudos em outras regiões do estado e do Brasil.

4.2.2 Atributos microbianos do solo

Os valores de respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente microbiano (q_{Mic}), quociente metabólico (q_{CO_2}) e carbono orgânico total (COT) não apresentaram diferença estatística entre os sistemas avaliados, para ambos os anos de avaliação (Tabela 6).

Tabela 6 - Respiração Basal do Solo (RBS), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Quociente Metabólico (q_{CO_2}), Quociente Microbiano (q_{Mic}) e Carbono Orgânico Total (COT), em Mata Nativa (MN) e nos Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina.

Sistema	RBS	CBM	q_{CO_2}	q_{Mic}	COT
	mg C-CO₂ Kg⁻¹ solo h⁻¹	mg C Kg⁻¹ solo seco	µm h⁻¹ C- CO₂ g CBM	(%)	g Kg⁻¹
Ano 1					
MN	2,62 ^{ns}	683,42 ^{ns}	2,47 ^{ns}	2,32 ^{ns}	3,48 ^{ns}
SPDA	3,04	355,65	3,29	0,75	2,72
SPDM	3,43	290,17	4,46	0,55	2,32
SPDB	3,18	600,15	2,47	1,16	2,32
Desv.	2,58	237,78	2,10	0,87	0,76
Ano 2					
MN	2,62 ^{ns}	683,42 ^{ns}	2,47 ^{ns}	2,32 ^{ns}	3,48 ^{ns}
SPDA	2,67	219,68	5,94	0,79	2,79
SPDM	2,74	278,06	4,25	1,30	2,32
SPDB	2,26	423,42	2,47	1,72	2,40
Desv.	1,48	244,87	2,83	0,92	0,76

Médias seguidas da mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

A respiração basal do solo (RBS) é um processo que reflete a atividade biológica do solo, sendo definida como a produção de C-CO₂ resultante da soma de todos os processos metabólicos dos organismos vivos do solo (ARAUJO et al., 2012). Nesse contexto, as bactérias e fungos são os principais responsáveis pela liberação do C-CO₂ via degradação de matéria orgânica ou material orgânico adicionado ao solo (SILVA et al., 2007). Por ser uma medida de atividade, há uma ampla variação quanto a sua resposta, desta maneira, a não diferença entre os tratamentos pode ser atribuído também a essa variabilidade.

Para a variável $q\text{CO}_2$, valores acima de 2 g C-CO₂ Kg CBM proposto por Anderson; Domsch (1993), é indicador de um limiar crítico para o desempenho da comunidade microbiana. Esses valores estão acima dos valores encontrados por Balota (2017) em SPD que variaram de 0,5 a 1,25 g C-CO₂ Kg CBM, porém, não houve comparação com o rendimento destes locais estudados por este autor. Os dados obtidos por Cunha et al. (2011) avaliando diferentes coberturas de solo em SPD obteve valor médio de 1,05 $\mu\text{m h}^{-1}$ C-CO₂ g CBM na cultura do feijão, porém sem correlacionar com a produtividade, mas ficando abaixo do encontrado no presente estudo.

Os dados demonstram maior eficiência dos organismos no aproveitamento de C em SPDB em relação aos SPDM e SPDA, devido aos menores valores de $q\text{CO}_2$. Este parâmetro é determinado a partir da RBS por unidade de CBM, sendo uma medida da eficiência da BM na utilização de C como fonte de energia, refletindo o grau em que os microrganismos do solo são limitados pelo substrato. No entanto, pode-se dizer que os SPDM e SPDA possuem maior atividade por unidade de biomassa microbiana, assim, maior $q\text{CO}_2$ pode estar relacionado ao aumento na taxa de mineralização o que aumenta a liberação de CO₂ (CUNHA et al., 2011). Em contra partida, maior taxa de mineralização também promove maior liberação de nutrientes, e refletir na produtividade de soja, o que auxilia a manutenção da maior produtividade em SPDA.

Estas duas medidas (RBS e $q\text{CO}_2$) refletem a atividade microbiana, sendo que maiores atividades, refletem em taxas mais rápidas de decomposição, o que aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas a curto prazo (CUNHA et al., 2012). Porém pode resultar em maior perda de nutrientes via lixiviação caso haja períodos que não há culturas ou em seu desenvolvimento inicial.

Os valores obtidos de CBM e $q\text{Mic}$ mostraram o contrário do esperado, rejeitando a hipótese de que onde os melhores índices estariam sendo apresentados em SPDA produtividade de soja. Contudo, em trabalho desenvolvido por Balota (2017), em experimento de longa

duração em dois municípios do estado do Paraná, evidenciou uma tendência do aumento de $q\text{CO}_2$ na proporção que diminuiu o CBM em SPD, corroborando com os dados obtidos no presente estudo.

Os resultados das variáveis CBM e $q\text{Mic}$ foram maiores em MN, havendo uma diminuição destes valores a no sentido do SPDB>SPDA. O teor de CBM pode ser indicativo do potencial de disponibilidade e reservatório temporário de nutrientes para as plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), bem como o $q\text{Mic}$ corresponde à relação entre o carbono da CBM e o carbono orgânico total (COT). Estes refletem processos importantes relacionados às adições e transformações da MO, assim como a eficiência de conversão de C desta em CBM (SPARLING, 1992; ANDERSON, 1994). Esta tem sido bastante utilizada como indicador de estabilidade do sistema, devido a sua velocidade de respostas as mudanças que ocorrem no solo, sendo principalmente influenciada pelo CBM.

Os maiores teores de CBM em MN em relação aos sistemas sob SPD também já foi observada por outros autores (LOURENTE et al., 2011; CUNHA et al., 2012; BALOTA et al., 2015; POMPEO et al., 2017). Este resultado é reflexo de uma situação particular para a microbiota do solo nesse sistema, estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de susceptibilidade à decomposição, originados da vegetação (CUNHA et al., 2012).

Os resultados obtidos para CBM segue o oposto do encontrado por Mendes; Souza; Reis Junior (2015), onde os valores obtidos foram, ≤ 215 , 216-375 e ≥ 375 mg de C Kg^{-1} de solo, considerando respectivamente os níveis baixos, moderado e adequados, para o rendimento relativo das culturas de milho e soja em SPD na região do cerrado. É conhecido que parâmetros biológicos são muito sensíveis as variações de manejo e clima, assim diferentes locais podem refletir em resultados diferentes.

O trabalho desenvolvido por Moreira et al. (2018), em SPD de 18 anos obteve valores para as variáveis COT, CBM, RBS, $q\text{CO}_2$, $q\text{Mic}$ em torno de 30,7 g Kg^{-1} , 173,57 mg g^{-1} de solo, 1,0 mg C- CO_2 g^{-1} solo h^{-1} , 6,31 mg h^{-1} C- CO_2 mg^{-1} CBM e 57,68 mg g^{-1} , respectivamente, obtendo nessa mesma área uma produtividade média de 2.670 Kg ha^{-1} de soja. Com exceção dos valores obtidos para a variável $q\text{CO}_2$ as demais ficaram abaixo do encontrado no presente trabalho, bem como a produtividade de soja obtida.

De acordo com Anderson (1994), o $q\text{Mic}$ pode ser utilizado como indicador de estabilidade do sistema, sendo utilizado o valor 2,2% como referência, onde valores acima destes indicam acúmulo de MO, abaixo deste há perda de MO e o mesmo significando a

estabilidade da MO. De acordo com o proposto pelo autor, pode-se perceber que apenas a área de Mata Nativa (MN), estaria acumulando MO. Contudo, Balota (2017) refere-se que para condições dos solos tropicais está relação pode ser menor, próximo de 1,5%. Neste sentido, o SPDB também entraria numa condição de acúmulo de matéria orgânica. Apesar dos valores encontrados (Tabela 6), estarem abaixo do esperado, cabe salientar que os valores normalmente trabalhados pelos autores são uma média anual e os dados apresentados nesse trabalho referem-se apenas em coletas realizadas no verão, período de intensa atividade biológica estimulada por temperaturas altas e precipitação elevada, com tendência a oxidação da MO e, consequentemente, menor $q\text{Mic}$.

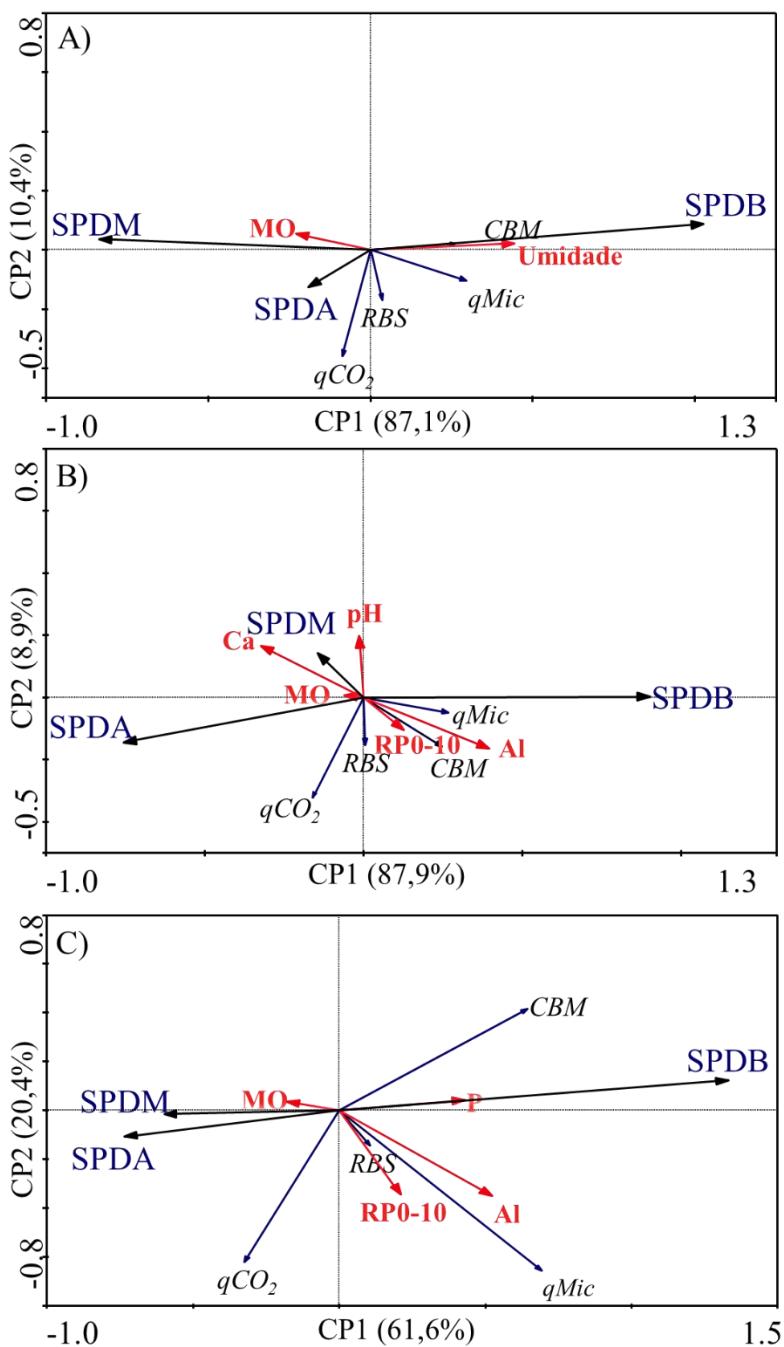
Para variável COT, a mesma não apresentou diferença entre os tratamentos, apesar de seguir uma tendência, onde a MN apresentou os maiores teores e entre os SPDs ter sido encontrado os maiores valores no SPDA. De acordo com Reeves (1997), este parâmetro pode ser considerado como indicador-chave para determinação da qualidade do solo, sendo que o mesmo possui forte correlação com os atributos físicos, químicos e microbiológicos. Entretanto, o estoque de carbono pode variar de acordo com as taxas de adição por resíduos vegetais e/ou animal e por perdas, seja em decorrência da erosão, ou oxidação pelos microrganismos (REIS; LIMA; BAMBERG, 2016). Contudo, cabe ressaltar que está variável é quimicamente mais estável e de menor grau de flutuação (MALUCHE-BARETTA et al., 2007), necessitando de maior período de avaliação, para identificar mudanças mensuráveis em seu conteúdo, não sendo tão sensível quanto os demais atributos microbianos.

Estatisticamente não houve diferença dos teores de Argila e COT entre os SPDs, apesar de o SPDA demonstrar os maiores valores destas variáveis, o que pode fornecer um efeito protetor para biologia do solo. De acordo com o Aduan; Vilela; Klink (2003), os teores de argila e COT possuem uma forte relação, destacando a importância dos teores de argila na manutenção do COT, que serve como fonte de nutrientes para manutenção da atividade metabólica das comunidades microbianas do solo ao longo do tempo.

Quando utilizado na Análise de Componentes Principais (ACP), houve à separação entre os sistemas SPDA, SDPM e SPDB produtividade e os parâmetros microbiológicos para ambos os anos avaliados (Figuras 8 – A e 8 – B). Durante o primeiro ano de avaliação (Figura 8 – A), o CP1 explicou 87,1% e o CP2 10,4% da variabilidade dos dados, sendo as variáveis ligadas a compartmentalização do carbono, CBM e $q\text{Mic}$ associados ao SPDB, explicados pelo teor do umidade do solo, no entanto as variáveis ligadas a atividade microbiana $q\text{CO}_2$ e RBS ficaram mais associadas ao SPDA, influenciadas pelos teores de MO.

Para o segundo ano de avaliação (Figura 8 – B), o CP1 explicou 87,9% e a CP2 explicou 8,9% da variabilidade dos dados, onde a variável $q\text{Mic}$ se associou ao sistema SPDB, influenciados pelos teores de Al e RP0-10, já a variável $q\text{CO}_2$ ficaram mais associadas ao SPDA produtividade, influenciado novamente pelos teores de MO. Quando analisamos os dados independente do ano de coleta, ou seja, os dois anos juntos (Figura 8 – C), o CP1 explicou 61,6% e o CP2 20,4% da variação dos dados, apresentando separação do SPDB em relação a SPDM e SPDA, que ficaram próximas entre si, ficando associada ao SPDB o CBM, influenciados pelos teores P, já nos sistemas de SPDM e SPDA ficaram associados ao $q\text{CO}_2$, explicado elevados teores de MO.

Figura 8 - Análise de Componentes Principais (ACP) no 1º ano (A); 2º ano (B) e os dois Anos juntos (C) para os atributos microbianos carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente microbiano ($qMic$) e quociente metabólito (qCO_2), as variáveis explicativas em vermelho e os Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja no Oeste de Santa Catarina. MO = Matéria Orgânica; Umidade; pH; Ca = Cálcio; Al = Alumínio; RP0-10 = Resistência a penetração 0-10 cm de profundidade e P = Fósforo. CP1 = Componente Principal 1; CP2 = Componente Principal 2.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Em trabalho desenvolvido por Cunha et al. (2012), avaliando atributos físicos e microbianos em diferentes sistemas de cultivos, encontraram valores semelhantes ao obtidos por este trabalho em SPD para as variáveis CBM e $q\text{Mic}$, porém obteve correlação negativa destas com a resistência a penetração do solo, contrastando os resultados das ACPs do segundo ano (Figura 8 – B) e nos dois anos juntos (Figura 8 – C). em trabalho desenvolvido por Baretta, Maluche-Baretta e Cardoso (2008), observaram que o teor de P no solo está diretamente relacionado com os atributos microbianos, tendo uma relação positiva com a variável CBM.

Os maiores valores de $q\text{CO}_2$ (no qual está atrelada a atividade microbiana) ficou associado ao SPDA produtividade, o que pode significar uma maior disponibilidade de nutrientes em um curto espaço de tempo, favorecendo o desenvolvimento da cultura. A MO do solo é fonte de energia para a atividade microbiana (DADALTO et al., 2015), porém, além da quantidade, os componentes qualitativos da MO podem afetar a atividade microbiana, especialmente em solos argilosos, onde as interações entre os colóides dos minerais e os componentes da MO podem ter efeitos mais pronunciados (LAUDICINA et al., 2015).

Os autores Kuzyakov; Blagodatskaya (2015) afirmam que a atividade microbiana está diretamente relacionada as frações de carbono lúbil, que pode ser advindo da MO do solo, bem como, dos exsudatos liberados pelas plantas. Vale ressaltar que, as coletas foram realizadas no momento que a planta se encontrava no estádio de florescimento (R1 de desenvolvimento da soja), período este, que coincide com a máxima atividade metabólica da planta, como consequência alteração na quantida e qualidade dos exsudatos liberados (RAIJ et al., 1997; OLIVEIRA et al., 2009). O comportamento microbiano do solo é afetado e determinado pela quantidade e a composição dos exsudatos disponibilizados para os microrganismos (SOUZA et al., 2010).

Outra hipótese da maior atividade microbiana em SPDA produtividade pode ser atribuída a grande abundância dos grupos Collembola (Tabela 4) e Enchytraeidae (Tabela 5), apesar de não ter realizado análise de comparação de médias da abundância dos grupos taxonômicos entre os tratamentos. Estes grupos se alimentam de fungos e MO (BARETTA et al., 2011; BEDANO et al., 2016; PELOSI; RÖMBKE, 2016) que podem estimular a atividade microbiana.

Segundo Nilsen et al. (2011), o pastejamento da comunidade microbiana promovido por alguns grupos edáficos pode promover a maior atividade microbiana, bem como a transformação de frações de MO mais recalcitrantes e frações mais lábeis por enquitreídeos (PELOSI; RÖMBKE, 2016). Além disso, algumas funções do ecossistema são fornecidas por

consórcios microbianos e diferentes grupos funcionais da fauna edáfica, mostrando-se complementares entre si no apoio à produtividade da planta (BENDER; WAGG; HEIJDEN, 2016). Desta maneira, não apenas a avaliação isolada de grupos, mas a compreensão da rede alimentar, relações diretas e indiretas, mutualismo, competitividade, patógeno e predador, devem ser levadas em conta.

O aumento do nitrogênio disponível devido ao pastoreio sobre comunidades microbianas pode contribuir mais para os reservatórios de nitrogênio inorgânico nos solos (SACKETT; CLASSEN; SANDERS, 2010). De acordo com os mesmos autores, utilizando meta análise para avaliar a estrutura da rede alimentar do solo a processos ecossistêmicos, foi observado a partir de 42 estudos que houve efeito positivo do aumento na biomassa na fauna e a produtividade das plantas. Porém, esse aumento na biomassa da fauna proporcionou diminuição da biomassa microbiana do solo. Além disso, Tardy et al. (2015) relataram que a diversidade bacteriana e fúngica explica porções significativas da mineralização de carbono.

A comparação dos dados obtidos com outros trabalhos se torna difícil, não apenas pelo pouco número de trabalhos que correlacionam tais atributos com a produtividade, mas também devido à falta de padronização nas metodologias em suas determinações. Assim, necessita-se de uma padronização na metodologia de avaliação, como já ocorre em outros ramos da biologia (Ecotoxicologia).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do presente trabalho foram realizados os primeiros estudos a respeito da biologia do solo e suas relações com a produtividade de soja em Sistema Plantio Direto para o Oeste de Santa Catarina.

Verificou-se que os parâmetros químicos e físicos avaliados não foram eficientes para explicar o gradiente nos Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja, rejeitando a primeira hipótese.

Ao utilizar dois métodos de amostragem da fauna TSBF e armadilhas de solo (*Pitfall traps*), verifica-se que os resultados obtidos pelo método do TSBF foram mais concisos, evidenciando tendências em relação aos níveis de produtividade de soja. Os índices de diversidade de Shannon-Wiener e equabilidade de Pielou seguiram o gradiente de produtividade SPDA>SPDM>SPDB, com efeito significativo do aumento desses valores sobre o rendimento da cultura, no entanto, o índice de Dominância apresentou comportamento inverso.

Na Análise de Componentes Principais (ACP), para ambos os métodos, foi possível identificar a alterações dos níveis de produtividade de soja, destacando a maior diversidade de grupos da fauna edáfica em Sistema Plantio Direto de Alta (SPDA) produtividade amostrado por TSBF com maior abundância dos grupos Oligochaeta, Chilopoda, Dermaptera, Araneae, Diplopoda, Thysanoptera, Diptera e Orthoptera. Entre as variáveis mais importantes para explicar essa abundância da fauna destacam-se os teores de umidade, quociente metabólico, quociente microbiano, carbono da biomassa microbiana, teores de argila, fósforo e a resistência a penetração na camada de 0 a 10 cm. Já para fauna edáfica em Sistema Plantio Direto de Alta (SPDA) produtividade amostrado por armadilha (*Pitfall traps*) houve maior abundância dos grupos Oligochaeta (Minhoca), Protura, Diptera, Diplopoda, Blattodea e Symphyla. As variáveis ambientais explicativas mais importantes foram as mesmos da fauna amostrada por TSBF, adicionando a elas a matéria orgânica do solo (MO).

Esse estudo inédito em Santa Catarina envolvendo diversidade de gênero de Enchytraeidae apresentou grande potencial de utilização para separação dos níveis de produtividade de soja sob SPD. Os índices de diversidade de Shannon-Wiener, equabilidade de Pielou, riqueza média, indivíduos por metro quadrado seguiram a tendência de maiores valores na Mata Nativa (MN)>SPDA>SPDM>SPDB, já o índice de Dominância seguiu a tendência inversa. O gênero *Guaranidrilus* demonstrou-se sensível a sistemas antropizados aparecendo

somente em MN, já o gênero *Fridericia* está mais presente em SPDA produtividade. Os teores de cálcio, argila e quociente metabólico foram variáveis significativas que mais auxiliaram na explicação da diversidade de gêneros de Enchytraeidae.

Dos atributos microbiológicos evidenciou-se maior atividade em Sistema Plantio Direto de Alta produtividade, sendo inversamente proporcional aos teores de carbono da biomassa microbiana e quociente microbiano, que foram maiores em SPDB produtividade de soja. As variáveis quociente microbiano e respiração basal do solo mostraram dependência das variáveis resistência a penetração na camada de 0-10 cm e alumínio. O quociente metabólico demonstrou relação com a matéria orgânica, já o carbono da biomassa microbiana foi afetado pelos maiores teores de umidade, fósforo, resistência a penetração do solo e alumínio.

Apesar do objetivo inicial deste trabalho de realizar a criação de tabelas de interpretação para a biologia do solo não ter sido possível, sendo necessário maior tempo de estudo, foram obtidos avanços importantes no que se refere a indicadores da fauna e a relação com a produtividade da soja em SPD. Avaliação da biologia do solo demonstrou potencial de utilização na avaliação da produtividade em SPD, com aumento na produtividade através do aumento da biodiversidade da fauna edáfica, mesmo em condições químicas e físicas do solo semelhantes.

Contudo, espera-se uma maior valorização a respeito do potencial biológico que há abaixo de nossos pés por produtores e profissionais da área agronômica. E finalmente, recomenda-se a continuação deste estudo por mais anos de cultivo, com réplicas verdadeiras, envolvendo uma maior profissionalização em termos de taxonomia de outros grupos edáficos, criação de mapas através de krigagem e introdução de dados biológicos do solo para geração de tabelas através de ferramentas como *Normal Operating Range* (NOR), além de incluir dados para avaliações econômicas, onde pode-se dar valoração econômica aos serviços prestados pela fauna edáfica.

REFERÊNCIAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do Cerrado brasileiro.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 105).
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry.** London: Academic Press, 1995. 576 p.
- ALMEIDA, M. A. X.; SOUTO, J. S.; ANDRADE, A. P. Sazonalidade da macrofauna edáfica Curimataú - PB. **Revista Ambiência**, v. 11, n. 2, p. 393-407, 2015.
- ALVARES, C. A. et al., Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.
- ALVES, M. V. **Propriedades físicas do solo e Oligochaetas em diferentes sistemas de uso da terra no alto Solimões – AM**, Universidade Federal de Lavras, 2010. 118p. (Tese de Doutorado).
- ALVES, M. V.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no estado de São Paulo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 1, p.33-43, 2006.
- ALVES, V. et al., Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 589-598, 2008.
- ANDERSEN, A. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. II Pests and beneficial insects. **Crop Protection**, v. 18, p. 651-657, 1999.
- ANDERSON J. D.; INGRAM J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods.** 2 ed Wallingford, UK CAB International. 1993. 171 p.
- ANDERSON T. H.; Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 98, p. 285-293, 2003.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameters to asses the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.

ANDERSON, T. H. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations. In: Ritz K.D, Giller K.E, editors. *Beyond the biomass*. London: **British Society of Soil Science**, p. 67-76. 1994.

ANDERSON, T. H., DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients ($q\text{CO}_2$ and $q\text{D}$) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 251-255, 1990.

ANDRESEN, L. C. et al.,. Organic matter flow in the food web at a temperate heath under multifactorial climate change. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 25, p. 1485-1496, 2011.

AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; ALVES, M. V. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. p. 143-170

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66-75, 2007.

ARAUJO, E. A. et al.,. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007. BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Editora Mecenas, 2017. p. 288.

BALOTA, E. L. et al.,. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BALOTA, E. L. et al.,. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, p. 300-306, 2004.

BALOTA, E. L. et al.,. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1003-1014, 2015.

BARETTA, Dilmar. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucaria angustifolia no Estado de São Paulo**. 2007. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

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

BARETTA, D. et al., Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1675-1679, 2006.

BARETTA, D.; MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. (Especial), p. 2683-2691, 2008.

BARETTA, D. et al., Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 715-724, 2005.

BARETTA, D. et al., Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciência Agroveterinárias**, v. 2, n. 2, p. 97-106, 2003.

BARETTA, D. et al., Fauna Edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 141-192, 2011.

BARTZ, H. A. et al., Sistema de Plantio Direto é opção de sustentabilidade. **Visão Agrícola**, v. 10, p. 46-48, 2012.

BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G. As minhocas e o sistema plantio direto. **Revista "A Granja"**, p. 63-65, 2011b.

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

BARTZ, M. L. C. et al., Minhocas *Urobenus* sp.: das matas para as áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, p. 6-7, 2011a.

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

BAYER, C., MIELNICZUK, J. Características Químicas do Solo Afetadas por Métodos de Preparo e Sistema de Culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 105-112, 1997.

BEARE, M. H.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C. Water-stable and organic matter fractions in conventional-and no-tillage soils. **Soil Science of America Journal**, v. 58, p. 777-86, 1994.

BEDANO, J. C. et al., Effect of good agricultural practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. **Soil & Tillage Research**, v. 158, p. 100-109, 2016.

BENDER, S. F.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, p. 228-239, 2014.

BENDER, S. F.; WAGG, C.; HEIJDEN, M. G. A Van Der. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 31, p. 440-452, 2016.

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

BEUTLER, A. N. et al., Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 167-177, 2001.

BEYLICH, A.; GRAEFE, U. Relationships between microannelid and earthworm activity. **Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research**, Special Issue, n. 12, p. 1-12, 2012.

BIRKHOFER, K. et al., Land-use effects on the functional distinctness of arthropod communities. **Ecography**, v. 38, p. 001-012, 2015.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p.

BRÖRING, Janaina Mattge. **Dinâmica do carbono em sistemas de uso do solo no Oeste e Planalto de Santa Catarina.** 2013. 98 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Mestrado em Ciência do Solo, Lages, 2013.

BROWN, G. G. et al.. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná state, Brazil. **Pedobiologia**, v. 47, p. 764-771, 2003.

BROWN, G. G.; SAUTTER, K. D. Biodiversity, conservation and sustainable management of soil animals: the XV International Colloquium on Soil Zoology and XII International Colloquium on Apterygota. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 44, n. 8, p. i-ix, p. 122-154, 2009.

BROWN. G. G. et al.. **Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais.** In: Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília – DF, EMBRAPA, 2015.

BÜNEMANN, E. K. et al.. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

CALVI, G. P.; PEREIRA, M. G.; ESPÍNDULA JUNIOR, A. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de floresta atlântica em santa maria de Jetibá, ES. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 131-138, 2009.

CARDINALE, B. J. et al.. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, p. 59-67, 2012.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A.; Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 10, p. 1762-1772, 2016.

CARNEIRO, M. A. C. et al.. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARNEIRO, M. A. et al.. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronosequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 621-632, 2008.

CATTELAN, A. J.; HARTEL, P. G.; FUHRMANN, J. J. Screening for plant growth-promoting rhizobacteria to promote early soybean growth. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1670-1680, 1999.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant and Soil**, v. 331, p. 31-43, 2010.

CHERUBIN, M. R. et al., Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615-625, 2015.

CHIODEROLI, C. A. et al., Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

CHOUDHARY, M. et al., Changes in soil biology under conservation agriculture based sustainable intensification of cereal systems in Indo-Gangetic Plains. **Geoderma**, v. 313, p. 193-204, 2018.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2016, p. 376.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira – grãos**. SAFRA 2017/18, v. 5, n. 7, 2018.

CORREIA, M. E. F; OLIVEIRA, L. C. M. Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. In: **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 77-99.

COSTA NETO, E. M. The perception of diplopoda (Arthropoda, Myriapoda) by the inhabitants of the county of Pedra Branca, Santa Teresinha, Bahia, Brazil. **Acta Biológica Colombiana**, v. 12, p. 123-134, 2007.

COSTA, J. L.; APARICIO, V.; CERDÀ, A. Soil physical quality changes under different management systems after 10 years in the Argentine humid pampa. **Solid Earth**, v. 6, p. 361-371, 2015.

COURTNEY, G. W. et al., **Insect Biodiversity: Science and Society**. 2017, p. 229-278.

CUNHA, E. Q. et al., Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.

CUNHA, E. Q. et al., Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

CUNHA, E. Q. et al., Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. ii - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.

D'HOSE, T. et al., Responses of soil biota to non-inversion tillage and organic amendments: An analysis on European multiyear field experiments. **Pedobiologia - Journal of Soil Ecology**, v. 66, p. 18-28, 2018.

DADALTO, J. P. et al., Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.

DICK, R. P.; BREACKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, SSSA, 1996. p. 247-271. (SSSA Special Publication, 49).

DOMÍNGUES, A.; BEDANO, J. C. The adoption of no-till instead of reduced tillage does not improve some soil quality parameters in Argentinean Pampas. **Applied Soil Ecology**, v. 98, p. 166-176, 2016.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994, p. 3-21.

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

DUNXIĀO, H. et al., Relationship between soil arthropods and soil properties in a suburb of Qianjiang City, Hubei, China. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, p. 467-473, 1999.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO (FEBRAPDP). Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em: 05 maio. 2018.

_____, O que é sistema plantio direto?. Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/sistema-plantio-direto-o-que-e>>. Acesso em: 05 maio. 2018.

FERRARINI, A.; BINI, C.; AMADUCCI, S. Soil and ecosystem services: current knowledge and evidences from Italian case studies. **Applied Soil Ecology**, p. 1-6, 2017.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FINK, J. R. et al., Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p. 62-68, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO: 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>>. Acesso em: 05 maio 2016.

FREITAS, L. A. et al., Soil physical and phenological attributes of soybean in different management systems and gypsum. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 508-515, 2017.

FRIGHETTO, R. T. S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação-extracção. In: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J., coord. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. EMBRAPA, 2000. p. 157-166

GARDI, C. et al., Soil biodiversity monitoring in Europe: ongoing activities and challenges. **European Journal of Soil Science**, v. 60, n. 5, p. 807-819, 2009.

GIRARDELLO V. C. et al., Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, p. 86-96, 2017.

GODOY, S. G. et al., Correlação entre produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 119-125, 2015.

GOLEBIOWSKA, J., RYSZKOWSKI, L. Energy and carbon fluxes in soil compartments of agroecosystems. **Ecological Bulletins - Stockholm**, v. 25, p. 274-283, 1977.

GREEN, V. S. et al., Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 114-121, 2007.

GUIMARÃES, R. N. et al., Production of phosphate biofertilizer through composting and vermicomposting process. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 3, p. 32-443, 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.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO **Soil quality: sampling of soil invertebrates. Part 3: sampling and soil extraction of enchytraeids**. 23611-3. Genebra, 2007.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in midatlantic soils as influenced by conservation management. **Journal Soil Water Conservation**, v. 55, p. 69-78, 2000.

IVASK, M. et al., Invertebrate communities (Annelida and epigeic fauna) in three types of Estonian cultivated soils. **European journal of soil biology**, v. 44, p. 532-540, 2008.

JIANG, Y. et al., Soil macrofauna assemblage composition and functional groups in no-tillage with corn stover mulch agroecosystems in a mollisol area of northeastern China. **Applied Soil Ecology**, v. 128, p. 61-70, 2018.

KING, K. L.; HUTCHINSON, K. J. Effects of superphosphate and stocking intensity on grassland microarthropods. **British Ecological Society**, v. 17, n. 3, p. 581-591, 1980.

KLADIVKO, E. J. Tillage systems and soil ecology. **Soil and Tillage Research**, v. 61, p. 61-76, 2001.

KRABBE, E. L.; DRIEMEYER, D. J.; ANTONIOLLI, Z. I. Efeitos de diferentes sistemas de cultivo sobre a população de oligoquetas e características físicas do solo. **Ciência Rural**, v. 24, p. 49-53, 1994.

KUZYAKOV, Y.; BLAGODATSKAYA, E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & Review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 83, p. 184-199, 2015.

LAGERLÖF, L.; ANDRÉN, O.; PAUSTIAN, K. Dynamics and contribution to carbon flows of Enchytraeidae (Oligochaeta) under four cropping systems. **Journal of Applied Ecology**, v. 26, p. 183-199, 1989.

LAUCINDA, V. A. et al., Long-term tillage and cropping system effects on chemical and biochemical characteristics of soil organic matter in a mediterranean semiarid environment. **Land Degradation & Development**, v. 26, p. 45-53, 2015.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, v. 27, p. 93-132, 1997.

LAVELLE, P. et al., Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 3-15, 2006.

LORANGER, G. et al., Does soil acidity explain altitudinal sequences in Collembolan communities? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, p. 381-393, 2001.

LOSS, A. et al., Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesi**, v. 29, p. 11-19, 2011.

LOSS, A. et al., Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105-113, 2017.

LOURENTE, E. R. P. et al., Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

LUCIANO, R. V. et al., Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 1, p. 09-19, 2010.

LUSTOSA FILHO, J. F. et al., Nutrient availability and organic matter content under different soil use and management. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 475-483, 2017.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T.; KLAUBERG-FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maças. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1531-1539, 2006.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D. et al., Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 655-665, 2007.

MARTINEZ-SALGADO, M. M. et al., Biological soil quality indicators: a review. **Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology**. p. 319-328, 2010.

MARTINS, M. V. et al., Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p. 147-154, 2009.

MARZAIOLI, R. et al., Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. **Applied Soil Ecology**, v. 44, p. 205-212, 2010.

MASTOS, R. E. et al., Soil quality indices for evaluation of long-term land use and soil management practices in semi-arid sub-tropical India. **Land Degradation & Development**, v. 19, p. 516-529, 2008.

MÉDIÈNE, S. et al., Agroecosystem management and biotic interactions: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 31, p. 491-514, 2011.

MELO, A. S. O que ganhamos ‘confundindo’ riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? **Biota Neotropica**, v. 8, p. 21-27, 2008.

MENDES, I. de C.; REIS JUNIOR, F.B. **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a Qualidade do Solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Embrapa Cerrados, Planaltina – DF (Documentos, 112) p. 34, 2004.

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

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

MOREIRA, F. M. D; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. atual. E ampl. – Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 429.

MOREIRA, M. C. D. L. et al., Biological quality indicators of a Haplorthox soil under different. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 250-257, 2018.

MOTTER, P. et al., **Plantio Direto: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. 1^a ed. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. p. 144.

MULDER, C.; ELSEY, J. Soil acidity, ecological stoichiometry and allometric scaling in grassland food webs. **Global Change Biology**, v. 15, p. 2730-2738, 2009.

MUNARETO, F. D. et al., Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundaçāo no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1499-1506, 2010.

MUNÑOZ-ROJAS, M. et al., Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. **Restoration Ecology**, v. 24, p. 1-10, 2016.

NICOLODI, M. Desafios à caracterização de solo fértil em química do solo. In: **REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO**, 6., Passo Fundo, 2006. Anais. Passo Fundo, Embrapa, 2006. CD-ROM.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C. Ruído na avaliação da fertilidade do solo e desafios a sua caracterização. **Plantio Direto**, v. 158, p. 10-25, 2017.

NIELSEN, U. N. et al., Soil biodiversity and carbon cycling: a review and synthesis of studies examining diversity–function relationships. **European Journal of Soil Science**, v. 62, p. 105-116, 2011.

NIVA, C. C. et al., Enchytraeid abundance in Araucaria Mixed Forest determined by cold and hot wet extraction. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. S169-S175, 2015.

O'CONNOR, F.B. Extraction of enchytraeid worms from a coniferous forest soil. **Nature**, v. 175, n. 4462, p. 815-816, 1955.

OBÁDE, V. P.; LAL, R. Soil quality evaluation under different land management practices. **Environ Earth Science** v. 72, p. 4531-4549, 2014.

ODUM, E. P. The strategy of ecosystems development. **Science**, v. 164, p. 262-270, 1969.

OLIVEIRA, C. A. et al., Diversidade bacteriana da rizosfera de genótipos de milho contrastantes na eficiência de uso de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1473-1482, 2009.

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

OLIVEIRA, I. R. P. et al., Diversidade de formigas (Hymenoptera; Formicidae) edáficas em três estágios sucessionais de mata atlântica em São Cristóvão, Sergipe. **Agroforestalis News**, v. 1, n. 1, p. 48-58, 2016.

PACHE FILHO, A. Mecanização do sistema plantio direto. **O Agronômico**, v. 57, p. 17-18, 2005.

PAOLO, A. G. et al., Assessment of soil-quality index based on microarthropods in corn cultivation Vin Northern Italy. **Ecological Indicators**, v. 10, p. 129-135, 2010.

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

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.

PAZ-FERREIRO, J.; FU, SHINGLEI. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. **Land Degradation & Development**, v. 27, p. 14-25, 2016.

PELOSI, C.; RÖMBKE, J. Are Enchytraeidae (Oligochaeta, Annelida) good indicators of agricultural management practices? **Soil Biology & Biochemistry**, v. 100, p. 255-263, 2016.

PIELOU, E. C.; The measurement of diversity in different types of biological collections. **Journal of Theoretical Biology**, v. 13, p. 131-144, 1966.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, n. 2, p. 159-164, 1987.

POMPEO, P. N. et al., Morphological diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-15, 2017.

POMPEO, P. N. et al., Diversidade de Coleoptera (Arthropoda: Insecta) e atributos edáficos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Revista Scientia Agraria**, v.17, p.16-28, 2016.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 43, p. 131-167, 1997.

REICHERT, J. M. et al., Hidrologia do solo, disponibilidade de água as plantas e zoneamento agroclimático. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 1-54, 2011.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1623-1632, 2016.

ROCHA, P. P. P. et al., Sorção e dessorção do diuron em quatro Latossolos brasileiros. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 231-238, 2013.

ROEDER, K. A.; ROEDER, D. A checklist and assemblage comparison of ants (Hymenoptera: Formicidae) from the Wichita Mountains Wildlife Refuge in Oklahoma. **Check List**, v. 12, n. 4, p. 1-15, 2016.

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

ROSA, M. G. **Macrofauna do solo em diferentes sistemas de uso no oeste e planalto catarinense**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2013, 129p. Dissertação (Mestrado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Mestrado em Ciência do Solo, Lages, 2013

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 Solo**, v. 39, p. 1544-1553, 2015.

RUGGIERO, M. A. et al., A higher level classification of all living organisms. **Plos One**, v. 10, p. 1-60, 2015.

SACKETT, T. E.; CLASSEN, A. T.; SANDERS, N. J. Linking soil food web structure to above- and belowground ecosystem processes: a meta-analysis. **Oikos**, v. 119, p. 1984-1992, 2010.

SANTOS, D. P. et al., Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1466-1475, 2016.

SANTOS, V. M.; MAIA, L. C. Bioindicadores de qualidade do solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 10, p. 195-223, 2013.

SCHMELZ, R. M.; COLLADO, R. **Taxonomy Workbook for South American Terrestrial and Freshwater Enchytraeids (Oligochaeta)**. Universidad de A Coruña, Spain, Fac. Ciências, Biología Animal. 2010. No prelo

SCHMELZ, R. M. et al., Diversity of terrestrial Enchytraeidae (Oligochaeta) in Latin America: Current knowledge and future research potential. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 13-20, 2013.

SEIDEL, E. P. et al., Soybean yield, soil porosity and soil penetration resistance under mechanical scarification in no-tillage system. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 268-277, 2018.

SHAO, Y. et al., Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead zinc mine. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, p. 2040 -2046, 2008.

SHUKLA, M. K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil & Tillage Research**, v. 87, p. 194-204, 2006.

SIGMA PLOT. **Scientific Graphing Software**. Versão 11.0. San Jose, Califórnia, USA, Jandel Corporation. 2008.

SILVA, E. E. da.; AZEVEDO, P. H. S. de.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo ($q\text{CO}_2$)**. Seropédica-RJ, Embrapa Agrobiologia. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico 99), 2007. p. 4.

SILVA, M. C. P. **The normal operating range of soil functioning: understanding the natural fluctuations of nitrogen cycling communities**. 2013. 420 p.

SILVA, M. T. B. **A soja em rotação de culturas no plantio direto.** Cruz Alta [s.n.], 1997. 234p.

SMITT, A. M.; VAN AARDE, R. J. The influence of millipedes on selected soil elements: a microcosm study on three species occurring on coastal sand dunes. **Functional Ecology**, v. 15, p. 51-59, 2001.

SMITH, R. et al., Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient. **Soil & Tillage Research**, v. 100, p. 83-88, 2008.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual.** Washington, USDASCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p. (Handbook, 18).

SOUZA, E. D. et al., Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 79-88, 2010.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial - C - calibration in situ using microbial respiration an ^{14}C labeled cells. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

STATSOFT, Inc., **STATISTICA** (Data analysis software system). Version 10. Disponível em:<www.statsoft.com>, 2018.

STEFFEN, G. P. K. et al., Importância ecológica e ambiental das minhocas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 137-147, 2013.

SUBLER, S.; KIRSCH, A. S. Spring dynamics of soil carbon, nitrogen, and microbial activity in earthworm middens in a no-till cornfield. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, p. 243-249, 1998.

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

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833. (SSSA Book Series, 5).

TARDY, V. et al., Shifts in microbial diversity through land use intensity as drivers of carbon mineralization in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 90, p. 204-213, 2015.

TEDESCO, M. J. et al., **Análises de Solo, Plantas e Outros Materiais**. Porto Alegre: 91 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico 5).

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

TORRES, J. L. R. et al., Atributos indicadores da qualidade do solo numa área sob plantio direto há doze anos. **Comunicata Scientiae**, v. 6, p. 123-133, 2015.

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

VAN GROENIGEN, J. W. et al., Earthworms increase plant production: a meta-analysis. **Scientific Reports**, v. 4, p. 1-7, 2014.

VAN VLIET, P. C. J., BEARE, M. H., COLEMAN, D. C. Population dynamics and functional roles of Enchytraeidae (Oligochaeta) in hardwood forest and agricultural ecosystems. **Plant and Soil**, v. 170, p. 199-207, 1995.

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

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Biologia dos solos dos cerrados. **Planaltina**: EMBRAPA- CPAC, p. 624, 1997.

VAN RAIJ, B. et al., **Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas: Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: 1997. p. 285.

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

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biology Review**, v. 67, p. 321-358, 1992.

WINK, C. et al., Insetos edáficos como indicadores de qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, p. 60-71, 2005.

WINTER, J. P.; VORONEY, R. P.; AINSWORTH, D. R. Soil microarthropods in long-term no-tillage and conventional tillage corn production. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottava, v.70, p. 641-653, 1990.

ZORNOZA, R. et al., Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil Journal**, v. 1, p. 173-185, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Histórico e caracterização dos Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja em municípios (Campo Largo, Chapecó, Faxinal dos Guedes e Maravilha) do Oeste de Santa Catarina. 1º Ano (2016/2017).

Sistema	Cordenada geográfica	Altitude	Adubação orgânica	Histórico de manejo	Descrição dos produtos comerciais utilizados no 1º ano de coleta
Campo Largo					
SPDA	26°22'26.49"S 53° 8'58.85"O	895 m	não	Sistema plantio direto com 20 anos de implantação, com rotação de culturas milho (<i>Zea mays</i> L.), trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.), soja (<i>Glycine max</i> M.), aveia (<i>Avena strigosa</i> Schreb.), soja e aveia nos últimos três anos.	Glifosato sal de amônio (1188 g P.A. ha ⁻¹); Duas aplicações de Trifloxistrobina (93,75 g P.A. ha ⁻¹) + Ciproconazol (40 g P.A. ha ⁻¹); Azoxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Benzovindiflupir (30 g P.A. ha ⁻¹); Trifloxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Protoconazol (70 g P.A. ha ⁻¹).
SPDM	26°22'26.13"S 53° 8'44.48"O	920 m	Não	Plantio direto com 20 anos de implantação, com sucessão de culturas soja e aveia nos últimos três anos.	
SPDB	26°22'6.62"S 53° 8'14.31"O	923 m	não		
Chapecó					
SPDA	27°4'51.74"S 52°41'3.07"O	638 m	2 t ha ⁻¹ de cama de aves	Plantio direto com 18 anos, com sucessão de culturas soja e azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) nos últimos três anos. Entrada exporádica de gado de corte no período de inverno no sistema de Média produtividade.	Glifosato sal de amônio (1188 g P.A. ha ⁻¹); Trifloxistrobina (131,5 g P.A. ha ⁻¹) + Ciproconazol (56,1 g P.A. ha ⁻¹) duas aplicações de Azoxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Benzovindiflupir (30 g P.A. ha ⁻¹); Booster ZnMo (4,6 g Zn ha ⁻¹ + 7 g Mo ha ⁻¹).
SPDM	27°4'41.84"S 52°41'1.12"O	702 m			
SPDB	27°4'59.40"S 52°41'1.72"O	625 m			
Faxinal dos Guedes					
SPDA	26°47'29.01"S 52°13'55.75"O	912 m	não	Sistema plantio direto com 33 anos, com rotação de cultura milho, trigo, soja, trigo, soja e aveia + nabo (<i>Raphanus sativus</i> L.) + tremoço + centeio (<i>Secale cereale</i> L.) +	Glifosato Potássico (992 g P.A. ha ⁻¹); Tiametoxam (25,4 g P.A. ha ⁻¹) + Lambda-Cialotrina (19,1 g P.A. ha ⁻¹); Teflubenzurom (22,5 g P.A. ha ⁻¹ e 15 g P.A. ha ⁻¹); Azoxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) +

				ervilha forrageira (<i>Pisum sativum</i> L.) nos últimos três anos.	Benzovindiflupir (30 g P.A. ha ⁻¹); duas aplicações de Lambda-Cialotrina (3 g P.A. ha ⁻¹) + Clorantraniliprole (6 g P.A. ha ⁻¹); Imidacloprido (100 g P.A. ha ⁻¹ e 75 g P.A. ha ⁻¹) + Bifentrina (20 g P.A. ha ⁻¹); Mancozebe (1500 g P.A. ha ⁻¹); Fluxapiroxade (58,5 g P.A. ha ⁻¹) + Piraclostrobina (116,8 g P.A. ha ⁻¹); Bifentrina (15 g P.A. ha ⁻¹); Mancozebe (1275 g P.A. ha ⁻¹).
SPDM	26°50'44.47"S 52°16'23.17"O	973 m	não	Sistema plantio direto com 24 anos, com rotação de cultura soja, aveia, soja, trigo, soja e aveia + nabo + centeio + erva nos últimos 3 anos.	Glifosato Potássico (992 g P.A. ha ⁻¹); Tiametoxam (25,4 g P.A. ha ⁻¹ e 28,2 g P.A. ha ⁻¹) + Lambda-Cialotrina (19,1 g P.A. ha ⁻¹ e 21,2 g P.A. ha ⁻¹); Teflubenzurom (22,5 g P.A. ha ⁻¹); Glifosato Potássico (843 g P.A. ha ⁻¹); Duas aplicações de Tiametoxam (14,1 g P.A. ha ⁻¹) + Lambda-Cialotrina (10,6 g P.A. ha ⁻¹); Carbendazim (200 g P.A. ha ⁻¹); Picoxistrobina (60,6 g P.A. ha ⁻¹) + Ciproconazole (32 g P.A. ha ⁻¹); Lambda-Cialotrina (3 g P.A. ha ⁻¹) + Clorantraniliprole (6 g P.A. ha ⁻¹); Mancozebe (1050 g P.A. ha ⁻¹ e 1275 g P.A. ha ⁻¹); Trifloxistrobina (60 g P.A.) + Protioconazol (70 g P.A. ha ⁻¹)
SPDB	26°47'32.09"S 52°13'46.31"O	911 m	não	Sistema plantio direto com 33 anos, com rotação de cultura milho, trigo, soja, centeio, soja e aveia + nabo + tremoço + centeio + erva nos últimos três anos.	Mesmo manejo do sistema de Alta
Maravilha					
SPDA	26°44'2.11"S 53° 6'54.13"O	607 m	não	Sistema plantio direto com 28 anos, com rotação de cultura soja, trigo, milho/feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), trigo, soja e aveia nos últimos três anos.	Duas aplicações de Trifloxistrobina (60 g P.A.) + Protioconazol (70 g P.A. ha ⁻¹); duas aplicações Cinetina (0,018 g P.A. ha ⁻¹) + Ácido Giberélico (0,01 g P.A. ha ⁻¹) + Ácido 4-Indol-3ilbutírico (0,01 g P.A. ha ⁻¹); Duas aplicações Metoxifenoza (48 g P.A. ha ⁻¹); Clorantraniliprole (10 g P.A. ha ⁻¹); Mancozebe (1050 g P.A. ha ⁻¹); Azoxistrobina (60
SPDM	26°43'50.07"S 53° 8'31.40"O	638 m	não		

SPDB	26°43'46.92"S 53° 8'33.53"O	634 m	não	Sistema plantio direto com 16 anos, com rotação soja, trigo, soja/soja, aveia, soja, trigo nos últimos três anos.	g P.A. ha ⁻¹) + Benzovindiflupir (30 g P.A. ha ⁻¹); Óleo mineral (214 g P.A. ha ⁻¹); Imidacloprido (105,1 g P.A. ha ⁻¹); Clorfenapir (192 g P.A. ha ⁻¹); Flubendiamida (28,8 g P.A. ha ⁻¹)
------	--------------------------------	-------	-----	---	--

P.A.: Princípio Ativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE B - Histórico e caracterização dos Sistemas Plantio Direto de Alta (SPDA), Média (SPDM) e Baixa (SPDB) produtividade de soja em municípios (Campo Êre, Chapecó, Faxinal dos Guedes e Maravilha) do Oeste de Santa Catarina. 2º Ano (2017/2018).

Sistema	Cordenada geográfica	Altitude	Adubação orgânica	Histórico de manejo	Descrição dos produtos comerciais utilizados no 2º ano de coleta
Campo Êre					
SPDA	26°22'26.26"S- 53°08'37.93"O	925 m	não	Sistema plantio direto com 20 anos de implantação, com rotação de culturas milho (<i>Zea mays</i> L.), trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.), soja (<i>Glycine max</i> M.), aveia (<i>Avena strigosa</i> Schreb.), soja e nabo (<i>Raphanus sativus</i> L.) + aveia, soja e nabo nos últimos anos.	Glicina - Glifosato (1110 g P.A. ha ⁻¹) + Sal de Di-Amônio (1335 g P.A. ha ⁻¹); Carbendazim (500 g P.A. ha ⁻¹); Marter Maxxi (Nutrientes e aditivos) (30 ml ha ⁻¹); Trifloxistrobina (93,75 g P.A. ha ⁻¹) + Ciproconazol (40 g ha ⁻¹); Éster metílico de óleo de soja (144 g P.A. ha ⁻¹); Diflubenzuron 24 g ha; Co + Mo (2,5 + 30,7 g ha ⁻¹); Duas aplicações Marter Forth (Nutrientes e aditivos) (30 ml ha ⁻¹); Azoxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Benzovindiflupir (40 g P.A. ha ⁻¹); Éster metílico de óleo de soja (144 g P.A. ha ⁻¹); Difenoconazol (62,5 g P.A. ha ⁻¹) + Ciproconazol (37,5 g P.A. ha ⁻¹); Diflubenzuron (54 g P.A. ha ⁻¹); Trifloxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Protiococonazol (70 g P.A. ha ⁻¹); Mancozebe 1200 (g P.A. ha ⁻¹); Éster metílico de óleo de soja (144 g P.A. ha ⁻¹); Bifentrina (30 P.A. g ha ⁻¹) +
SPDM	26°22'26.13"S 53° 8'44.48"O	920 m	Não		
SPDB	26°22'6.62"S 53° 8'14.31"O	923 m	2 a 3 t ha ⁻¹ de cama de aves	Sistema plantio direto com 20 anos de implantação, com sucessão de culturas soja e aveia; soja e nabo nos últimos anos.	

					Carbosulfano (90 g P.A. ha ⁻¹); Trifloxistrobina (93,75 g P.A. ha ⁻¹) + Ciproconazol (40 g P.A. ha ⁻¹); Éster metílico de óleo de soja (144 g P.A ha ⁻¹); Metomil (430 g P.A. ha ⁻¹)
Chapecó					
SPDA	27°4'51.74"S 52°41'3.07"O	638 m	2 t ha ⁻¹ de cama de aves	Sistema plantio direto com 19 anos, com sucessão de culturas soja e azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) nos últimos três anos	Glifosato - Sal de Amônio (1188 g P.A. ha ⁻¹); Teflubenzurom (18 g P.A. ha ⁻¹); Trifloxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Protioconazol (70 g P.A. ha ⁻¹); Ester Metílico de óleo de Soja (144 g P.A ha ⁻¹); Imidacloprido (70 g P.A. ha ⁻¹) + Beta-Ciflutrina (8,75 g P.A. ha ⁻¹); Teflubenzurom (22,5 g P.A. ha ⁻¹); Trifloxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Protioconazol (70 g P.A. ha ⁻¹); Imidacloprido 100 (g P.A. ha ⁻¹) + Beta-Ciflutrina 8,75 g P.A. ha ⁻¹); Ester Metílico de óleo de Soja (144 g P.A. ha ⁻¹); Acefato (750 g P.A. ha ⁻¹) + Silicato de alumínio (225,5 g P.A. ha ⁻¹); Teflubenzurom (22,5 g P.A. ha ⁻¹)
SPDM	27°4'41.84"S 52°41'1.12"O	702 m			
SPDB	27°4'59.40"S 52°41'1.72"O	625 m	2 t ha ⁻¹ de cama de aves	Sistema plantio direto com 19 anos, com sucessão de culturas soja e azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) nos últimos três anos	
Faxinal dos Guedes					
SPDA	26°47'33.40"S 52°15'09.20"O	853 m	não	Sistema plantio direto com 37 anos, com rotação de culturas nabo forrageiro + aveia preta + centeio (<i>Secale cereale</i> L.) + aveia branca <i>Avena sativa</i> L.) + ervilha forrageira (<i>Pisum sativum</i> L.), soja, nabo forrageira + aveia preta + centeio, milho, soja e trigo	Glifosate potássico (1240 g P.A. ha ⁻¹); Clorimuron Etílico (25 g P.A. ha ⁻¹); Glifosate Potássico (930 g P.A. ha ⁻¹); Inox Manganês (6,75 g N ha ⁻¹ + 94,5 g Mn ha ⁻¹); Azoxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Benzovindiflupir (30 g P.A. ha ⁻¹); Óleo Mineral (214 g P.A. ha ⁻¹); Carbendazim 75 g P.A. ha ⁻¹); Tiram (175 g P.A. ha ⁻¹);

SPDM	26°50'44.47"S 52°16'23.17"O	973 m	não	Sistema plantio direto com 24 anos, com rotação de cultura soja, aveia, soja, trigo, soja e aveia + nabo + centeio + erva-de-sisal nos últimos 3 anos.	Imidacloprido (50 g P.A. ha ⁻¹); Bifentrina (10 g P.A. ha ⁻¹); Azoxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Benzovindiflupir (30 g P.A. ha ⁻¹); Óleo Mineral (214 g P.A. ha ⁻¹); Fluazinam (400 g P.A. ha ⁻¹); Teflubenzurom (22,5 g P.A. ha ⁻¹); Profol (1000 g P.A. ha ⁻¹); Picoxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹) + Benzovindiflupir (30 g P.A. ha ⁻¹); Óleo Mineral (214 g P.A. ha ⁻¹); Mancozebe (1200 g P.A. ha ⁻¹); Flubendiamida (24 g P.A. ha ⁻¹); Tiametoxam (28,2 g P.A. ha ⁻¹); Lambda-Cialotrina (21,2 g P.A. ha ⁻¹); Trifloxistrobina (60 g P.A. ha ⁻¹); Éster metílico de óleo de soja (108 g P.A. ha ⁻¹); Mancozebe (1200 g P.A. ha ⁻¹); Clorantraniliprole (20 g P.A. ha ⁻¹); quatro aplicações Triunfo Neutrum (0,075 g ha ⁻¹); duas aplicações Triunfo Flex (0,075 g ha ⁻¹).
SPDB	26°47'20.08"S 52°15'05.47"O	854 m	não	Sistema plantio direto com 37 anos, com rotação de culturas nabo forrageiro + aveia preta + centeio + aveia branca + erva-de-sisal forrageira, soja, nabo forrageira + aveia preta + centeio, milho, soja e trigo	
Maravilha					
SPDA	26°44'2.11"S 53° 6'54.13"O	607 m	não	Sistema plantio direto com 28 anos, com rotação de cultura soja, trigo, milho/feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), trigo, soja e aveia nos últimos três anos.	Não disponibilizado
SPDM	26°43'50.07"S 53° 8'31.40"O	638 m	não	Rotação de cultura soja, trigo, milho/feijão, trigo, soja e aveia nos últimos três anos	
SPDB	26°43'58.40"S 53° 8'10.92"O	625 m	não		

P.A.: Princípio Ativo.

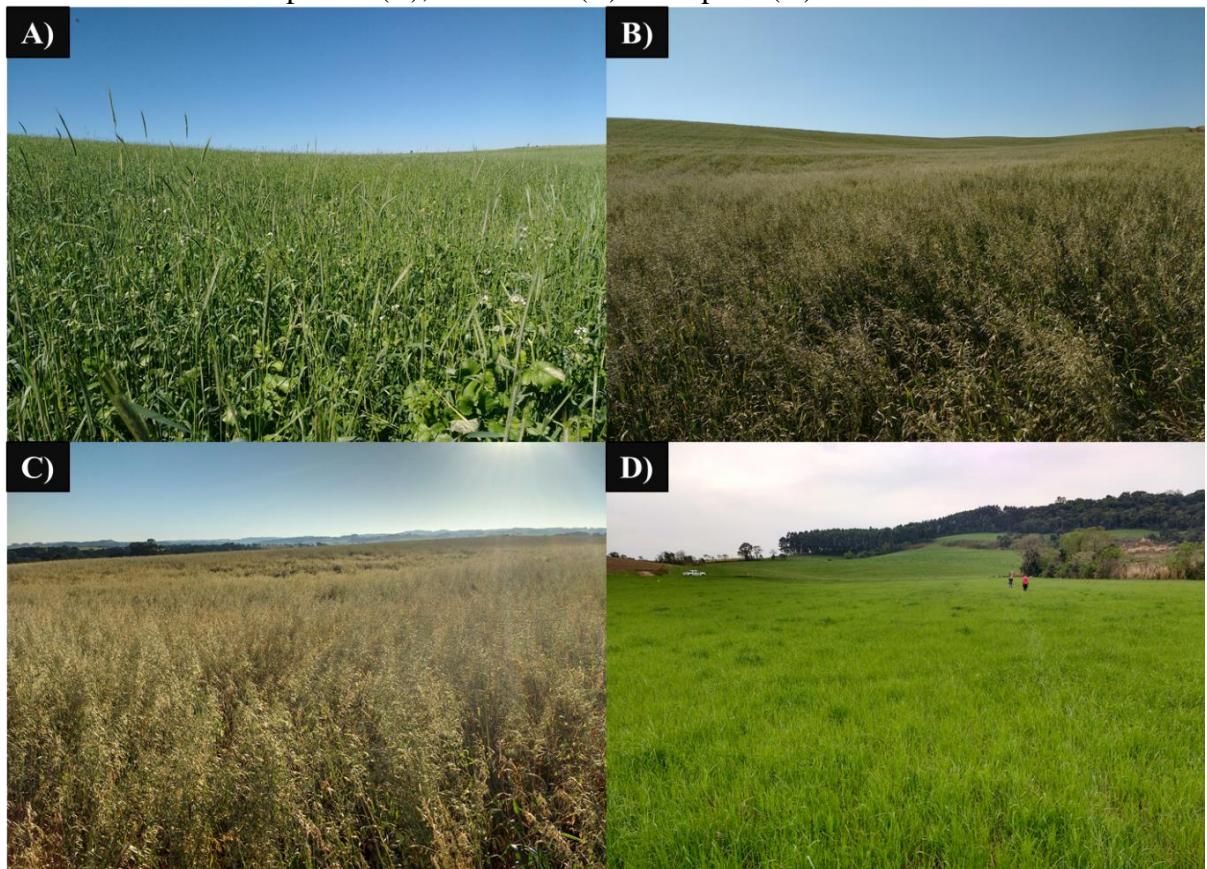
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE C - Início do florescimento da soja, estádio R1 de desenvolvimento (A) e ao lado imagem representativa do Sistema Plantio Direto de Média produtividade avaliada no município de Chapecó (B).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

APÊNDICE D - Cobertura de inverno no ano agrícola 2017/2018 no Sistema de Plantio Direto Média produtividade (SPDM) nos municípios de Faxinal dos Guedes (A), Campo Ére (B), Maravilha (C) e Chapecó (D).



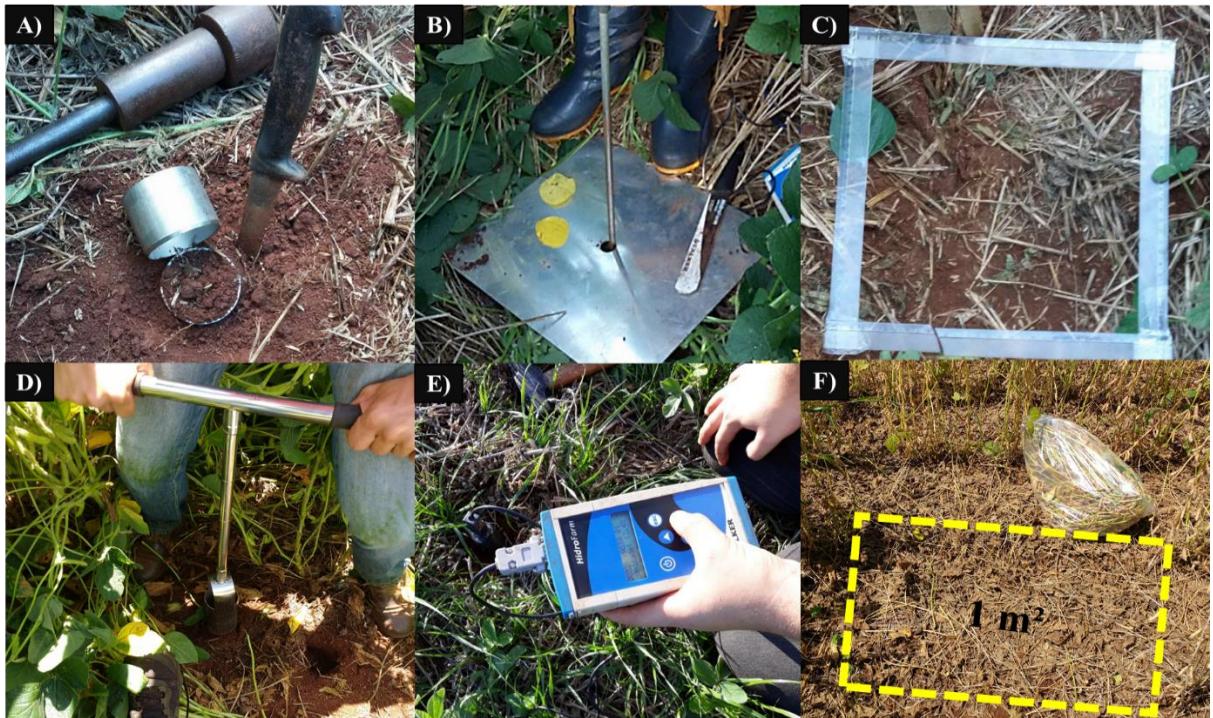
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

APÊNDICE E - Detalhe da Instalação das armadilhas (*Pitfall traps*) ao lado esquerdo (A), e amostragem do monólito de solo (TSBF) ao lado direito (B).



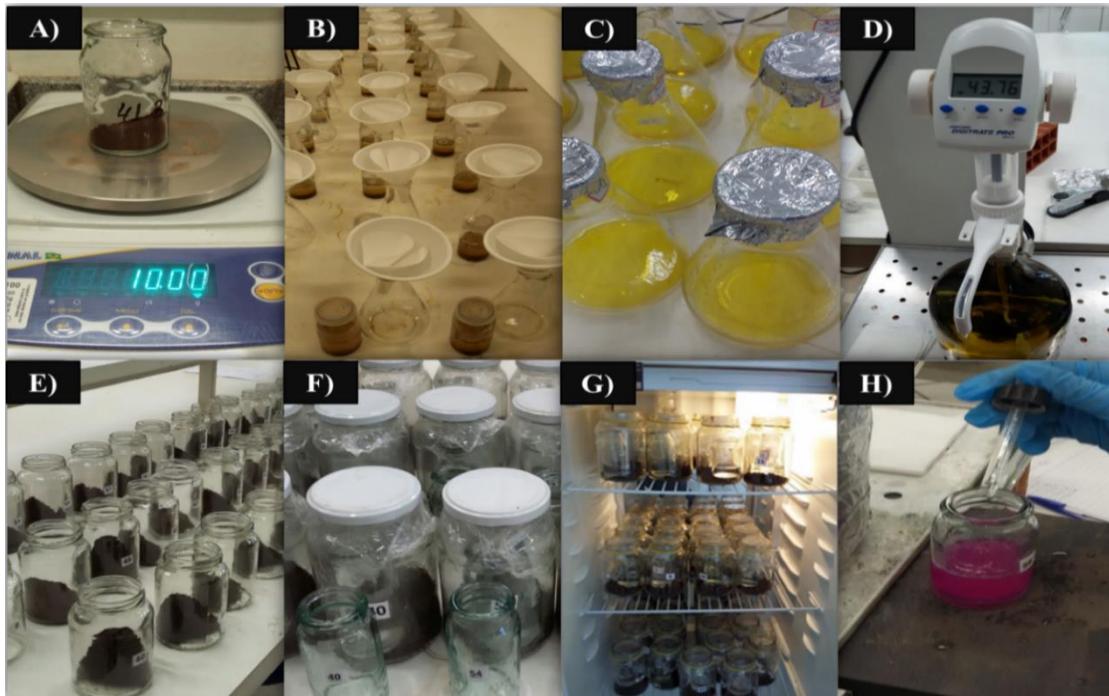
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE F - Coleta de core para avaliações de Enchytraeidae (A), resistência a penetração através do aparelho Penetrolog (B), amostragem de serapilheira (C), amostragem para as avaliações químicas e microbiológicas (D), determinação da umidade volumétrica através do aparelho Hidrofarm (E) e colheita da soja para estimativa da produtividade (F).



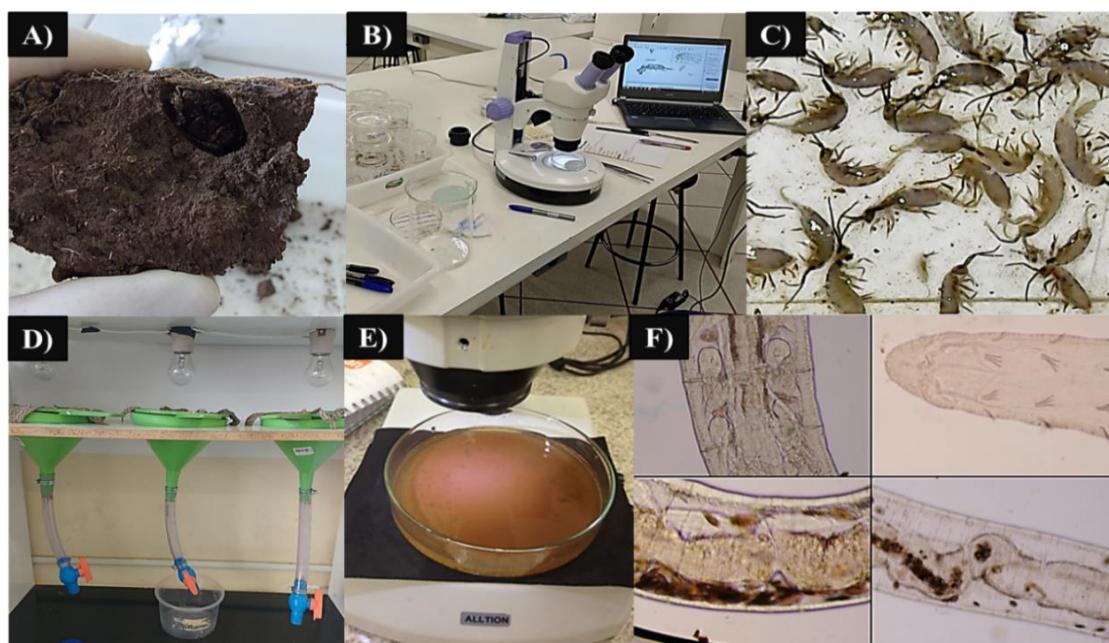
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

APÊNDICE G - Etapas para avaliação do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM): Pesagem (A), extração (B), oxidação (C) e titulação (D) e da avaliação da Respiração Basal do Solo (RBS): Separação/pesagem do solo (E); Troca diária das amostras de NaOH (F); incubação em BOD a 28 °C (G) e titulação (H)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

APÊNDICE H - Etapas para triagem da fauna edáfica (A), identificação e contagem da fauna em microscópio estereoscópico (B e C), dispositivo de extração úmida quente de Enchytraeidae (D), triagem e contagem de Enchytraeidae extraídos em microscópio estereoscópico (E), detalhes da avaliação das características para classificação dos gêneros de Enchytraeidae (F).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018. Imagens D, E e F cedidas por Douglas Alexandre (Arquivo pessoal).