

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

Juliane Schmitt

**Comunidade de nematoides como bioindicadores de qualidade do solo de
um sistema de integração lavoura-pecuária**

Santa Maria, RS, Brasil
2019

Juliane Schmitt

**Comunidade de nematoide como bioindicadores de qualidade do solo em um sistema de
integração lavoura-pecuária**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Josemar Seminoti Jacques

Santa Maria- RS, Brasil
2019

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Schmitt, Juliane
Comunidade de nematoide como bioindicadores de
qualidade do solo em um sistema de integração lavoura
pecuária / Juliane Schmitt.- 2019.
109 p.; 30 cm

Orientador: Rodrigo Josemar Seminoti Jacques
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2019

1. soja 2. pastagem 3. intensidade do pastejo 4.
nematofauna 5. bioindicadores I. Josemar Seminoti
Jacques, Rodrigo II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFEM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, JULIANE SCHMITT, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Juliane Schmitt

**Comunidade de nematoides como bioindicadores de qualidade do solo em um sistema de
integração lavoura-pecuária**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciência do Solo**

Aprovado em 25 de fevereiro de 2019:

Rodrigo Josemar Seminoti Jacques
(Presidente/Orientador)

Juvenil Enrique Cares, Dr (UnB)

Larissa de Brito Caixeta, Dra (IAC)

Anderson Cesar Ramos Marques, Dr (IFF)

Zaida Inês Antonioli, Dra (UFSM)

Santa Maria- RS
2019

Dedicatória

Aos meus pais João e Luiza que sempre me acompanharam, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda força que dele obtive para seguir em frente neste caminho.

Aos meus pais, João e Luiza, que durante 23 anos tive a oportunidade de conviver fisicamente, por todo o aprendizado e amor que me dedicaram. Obrigada por serem meus anjos da guarda, há 5 anos me dando força e não me deixando desistir durante vários momentos da minha vida.

Ao Iuri, por estar ao meu lado durante toda essa trajetória.

Aos meus sogros Cilon e Nelma por todo o apoio.

Ao meu orientador, Rodrigo Jacques, pelo incentivo, orientação e amizade desde o mestrado.

Ao meu coorientador Juvenil Enrique Cares, pela tranquilidade, confiança, amizade e aprendizado durante essa caminhada.

À minha coorientadora, Zaida Inês Antonioli, pelos momentos de felicidade e aprendizado que dividimos durante estes anos.

Aos professores Ibanor Anghinoni e Paulo César Faccio de Carvalho e ao grupo de pesquisa GSIIPA da UFRGS pela oportunidade de realizar as avaliações na área experimental em São Miguel das Missões/RS.

Às amigas que a nematologia me trouxe: Carina Lopes, Larissa Caixeta, Daniela Stefanello, Jessica Monteiro e Vanessa Mattos. Obrigada por compartilharem comigo, além do vasto conhecimento que vocês dominam da nematologia, momentos de alegria e realizações pessoais e profissionais.

Aos amigos Mireila Lersch, Juliana Dockhorn, Danielli Vargas, Fernanda Gallon, Valéria Portela, Edicarla Trentin, Ângela Neufeld, Marcieli Piccin, Douglas Dalla Nora, Cristiano Keller, Marcia Gabriel e Jaqueline Schafer por todo o apoio, amizade e momentos de descontração.

Aos colegas do Laboratório de Biologia do Solo diretamente envolvidos neste trabalho, Kelen Muller, Marcelo Sulzbacher, Caroline Bevilacqua, Alexandre Doneda, Cristiano Bellé, Willian Braga, Caroline Rabuske, Valdemir Bittencourt, Reyllis Unfer, Natielo Santana, Hazael Almeida, Anderson Moro, Joice Freiberg, Fernanda Cantoni, Lisiani Sobucki, Mariana Dossin, Guilherme Padilha, Daiane Dalla Nora, Maria Heloisa Baptistella, Igor Schardong, Nariane de Andrade, Mauro e Rodrigo Ramos. Obrigada pelo auxílio durante a execução de todas as tarefas, mas principalmente pelo auxílio no meu crescimento pessoal e profissional.

Ao professor Jerônimo Vieira de Araujo Filho e ao amigo Danrley Pacheco, pela ajuda na identificação das espécies do gênero *Helicotylenchus*.

Ao colega Raí Schwalbert, pela ajuda no desenvolvimento e ensinamentos em estatística.

Aos professores do Departamento de Solos pelo aprendizado durante o curso. Ao Héverton, secretário do Programa de Pós-graduação, à Eunice Fighera, secretária do Departamento de Solos da UFSM e ao Antonio Carlos Bassaco, técnico do laboratório de Biologia do Solo. Obrigada pelas conversas, café, chimarrão e amizade.

À Universidade Federal de Santa Maria por minha formação profissional.

Aos órgãos de fomento CNPq, CAPES e Agrisus pelo financiamento das atividades de pesquisa e concessão de bolsas de estudo.

À banca examinadora pela disponibilidade e contribuições.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, **Muito Obrigada!**

O universo é uma harmonia de contrários.
Pitágoras

RESUMO

Comunidade de nematoides como bioindicadores de qualidade do solo em um sistema de integração lavoura-pecuária

AUTOR: Juliane Schmitt

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rodrigo Josemar Seminoti Jacques

A integração lavoura-pecuária (ILP) quando bem manejada aumenta os ganhos econômicos e melhora na qualidade do ambiente. Porém, o excesso de carga animal na pastagem da ILP pode trazer prejuízos ao solo e suplantará estes benefícios. Os nematoides são bioindicadores que podem ser utilizados para avaliar os efeitos do aumento da intensidade do pastejo na qualidade do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade do solo de um sistema de integração lavoura-pecuária através do estudo das comunidades de nematoides fitoparasitas e de vida livre. O experimento foi conduzido em uma área de 22 hectares, que a 15 anos é cultivada com a sucessão *Glycine max* para produção de grãos no verão e *Avena strigosa* + *Lolium multiflorum* para o pastejo contínuo dos bovinos no inverno. Os tratamentos foram constituídos pelo pastejo nas alturas de 10, 20, 30 e 40 cm, parcelas sem pastejo e uma área de pastagem natural. A coleta das amostras de solo foi realizada no florescimento da soja e da pastagem para quantificação e identificação dos nematoides a nível genérico e de espécie. As propriedades químicas, físicas e de cobertura de solo foram determinadas para fins de correlação. Devido a degradação da pastagem natural, a sua conversão em área agrícola melhorou o status da comunidade de nematoides do solo. A introdução da integração lavoura-pecuária na área agrícola também resultou em melhoria da comunidade de nematoides do solo. O aumento da intensidade do pastejo teve impactos diferentes no inverno e no verão, sendo que a altura de pasto de 20 cm resultou no melhor status da comunidade de nematoides do solo. Foram identificados 11 gêneros de nematoides parasitas de plantas, mas todas as abundâncias estão abaixo dos níveis de danos econômicos. O pastejo realizado a 20 e 30 cm apresentou as mais baixas populações de fitonematoides no verão e no inverno. O gênero *Helicotylenchus* foi dominante em todos os usos do solo, porém somente a espécie *H. dihystera* está presente. *Meloidogyne javanica* ocorre nas áreas pastejadas com 40 cm e na pastagem natural, no verão e no inverno. As condições desta ILP limitam o desenvolvimento dos nematoides fitoparasitas, porém se o pastejo continuar sendo realizado a 10 cm no inverno, estes nematoides poderão tornar-se um problema fitossanitário para a soja cultivada em sucessão.

Palavras-chave: soja, pastagem, intensidade do pastejo, nematofauna, bioindicadores.

ABSTRACT

Plant-parasitic and free-living nematodes as soil quality bioindicators in a crop-livestock integration

AUTHOR: Juliane Schmitt

ADVISOR: Prof. Dr. Rodrigo Josemar Seminoti Jacques

The crop-livestock integration (ILC) when there is a good managed increases economic gains and improves the quality of the environment. However, the excess of the animal load in the pasture of the ILP can cause damages to the soil and decrease these benefits. Nematodes are bioindicators that can be used to evaluate the effects of increasing grazing intensity on soil quality. The objective of this work was to evaluate the soil quality of a crop-livestock integration system through the study of phytoparasite and free-living nematode communities. The experiment was conducted in an area of 22 hectares that at 15 years is cultivated with the succession *Glycine max* for grain production in summer and *Avena strigosa* + *Lolium multiflorum* for continuous grazing of cattle in winter. The treatments are composed of grazing plots at heights of 10, 20, 30 and 40 cm, plots without grazing and a natural pasture area. Soil samples were collected in soybean and pasture for quantification and identification of nematodes at the generic and trophic levels. The chemical, physical analyses, and soil cover properties were determined for correlation purposes. Due to degradation of the natural pasture, its conversion to agricultural area improved the status of the soil nematode community. The introduction of crop-livestock integration in the agricultural area also resulted in improvement of the soil nematode community. The increase in grazing intensity had different impacts in winter and summer, and the grass height of 20 cm resulted in better soil status community of soil nematodes. Eleven genera of parasitic nematodes of plants were identified, but all abundances were below the levels of economic damage. The grazing performed at 20 and 30 cm showed the lowest phytonethoid populations in summer and winter. The genus *Helicotylenchus* was dominant in all soil uses, but only the *H. dihystrera* species is present. *Meloidogyne javanica* occurs in pasture areas with 40 cm and in natural pasture, in summer and winter. The conditions of this ILP limit the development of phytopathogenic nematodes, but if grazing is continued at 10 cm in winter, these nematodes could become a phytosanitary problem for soybeans grown in succession.

Keywords: soil biodiversity, nematofauna, soybean, pasture, crop-livestock integration.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	11
1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
1.1.1 Sistemas de integração lavoura-pecuária	12
1.1.2 Nematoides como indicadores de qualidade do solo	14
1.1.3 Nematoides causadores de danos em plantas	17
1.1.4 Índices ecológicos em estudos de biodiversidade de nematoides	19
1.1.5 Estudos com nematoides em sistemas naturais e de produção agropecuária	24
1.2 PROPOSIÇÃO	29
1.2.1 Problema científico	29
1.2.2 Hipóteses	30
1.2.3 Objetivos	30
1.2.3.1 Objetivo Geral	30
1.2.3.2 Objetivos Específicos	30
ARTIGO I - ALTERAÇÕES NAS COMUNIDADES DE NEMATOIDES DO SOLO EM RESPOSTA À INTENSIFICAÇÃO DO USO DAS TERRAS NA REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL	31
ARTIGO II – FITONEMATOIDES EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA MANEJADO COM DIFERENTES INTENSIDADES DE PASTEJO E BAIXA DIVERSIDADE DE PLANTAS	66
2 DISCUSSÃO GERAL	97
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
REFERÊNCIAS	101

1 APRESENTAÇÃO

Com a crescente demanda por produtos agropecuários e as intensas perturbações que os sistemas convencionais de produção exercem sobre o solo, cada vez mais se buscam sistemas agropecuários que aliem sustentabilidade e alta produtividade. Uma alternativa para atender esta necessidade são os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), como a integração lavoura-pecuária (ILP). Abrangendo cerca de 83% das áreas de produção no Brasil (Embrapa, 2016), a ILP concilia ciclos de agricultura com ciclos de pecuária em sucessão na mesma área (CARVALHO et al., 2014). É uma alternativa para intensificar o uso das terras, aumentar a renda do produtor rural e melhorar a qualidade ambiental, desde que manejada de forma correta (PONTES et al., 2018).

Na região sul do Brasil, as áreas cultivadas com soja (*Glycine max* (L.) Merr.), milho (*Zea mays* L.) e arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) atingem, aproximadamente, 14,5 milhões de hectares, enquanto as áreas cultivadas com trigo (*Triticum aestivum* L.) aveia (*Avena sativa* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.), canola (*Brassica napus* L.) e centeio (*Cecale cereale* L.) não atingem a 4,5 milhões de hectares (CONAB, 2018). Isto indica que cerca de 10 milhões de hectares permanecem improdutivos ou subutilizados durante o período de inverno, em pousio ou destinados unicamente às plantas de cobertura do solo e acúmulo de palha (MORAES et al., 2014).

Estas áreas apresentam potencial para utilização com a ILP. Além disto, a produção de forragem por estas plantas ocorre em um período crítico, onde há redução do crescimento das pastagens naturais pela ocorrência das baixas temperaturas e geadas do inverno, o que normalmente resulta em perda de peso dos bovinos. Por isto, nas propriedades rurais onde a ILP vem sendo utilizado há significativo aumento de renda dos produtores rurais, devido a maior produção de carne e/ou leite no inverno (GIL et al., 2016; CARVALHO et al., 2017).

O manejo adequado do sistema ILP tem resultado em melhorias das propriedades químicas (FLORES et al., 2008; MARTINS et al., 2014), físicas (CONTE et al., 2008; MOREIRA et al., 2012; CECAGNO et al., 2016) e biológicas do solo (SOUZA et al., 2010; CHÁVEZ et al., 2011; SILVA et al., 2011; NEUFELD, 2016; FREIBERG, 2017). Porém, o excesso de carga animal na pastagem pode trazer prejuízos ao solo e suplantam os benefícios advindos do aumento da renda (KUNRATH, et al., 2015). Por isto, se faz necessário o estabelecimento de bases científicas para a definição do limite de intensificação suportado por

este sistema, de forma que se avaliem os impactos sobre as propriedades do solo, em especial nas biológicas, uma vez que estas são mais sensíveis e têm recebido menor atenção em relação às químicas e físicas.

Os nematoides podem ser considerados bons indicadores biológicos de qualidade do solo devido à ocorrência em qualquer ambiente que forneça uma fonte de carbono orgânico; habitam todos os tipos de solo, sob diversas condições climáticas e em habitat que variam do equilibrado a extremo distúrbio; constituem comunidades multiespecíficas, ou seja, ocorrem interações entre seus membros e também com outros componentes da biota do solo; certos táxons ou grupos de táxons podem apresentar sensibilidade diferenciada frente a distúrbios ocorridos no meio; ocupam posições chaves nas redes alimentares do solo; e apresentam diversidade trófica, onde o hábito alimentar é identificado de acordo com a estrutura da cavidade bucal e faringe (CARES, 2006; TOMAZINI et al., 2008). Apesar disto, até o momento pouco se conhece sobre as respostas das comunidades de nematoides (abundância, diversidade taxonômica, etc.) às alterações químicas, físicas e biológicas do solo promovidas pela sucessão das culturas de grãos e pastagens em sistemas de integração lavoura-pecuária e pelo aumento da intensidade do pastejo sobre estes organismos.

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1.1 Sistemas de integração lavoura-pecuária

A integração entre sistemas agrícolas e pecuários tem o objetivo de intensificar o uso da terra, associando cultivos de vegetais e com a produção animal, sem incorporar novos ecossistemas naturais ao sistema produtivo (CARVALHO et al., 2014). No Brasil a integração lavoura-pecuária (ILP) abrange cerca de 11,5 milhões de hectares (EMBRAPA, 2016) e tem sido uma alternativa de recuperação das pastagens degradadas e dos estoques de carbono das áreas agrícolas nas regiões tropicais do Brasil (VILELA et al., 2011; CARVALHO et al., 2014; MARTINS et al., 2015).

No RS, a ILP tem como foco a diversificação de cultivos, o aumento da renda e da utilização da terra nos períodos interlavouras de verão, sendo empregado em rotações de arroz irrigado com pastagens na Metade Sul e rotações em lavouras de milho e soja com pastagens

de inverno em regiões do Planalto do Rio Grande do Sul até o Paraná (CARVALHO et al., 2011).

A adoção desses sistemas traz inúmeros benefícios ao solo, quando feito o correto ajuste da carga animal (MORAES et al., 2014). Em comparação aos sistemas convencionais agrícolas ou pecuários, destaca-se que a ILP permite maior produção anual de biomassa vegetal, a introdução de dejetos animais nas áreas agrícolas, o aumento do teor de matéria orgânica e da fertilidade do solo, a melhoria na ciclagem de nutrientes, da agregação, da infiltração de água e da aeração do solo, a diminuição das plantas indesejadas e o aumento da atividade biológica do solo (FLORES et al., 2008; SALTON et al., 2008; CARVALHO et al., 2010; SALTON et al., 2010; SILVA et al., 2011; VILELA et al., 2011; SALTON et al., 2013; ASSMANN et al., 2014; MARTINS et al., 2015; SCHUSTER et al., 2016).

Mundialmente, cerca de 40% da crosta terrestre é ocupada para produção de alimentos, sendo 1,5 bilhões de hectares com agricultura e 3,4 bilhões de hectares com pecuária (pastagens) (FOLEY et al., 2011). Desse total, estima-se que 50% encontra-se em algum nível de integração agrícola e pecuária (BELL; MOORE. 2012). Diante disso, as perspectivas em nível global para o uso de algum tipo de sistemas integrados são promissoras, havendo uma estimativa de que sejam à base da produção de alimentos do futuro, com aproximadamente dois bilhões de pessoas sendo sustentadas por esse modelo de produção (WRIGHT et al., 2011).

O uso de sistemas integrados foi reconhecido pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2010) como uma alternativa para a “intensificação sustentável” ou “intensificação ecológica”, tendo como preceito o uso de mecanismos biológicos capazes de substituir intervenções químicas e físicas ou interagir positivamente com elas, exercendo o mesmo papel, mas sem custos externos, sobretudo ambientais (DORÉ et al., 2011). Este sistema pode auxiliar na alimentação dos nove bilhões de pessoas que habitarão o planeta em 2050, pois reúne uma ampla gama de propriedades raras em sistemas de produção de alimentos e poderá auxiliar na redução dos atuais problemas das mudanças climáticas, devido às menores emissões de gases de efeito estufa por unidade de área ou por quilo de carne produzida (SALTON et al., 2013; CARVALHO et al., 2014; DE SOUZA FILHO, 2017).

Entretanto, nas propriedades rurais frequentemente é observado o manejo inadequado dos sistemas integrados devido ao aumento da carga animal nas pastagens (NEVES NETO et

al., 2013). Estudos indicam que o pastejo intensivo pode suplantiar os benefícios da ILP e resultar em prejuízos ao solo. Klein et al. (2005) observaram que a alta carga animal altera os regimes de temperatura e umidade do solo. Kölbl et al. (2011) relatam perda de biomassa viva de cobertura do solo, redução do teor de carbono orgânico e aumento da compactação superficial quando o pastejo é realizado de forma intensiva.

Na ILP onde as amostras deste estudo foram coletadas, observou-se que a altura de pasto de 10 cm (pastejo intensivo) prejudica propriedades físicas e químicas do solo, aumenta as plantas indesejáveis, reduz a disponibilidade hídrica no sistema, não sendo um manejo recomendado (MARTINS et al., 2015). Já o pastejo moderado, com altura de 20 cm a 30 cm, melhora várias propriedades do solo, que são importantes indicadores da sua qualidade (MARTINS et al., 2015).

A ILP conduzida sob intensidade moderada de pastejo, pode aumentar a matéria orgânica do solo (MOS) até níveis iguais (ou superiores) aos da vegetação nativa (SALTON et al., 2013), pois o pastejo estimula o crescimento de raízes e as rizodeposições, quando comparado às plantas forrageiras não pastejadas (SOUZA et al., 2010; ANGHINONI et al., 2011; SHI et al., 2013). Ao contrário do pastejo intenso, que resulta em menores quantidades de resíduos aportados ao solo, o que também compromete o acúmulo de carbono no solo (ASSMANN et al., 2014).

Como já mencionado, os benefícios do uso da ILP são inúmeros, mas ainda sabe-se pouco sobre a influência desse sistema na biologia do solo. É conhecido que o uso de diferentes práticas de cultivo afeta tanto a diversidade como o tamanho das comunidades da fauna do solo. Até o momento, os poucos estudos realizados demonstram que as comunidades de organismos do solo respondem rapidamente às mudanças no pastejo (LE ROUX et al., 2008) e que áreas com intensidade de pastejo moderadas podem apresentar aumentos tanto na atividade quanto na diversidade dos organismos do solo, se comparadas às áreas de intenso ou nenhum pastejo (ZHOU et al., 2010; NEUFELD, 2016).

1.1.2 Nematoides como indicadores de qualidade do solo

Vários organismos do solo são considerados bons indicadores da qualidade do ambiente. Pode-se considerar que a principal vantagem dos bioindicadores seja o fato de constituírem a propriedade viva do solo, apresentando mais rápida resposta às variações do

ecossistema, se comparados com as propriedades químicas ou físicas (DORAN; ZEISS, 2000; MUÑOZ-ROJAS, 2018).

Dentre os organismos do solo, vários pesquisadores têm utilizado os nematoides para estabelecer relações entre a estrutura das comunidades dos ecossistemas naturais e dos sistemas agrícolas, com o objetivo de atestar se o uso e o manejo empregados afetam ou não a sustentabilidade do solo (FRECKMAN; ETTEMA, 1993; YEATES; BONGERS, 1999; NEHER et al., 2005; CARES ; HUANG, 2008a; TOMAZINI et al., 2008; BRIAR et al., 2011; ARIEIRA et al., 2013; MALHERBE; MARAIS, 2015; CAIXETA et al., 2016; KITAGAMI et al., 2017; WANG et al., 2018). Porém, estudos relacionando a biodiversidade e a estrutura das comunidades de nematoides em sistemas de ILP ainda são incipientes.

Estima-se que a cada cinco animais multicelulares existentes no planeta Terra, quatro sejam nematoides (HUGOT et al., 2001), devido a isso, os nematoides constituem um grupo numeroso e diverso. No solo, aproximadamente 7,5 milhões de nematoides podem ser encontrados em um hectare, considerando a profundidade de 20 cm (LOPES; FERRAZ, 2016). Os nematoides são organismos pequenos e de corpo filiforme, variando de 0,2 a 12 mm, pertencentes ao filo Nematoda, o qual compreende as classes Chromadorea (exclusivamente encontrados no solo) e Enoplea (encontrados no solo, água doce e marinha) (BONGERS; FERRIS, 1999; DE LEY; BLAXTER, 2004). Das 19 ordens conhecidas, 13 estão associadas ao solo (CARES; HUANG 2008a). Por esta expressiva participação nos ecossistemas terrestres, as estruturas tróficas e taxonômicas dos nematoides podem ser utilizadas como indicadores biológicos, visando mensurar as alterações resultantes da adoção de práticas de manejo nos agroecossistemas (YEATES et al., 1993; FERRIS et al., 2001).

Os nematoides podem ser divididos em oito grupos tróficos de acordo com o nicho ecológico que se adaptaram e aos recursos alimentares disponíveis. Yeates et al. (1993) propuseram que seriam; Fitoparasitas ou parasitas de planta, aqueles que se alimentam de plantas vasculares; Fungívoros ou micófagos, os que têm como fonte de alimento hifas de fungos saprofíticos, penetrando-as com um pequeno estilete; Bacteriófagos, que têm como base alimentar qualquer fonte procariótica; Ingestores de substrato, que utilizam principalmente a ingestão de substrato onde há crescimento de bactérias, geralmente nematoides marinhos; Carnívoros ou predadores se alimentam de invertebrados do solo (protistas, rotíferos e outros nematoides); Os que se alimentam de eucariotos unicelulares, como algas e diatomáceas; Nematoides que apresentam estágios infectivos ou de dispersão

como parasitas de animais (vertebrados e invertebrados) e que podem ter um ciclo reprodutivo alimentar bacteriano ou fúngico no solo; Onívoros (uma combinação de todos os grupos citados anteriormente), mas geralmente aplicado a nematoides da ordem Dorylaimida. O uso destes como indicadores de qualidade do solo foi baseada em um reagrupamento dos mesmos permanecendo apenas cinco grupos tróficos básicos: Fitoparasitas ou parasitas de planta (PP); Micófagos ou fungívoros (MF); bacteriófagos (BF); predadores (PR) e onívoros (OM) (YEATES et al., 1998).

A utilização de nematoides como indicadores de qualidade do solo também está baseada na sua participação nas cadeias alimentares. Consumidores como os nematoides podem ser relativamente pouco importantes para o fluxo de energia, porém podem realizar um papel importante como reguladores de taxas ou velocidades das transformações, como na decomposição de matéria orgânica (WHITFORD et al., 1982), sendo considerados formas de recuperar energia e nutrientes que nem mesmo outros organismos, como bactérias e fungos conseguem realizar (LOREAU, 2001).

Os nematoides são considerados bons indicadores das alterações ambientais ocorridas no solo, devido a algumas características fundamentais: são encontrados em abundância em múltiplos e variados biomas; apresentam diversidade trófica; possuem ciclo biológico relativamente curto; constituem comunidades multiespecíficas, ocorrendo tanto interações entre os seus membros, quanto entre estes e outros componentes da biota do solo; certos táxons, ou grupos de táxons, comprovadamente apresentam sensibilidade diferenciada frente a distúrbios ocorridos no ambiente; são integradores de propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, podem ser identificados e quantificados sem maiores dificuldades, pelo menos até o nível genérico (CARES, 2006).

Os nematoides de vida livre presentes no solo, assim como os fitonematoides, são animais aquáticos (NEHER, 2010). O movimento no solo ocorre através dos poros, entre partículas ou agregados, sem atividade de construção de túnel. Os de vida livre, não se alimentam diretamente de material vegetal vivo, já os fitonematoides são parasitas obrigatórios, dependendo sempre de tecido vivo da planta para a sua alimentação, desenvolvimento e reprodução. Os nematoides de vida livre atuam na decomposição da matéria orgânica do solo, mineralização dos nutrientes e ocupam nichos alimentares baseados em uma série de recursos, sendo afetados por fatores físicos, como tamanho dos poros, umidade e temperatura (AVERY; THOMAS, 1997; YEATES; KING, 1997).

É sabido que os nematoides bacteriófagos excretam 50-80% do material consumido, contribuindo de forma direta para a mineralização da matéria orgânica (TROFYMOW; COLEMAN, 1982), mas o efeito indireto é muito mais importante, devido aos nematoides transportarem microrganismos para microhabitats do solo que contém mais e melhores recursos ou fontes de alimento, promovendo assim o aumento do crescimento microbiano (NILES; FRECKMAN, 1998).

Os nematoides fornecem excreções e alimentos parcialmente digeridos como fonte de energia para os microrganismos. Os nematoides micófagos ingerem hifas senescentes e os nematoides microbiófagos, quando presentes em número equilibrado, aceleram o crescimento microbiano, quando a alimentação do nematoide ocorre em nível considerado ótimo (GOULART et al., 2009). Esse fenômeno é chamado de efeito regulador dos nematoides sobre as populações microbianas (NILES; FRECKMAN, 1998).

Os nematoides de vida livre atuam na decomposição de matéria orgânica, alimentando-se de bactérias, fungos e outros nematoides, auxiliando na liberação dos nutrientes para as plantas e no controle biológico (NEHER, 2001; WALL et al., 2002). Por isto, a composição das comunidades de nematoides no solo sofre influência da vegetação, tipo de solo, clima, teor de umidade, matéria orgânica, distribuição espacial, entre outros fatores.

De acordo com Rossi et al. (1996) dois componentes são definidos no padrão de distribuição espacial de nematoides: um macro, que ocorre em escala generalizada de campo, afetado por variáveis ambientais; e outro micro, que ocorre em escala menor na forma de manchas, sendo relacionado ao ciclo de vida e estratégia de alimentação. As populações desses organismos no ambiente variam em função do potencial biótico de cada espécie e das condições adversas físicas, químicas e bióticas que o ambiente impõe (YEATES; BONGERS, 1999). Diante disso, o estudo da diversidade de nematoides é útil para avaliar a qualidade e a sanidade do solo, bem como utilizá-los como bioindicadores dos impactos das atividades humanas no ambiente.

1.1.3 Nematoides causadores de danos em plantas

Aproximadamente 4.100 espécies de nematoides são capazes de parasitar plantas, sendo denominados de fitonematoides (DECRAEMER et al., 2006). Estes são responsáveis por causar grandes perdas para a produção agrícola a nível mundial. Sua importância foi

reconhecida entre as décadas de 1930 e 1940, devido à expansão das áreas agrícolas e o aumento da demanda por alimentos (MANZANILLA-LÓPEZ et al., 2004; RAVICHANDRA, 2014). O reconhecimento tardio da relevância dos fitonematoides é devido ao fato de serem invisíveis a olho nu e os sintomas apresentados pelas plantas infectadas serem inespecíficos, podendo ser confundidos com os provocados por outros organismos ou mesmo por fatores abióticos, somado a inexperiência de produtores rurais e técnicos agrícolas (FERRAZ et al., 2010; LOPES; FERRAZ, 2016).

Dentre os fitonematoides de grande importância para a cultura da soja, destacam-se os formadores de galhas (*Meloidogyne* spp.), o reniforme (*Rotylenchulus reniformis* Linford ; Oliveira, 1940), os das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929) Filipjev; Schuurmans Stekhoven, 1941) e o do cisto (*Heterodera glycines* Ichinohe, 1915) (DIAS et al., 2010). Esta importância se deve a presença endêmica em diversas regiões produtoras, como é o caso da espécie *M. javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949 e *M. incognita* (Kofoid; White, 1919) Chitwood, 1949; da elevada variabilidade genética, como da espécie *H. glycines*; e do risco potencial com o aumento da área cultivada com plantas suscetíveis, principalmente à espécie *P. brachyurus* (FERRAZ, 2001; GOULART, 2007). Outras espécies emergentes, como *Helicotylenchus dihystra* (Cobb) Sher, *Scutellonema brachyurus* Andrassy e *Tubixaba tuxaua* Monteiro; Lordello, 1980 aparecem como potenciais patógenos para a soja no Brasil, já que sua dispersão e densidade populacional aumentou nas áreas de cultivo nos últimos anos (MACEDA et al., 2009; LIMA et al., 2009; MACHADO, 2014; MACHADO et al., 2018).

A ausência de rotação de culturas em determinadas áreas por anos sucessivos é um dos principais fatores para o aumento populacional desses fitonematoides no solo, tornando inevitável a ocorrência de danos e perdas consideráveis após certo período. A adoção de vários métodos de controle como a utilização de cultivares resistentes, controle químico por nematicidas, controle biológico por fungos e bactérias antagonistas, adição de matéria orgânica ao solo e a rotação com culturas não hospedeiras (FERRAZ et al., 2010) são as principais práticas para o manejo de fitonematoides.

Dentre as gramíneas usadas na sucessão às culturas de soja e milho na região subtropical do Brasil destaca-se a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) e o azevém (*Lolium multiflorum* Lam), que tem como objetivo de produzir biomassa para o plantio direto do verão ou diversificar a atividade agrícola com a introdução da pecuária (TERRA-LOPES et al., 2009). O uso dessas gramíneas tem demonstrado resultados satisfatórios no controle de

Meloidgyne spp. e *Pratylenchus* spp. (DIAS-ARIEIRA et al., 2003; BORGES et al., 2009; LIMA et al., 2009; BORGES et al., 2010; NEVES, 2013). Entretanto, alguns trabalhos contradizem esses resultados, mostrando que cultivares de aveia-preta, azevém e milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br), apresentam suscetibilidade aos nematoides de galhas e lesões (BORGES et al., 2003; ASMUS et al., 2005; INOMOTO; ASMUS, 2010; UESUGI et al., 2018). O que torna necessário mais pesquisas sobre o impacto das populações de *Meloidgyne* spp. e *Pratylenchus* spp. em gramíneas para o uso como método de rotação e ou sucessão de culturas.

1.1.4 Índices ecológicos em estudos de biodiversidade de nematoides

Para descrever a abundância e a riqueza dos táxons em uma comunidade de nematoide em sistemas naturais ou cultivados é necessário o uso de índices matemáticos aplicados aos estudos ecológicos. Estes índices fornecem informações relacionadas à dinâmica populacional no ambiente e por eles podemos avaliar os níveis de perturbação no solo e a influência dos diferentes grupos na realização de importantes processos, como na decomposição da matéria orgânica, realizada por nematoides de vida livre.

Os estudos de diversidade em comunidades de nematoides são geralmente desenvolvidos a partir de dados qualitativos, baseados nas identificações taxonômicas, e quantitativos, que expressam o número de indivíduos de cada táxon (abundância) (GOULART, 2009). Com isso, pode se mensurar a diversidade da nematofauna utilizando-se os índices matemáticos. A abundância total é avaliada pela contagem do número total de nematoides em uma amostra com volume conhecido de solo. A abundância absoluta é o número total de indivíduos pertencentes a um determinado táxon ou grupo trófico de uma amostra ou conjunto de amostras, enquanto que a abundância relativa representa o valor percentual do número de indivíduos pertencentes a um determinado táxon ou grupo trófico em relação ao total de indivíduos presentes em uma amostra ou conjunto de amostras (CARES; HUANG, 2008b).

Uma medida da diversidade de nematoides em uma comunidade é a riqueza, que é o número de diferentes táxons encontrados em cada condição avaliada (GOULART, 2007). Quanto aos índices de diversidade, um dos mais utilizados é a Riqueza de gêneros (d), obtido pela fórmula: $d = (S-1)/\log N$, em que S=número de táxons, N= número total de nematoides

em cada amostra (MAGURRAN, 1988). Outro índice utilizado com frequência é o Índice de diversidade de Shannon-Weaver (H'), obtido pela fórmula: $H' = - \sum P_i \times \log(P_i)$, sendo P_i = abundância relativa do táxon “i” (PIELOU, 1977). Quanto maior for o índice H' , maior a diversidade da área considerada. Uma derivação deste índice é o índice de equitatividade ou uniformidade de Shannon (J'), calculado por $J' = H'/H'_{\max}$, em que $H'_{\max} = \log S$. O índice J' varia de 0 a 1 e quanto maior for seu valor, maior será a equitatividade dos táxons nas áreas consideradas em relação as suas abundâncias relativas (ELLIOT, 1990).

Os índices de Shannon atribuem maior peso para nematoides menos abundantes e para aqueles raros, como os predadores e onívoros. O índice de diversidade de Simpson (D_s) é obtido pela fórmula: $D_s = 1/\sum (P_i)^2$. O índice de equitatividade de Simpson (E_s) é calculado por: $E_s = D_s/D_{s\max}$, em que $D_{s\max} = 1/S$ (ELLIOT, 1990). Diferentemente dos outros índices citados, os índices de diversidade de Simpson atribuem maior peso para nematoides altamente abundantes, como os parasitas de plantas e os bacteriófagos (PIELOU, 1977).

A estrutura trófica da nematofauna é avaliada levando-se em conta a proporção de cada grupo trófico dentro da comunidade, sendo considerados os parasitas de plantas (PP), micófagos (FF), bacteriófagos (BF), predadores (PR) e onívoros (OM) (YEATES et al., 1993). Geralmente a estrutura trófica da nematofauna é dominada pelos parasitas de plantas, seguidos dos bacteriófagos ou dos micófagos. As vias de decomposição da matéria orgânica podem ser avaliadas pelas relações (FF/BF) (FRECKMAN; ETTEMA 1993), que indica a via prevalente da decomposição da matéria orgânica. A relação (FF + BF)/PP indica a dominância de herbivoria ou nematoides que se alimentam de microrganismos em uma cadeia trófica (WASILEWSKA, 1994).

De acordo com Bongers (1990), os nematoides podem ser classificados com base na sua estratégia de vida como colonizadores (c) ou persistentes (p). Os colonizadores, equivalentes aos estrategistas “r”, e os persistentes, equivalentes aos estrategistas “K”. Os colonizadores (c) produzem muitos ovos pequenos, apresentam ciclo de vida curto e exploram rapidamente habitats ricos em nutrientes. Em contraste, os persistentes (p) produzem poucos ovos, apresentam longo ciclo de vida e dificilmente reagem positivamente as condições de alta disponibilidade de nutrientes. Nesse sistema de classificação, os nematoides são alocados em uma escala colonizador-persistente (c-p), que varia de 1 (c) a 5 (p), como descrito a seguir:

O grupo c-p1 é representado por nematoides com um ciclo de vida curto, resultando em um explosivo crescimento populacional sob condições de riqueza de nutrientes. Por exemplo, acompanham o crescimento populacional de bactérias em solos enriquecidos, sendo ativos apenas em condições de alta atividade microbiana. São relativamente tolerantes ao estresse induzido por poluição e são capazes de produzir um estágio de sobrevivência “*dauer larvae*” à medida em que a atividade microbiana é reduzida. Este grupo é composto de bacteriófagos das famílias Rabditidae, Diplogasteridae e Panagrolaimidae.

O grupo c-p 2 é representado também por nematoides que apresentam ciclo de vida curto e alta taxa de reprodução, porém não formam “*dauer larvae*” e ocorrem tanto em condições de abundância como de limitação de alimentos. São tolerantes a poluentes e outros distúrbios. Este grupo é composto pelos menores nematoides da família Tylenchidae, principalmente os que se alimentam de células epidérmicas de plantas, micófagos da superfamília Aphelenchoidea e da família Anguinidae, e bacteriófagos das famílias Cephalobidae, Plectidae e Monhysteridae.

O grupo c-p 3 é composto por nematoides com características intermediárias entre os grupos 2 e 4. Têm um longo tempo de geração e são relativamente sensíveis a distúrbios. Este grupo é composto de bacteriófagos das famílias Teratocephalidae, Araeolaimidae e Chromadoridae; nematoides pertencentes à infraordem Tylenchomorpha que se alimentam de raízes; micófagos da família Diplogasteridae e os predadores da família Tripyliidae.

O grupo c-p 4 inclui nematoides que são caracterizados por um ciclo de vida longo e apresentam cutícula permeável e sensível a poluentes. Os nematoides não predadores deste grupo são relativamente sésseis, enquanto que os predadores necessitam de maior mobilidade. Este grupo é composto de nematoides predadores, bacteriófagos das famílias Alaimidae e Bathyodontidae, nematoides da ordem Dorylaimida e parasitas de plantas da família Trichodoridae.

O grupo c-p 5 é composto por nematoides da ordem Dorylaimida, incluindo nematoides onívoros, predadores e parasitas de plantas. Este grupo apresenta longo ciclo de vida e baixa taxa de reprodução. Produzem poucos ovos e sua mobilidade é baixa. Com uma cutícula permeável, são muito sensíveis a poluentes e a outros distúrbios.

O índice de maturidade (MI) e seus derivados (mMI, MI 2-5 e PPI) (BONGERS, 1990; BONGERS; BONGERS, 1998) avaliam o grau de perturbação ambiental, levando em conta a frequência relativa dos táxons na comunidade de nematoides e o conceito da estratégia

de vida, onde se adota a escala colonizador-persistente (c-p). O índice de maturidade (MI) leva em consideração apenas os nematoides de vida livre, incluindo todos os valores c-p (BONGERS, 1990), e é obtido pela seguinte fórmula: $MI = \sum v(i) \times f(i)$, em que i = valor c-p atribuído ao táxon considerado e $f(i)$ = frequência relativa do gênero ou família “i”. O índice de parasitas de plantas (PPI) leva em consideração apenas os nematoides parasitas de plantas e é obtido pela mesma fórmula (BONGERS, 1990). O índice de maturidade (MI2-5) considera apenas valores c-p variando de 2 a 5, excluindo também os parasitas de plantas (BONGERS; BONGERS, 1998). O Índice de maturidade modificado (mMI) leva em consideração nematoides de vida livre e parasitas de plantas (YEATES, 1994), ambos sendo obtidos pela mesma fórmula proposta por Bongers (1990). Em ecossistemas agrícolas, o MI é usado para diferenciar usos e manejos. A variação dos níveis de perturbação que o solo é submetido varia de menos de 2,0 em sistemas com alto distúrbio e enriquecidos por nutrientes, a 5,0 em ambientes mais estáveis ou menos perturbados.

A intensidade de perturbação do solo está inversamente relacionada à magnitude do MI, mas positivamente correlacionada com o PPI. O enriquecimento do solo estimula a atividade microbiana e sua subsequente sucessão, que é refletida em uma redução inicial nos valores de MI, aumentando gradualmente com a redução no enriquecimento nutricional do solo. Também aumenta a capacidade de transferência de alimentos das plantas para os fitoparasitas, resultando em níveis mais altos do PPI (FRECKMAN; ETTEMA, 1993).

A utilização de novos índices para caracterizar comunidades de nematoides foi proposta por Ferris et al. (2001), com base na presença e abundância de determinadas “guildas”, podendo ser considerados importantes indicadoras das condições ecológicas do solo, especialmente com relação à cadeia alimentar. No caso dos nematoides, uma “guilda funcional” é um conjunto de grupos taxonômicos com o mesmo hábito alimentar e com a mesma função na cadeia trófica. Cada “guilda funcional” reúne nematoides que apresentam o mesmo valor c-p, que varia de 1 a 5. Foram propostas condições de cadeias alimentares e identificadas como “guildas funcionais” de nematoides, as quais são indicadoras da condição da cadeia alimentar no solo (FERRIS et al., 2001).

O índice de enriquecimento (IE), que caracteriza a cadeia alimentar na trajetória de “enriquecimento” nutricional do solo, foi elaborado com ênfase em nematoides bacteriófagos e micófitos de crescimento populacional rápido com valores c-p 1 e 2 e é calculado pela seguinte fórmula: $EI = 100 \times (e / (e + b))$. O índice de estrutura (IS) que caracteriza a cadeia

alimentar na trajetória da “estruturação” da comunidade e foi elaborado com ênfase em nematoides predadores e onívoros de crescimento lento e baixa reprodução com valores c-p 3, 4 e 5, calculado pela fórmula: $SI = 100 \times (s / (s + b))$. O índice basal (IB) caracteriza a cadeia alimentar reduzida em função de estresse, incluindo limitações de recursos, contaminações recentes ou condições ambientais. Foi elaborada com ênfase em nematoides bacteriófagos e micófitos c-p 2, calculada pela fórmula: $IB = 100 \times (b / (e + s + b))$. Já o Índice de canal de decomposição (CI) indica a via de decomposição predominante no solo, comparando o tamanho das populações dos nematoides que se alimentam de bactérias com os que se alimentam de fungos, calculado pela seguinte fórmula: $CI = 100 \times [0,8Fu2 / (3,2Ba1 + 0,8Fu2)]$, onde Ba1 e Fu2 são as abundâncias de nematoides das guildas de bacteriófagos com valor c-p igual a 1 e de micófitos com valor c-p igual a 2, respectivamente.

Os valores de e , s e b são as abundâncias de nematoides de guildas que representam “enriquecimento”, “estrutura” e condição “basal”, respectivamente. As guildas que representam enriquecimento são: bacteriófagos com valor c-p igual a 1 (Ba1) e fungívoros com valor c-p igual a 2 (Fu2). As guildas que representam estrutura são: bacteriófago com valor c-p entre 3 e 5 (Ba3, Ba4 e Ba5), fungívoros com valor c-p entre 3 e 5 (Fu3, Fu4 e Fu5), onívoros com valor c-p entre 3 e 5 (Om3, Om4 e Om5) e predadores (carnívoros) com valor c-p entre 2 e 5 (Ca2, Ca3, Ca4 e Ca5). As guildas que representam condição basal são: bacteriófagos e fungívoros com valor c-p 2 (Ba2 e Fu2, respectivamente). Esses componentes são calculados com base na abundância das “guildas” respectivas (n) e seus pesos específicos (k). Os índices SI e EI permitem realizar o denominado perfil faunal, que é a representação gráfica bidimensional feita com os valores médios dos índices e enriquecimento e de estrutura (Figura 1).

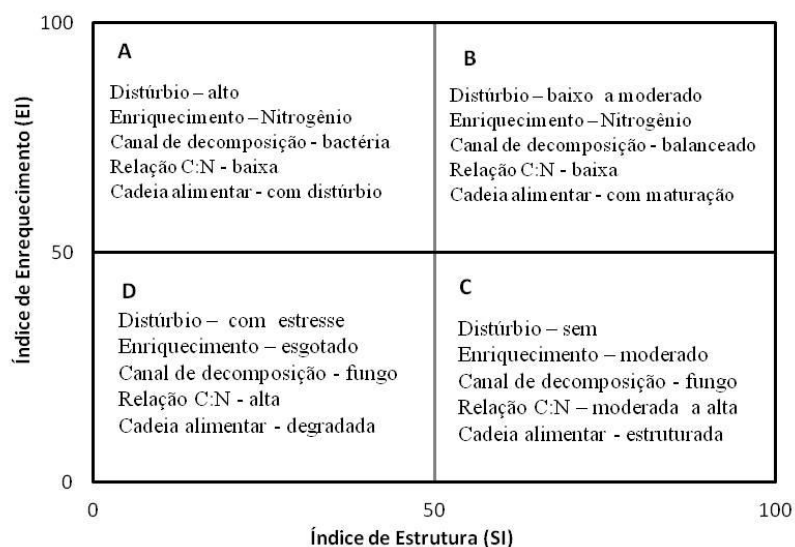


Figura 1.1.3. Representação gráfica da condição estruturada e enriquecida da rede trófica do solo (FERRIS et al. 2001).

As análises multivariadas também têm apresentado uma destacada importância em estudos de comunidades de nematoides. A importância deste método é dada quando se objetiva entender a influência de vários fatores na explicação de um fenômeno. Os métodos multivariados mais utilizados em estudos da ecologia de nematoides são a análise de componentes principais (PCA), análises de redundância (RDA), análises canônicas (CCA) e o escalonamento multidimensional (Multidimensional Scaling – MDS) (PROVETE et al., 2011).

1.1.5 Estudos com nematoides em sistemas naturais e de produção agropecuária

Os estudos sobre a diversidade de nematoides, tanto em áreas agrícolas como em ecossistemas naturais, vem apresentando crescente interesse, devido principalmente às perdas econômicas causadas pelos fitonematoides. Além disto, as comunidades de nematoides são sensíveis a distúrbios ambientais, podendo ser utilizadas como bioindicadoras. Pode-se também utilizar grupos funcionais específicos, como aqueles pertencentes na família Criconematidae, que vem sendo utilizados nas comparações entre áreas nativas e cultivadas (GOULART, 2007; TOMAZINI et al., 2008). O levantamento das comunidades de nematoides em ecossistemas naturais é justificável para o conhecimento, a compreensão da

presença e a ecologia de fitonematoides de importância agrícola, uma vez que estes tiveram seus ancestrais em ecossistemas naturais que se adaptaram às áreas cultivadas (SCHMITT; NORTON, 1972; RODRIGUES, 2011).

Os primeiros estudos de comparação entre ecossistemas naturais e agroecossistemas no Brasil foram realizados por Zamith; Lordello. (1957). Os autores observaram os nematoides presentes em solos de mata nativa e em solos cultivados no estado de São Paulo e concluíram que nos solos não alterados havia nematoides com número superior de gêneros e espécies. Porém, quando se iniciavam os cultivos, verificava-se a eliminação ou a permanência ou a introdução de novos nematoides, alguns por meio de material vegetal infestado ou máquinas agrícolas. O mesmo foi observado por Cares; Huang. (1991) e Norton; Nilblack. (1991) nas comunidades de nematoides das áreas cultivadas, que geralmente apresentaram riqueza taxonômica e diversidade menores que as comunidades pertencentes às áreas nativas.

As comunidades de nematoides em cinco sistemas de uso da terra (floresta perturbada, culturas anuais, pastagens, capoeiras e sistemas agroflorestais) na Amazônia foram estudadas por Huang et al. (1998). Os autores observaram que os nematoides fitoparasitas foram o grupo trófico mais abundante, constituindo cerca de 30 a 75% da abundância total, seguido dos bacteriófagos (10 a 25%). Os fungívoros, os predadores e os onívoros responderam por menos de 20% da abundância. A abundância total de nematoides foi maior nas pastagens, seguida da floresta perturbada e das capoeiras, sendo inferior nos sistemas agroflorestais e nas culturas anuais. A diversidade de nematoides avaliada pela riqueza de gêneros, pelos índices de diversidade de Shannon-Weaver, de Simpson e pela equitatividade dos dois índices de diversidade, mostrou que a capoeira apresentou maior diversidade, seguida do sistema agroflorestal, da floresta perturbada, das culturas anuais e, por fim, da pastagem. O índice de maturidade (MI) indicou maiores distúrbios de solo nas pastagens e nas culturas anuais, seguido das capoeiras, dos sistemas agroflorestais, sendo menores na floresta.

Wang et al. (2006) avaliaram o impacto do pastejo dos bovinos em comunidades de nematoides e na biomassa bacteriana na Flórida. O pastejo resultou em aumento da biomassa microbiana do solo, avaliada pelo conteúdo de carbono e nitrogênio, e alguns gêneros de nematoides bacteriófagos colonizadores foram substituídos por persistentes. As áreas pastejadas apresentaram comunidades mais estruturadas e a abundância de nematoides,

onívoros, predadores e fungívoros foi associada ao potencial de mineralização do carbono no solo.

De forma semelhante, Figueira et al. (2011) avaliaram a comunidade de nematoides do solo em quatro manejos de um sistema integrado de produção agroecológico com pastagem, capoeira, cultivo de figo com *Paspalum notatum* como planta de cobertura do solo e horta. Os nematoides onívoros foram os menos abundantes em todos os sistemas estudados. A pastagem apresentou maior diversidade de famílias, enquanto que no sistema capoeira encontraram-se valores baixos de diversidade, porém constantes no tempo, indicando uma condição de maior estabilidade. A ação antrópica induzida pelo manejo modificou a distribuição trófica em benefício dos nematoides bacteriófagos, normalmente associados à maior taxa de decomposição da matéria orgânica. Os nematoides fitoparasitas e bacteriófagos foram dominantes nos sistemas estudados, o que sugere a influência da densidade radicular elevada da pastagem e a alta taxa de mineralização na horta. A distribuição relativa dos grupos tróficos de nematoides do solo confirmou ser uma eficiente forma de se determinar o nível de perturbação dos solos submetidos a distintos manejos.

Utilizando-se de três diferentes ecossistemas: mata do cerrado, cultivo silvipastoril de eucalipto + pastagem, e cultivos anuais de soja e sorgo, Carvalho et al. (2011) avaliaram a nematofauna em quatro estações do ano. A maior diversidade foi observada no cerrado quando comparada aos cultivos perenes e anuais. Houve menor flutuação das riquezas de táxons nos sistemas agrícolas ao longo do ano em relação ao cerrado. A diversidade de gêneros diminuiu do cerrado para a cultura anual e depois para as culturas perenes na primavera. Os autores concluíram que existe um contraste de riqueza de táxons da nematofauna entre os cultivos e o cerrado.

As comunidades de nematoides do cerrado preservado e dos agroecossistemas com cultivos contínuos, integração lavoura-pecuária (ILP) e preparo do solo foram avaliadas por Goulart et al. (2008). Os autores observaram que o cultivo contínuo de soja em sistemas de ILP favorece o aumento das populações de fitonematoides dos gêneros *Pratylenchus* e *Paratrichodorus* Siddiqi, 1974, bem como as populações dos nematoides micófagos dos gêneros *Aphelenchoides* Fischer, 1894, *Aphelenchus* Bastian, 1865 e *Ditylenchus* Filipjev, 1936. Segundo estes autores, a abundância absoluta e relativa dos fitonematoides e dos nematoides de vida livre, e a abundância absoluta de *Pratylenchus*, *Criconemella* e

Paratylenchus Micoletzky, 1922 constituem potenciais indicadores de alterações ambientais e da qualidade do solo na ILP.

A perturbação causada pelas diferentes intensidades de pastejo no planalto Tibetano foi avaliado por longo prazo por Hu et al. (2015). As áreas foram classificadas como de baixa, média ou intensa perturbação. A abundância dos nematoides bacteriófagos e dos fitonematoides aumentou com o aumento da intensidade do pastejo e a abundância dos nematoides predadores diminuiu. Na baixa intensidade de pastejo houve menor abundância de nematoides fungívoros. A riqueza de espécies foi maior nos locais com intensa perturbação e menor em locais com baixa perturbação.

Coutinho et al. (2018) avaliou o estabelecimento do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, em Sinop/MT. Foram estudados 10 sistemas. A primeira coleta foi realizada em 2011, antes do estabelecimento das culturas, e a segunda em 2013. Para todos os índices avaliados não houveram diferenças estatísticas na primeira coleta, o que confirmou a hipótese do trabalho de que a área em toda a sua extensão se encontrava homogênea. Já na segunda coleta ocorreram alterações significativas ocasionadas pela implantação dos sistemas. As medidas de diversidade e demais índices estudados mostraram que os sistemas integração pecuária-floresta e integração lavoura-pecuária-floresta causaram menores distúrbios no ambiente e a lavoura causou os maiores distúrbios. O gênero *Helicotylenchus* foi dominante em todos os tratamentos.

As alterações nas populações de nematoides em resposta ao manejo da pastagem foram estudadas por Mills; Adl. (2011) no Canadá. Quatro intensidades de pastejo foram avaliadas: intensivo, semi-intensivo, extensivo e de estocagem. A maioria dos índices avaliados (MI, PPI, Σ MI e Σ MI25) apresentaram diferenças significativas. Os nematoides onívoros foram abundantes nos tratamentos extensivo e semi-intensivo, havendo um aumento significativo da ordem Dorylaimida. Os bacteriófagos constituíram a maior parte da população de nematoides, sendo Cephalobidae a família mais comum.

A dinâmica das comunidades de nematoides de vida livre e fitonematoides em cultivos de milho (*Zea mays* L.) e sílfio (*Silphium perfoliatum* L.) para produção de bioenergia na Alemanha foram avaliadas por Schorpp; Schrader. (2017). A maior abundância observada foi para os nematoides micófagos, predadores e fitonematoides. Os nematoides bacteriófagos permaneceram quase inalterados, mas sua dominância tendeu a diminuir. Nos campos com a

presença de *S. perfoliatum* observou-se a ocorrência em massa de *Helicotylenchus* spp. Devido a isso, os autores sugerem pesquisas sobre o impacto de grandes populações de *Helicotylenchus* spp. associadas ao cultivo de *S. perfoliatum*.

As respostas das comunidades de nematoides a um gradiente de umidade em área pastejada por ovelhas e cabras durante as estações de inverno e primavera foram avaliadas por Briar et al. (2012) na Califórnia. O gênero *Tylencholaimus* de Man, 1876 foi o mais abundante nas áreas pastejadas. A maior diversidade de nematoides foi encontrada nas áreas não pastejadas. Os nematoides bacteriófagos foram encontrados em maiores quantidades nas áreas com maior umidade, enquanto os nematoides micófagos foram encontrados em locais mais secos.

Recentemente Wang et al. (2018) avaliaram em áreas pastejadas e não pastejadas do platô tibetano, o efeito de um arbusto dominante (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb) e de gramíneas nas comunidades de nematoides do solo. Os resultados mostraram que o pastejo modifica as comunidades de nematoides. A abundância de nematoides foi maior na área com gramíneas, devido ao aumento da população de fitonematoides, o que provavelmente é devido ao aumento da disponibilidade de biomassa vegetal e conseqüentemente de recursos para estes nematoides. A presença do arbusto reduziu a abundância de nematoides, provavelmente devido a redução do pastejo e conseqüentemente da ciclagem de nutrientes.

Em um levantamento de fitonematoides em solo cultivado com soja nas regiões Norte, Noroeste e Sul do Rio Grande do Sul, Kirsch et al. (2016) observaram a ocorrência de nematoides dos gêneros *Meloidogyne* Göldi, 1892 (65%), *Helicotylenchus* (100%), *Tylenchus* Bastian, 1865 (72,5%), *Aphelenchus* (17,5%), *Paratylenchus* (15%) e *Pratylenchus* (10%). Com relação às espécies do nematoide-espiralado *Helicotylenchus*, detectaram-se a ocorrência de *H. dihystra* (Cobb, 1893) Sher, 1961(78%), *H. pseudorobustus* (Steiner, 1914) Golden, 1956 (11%) e *H. multicinctus* (Steiner, 1914) Golden, 1956 (11%). Já na amostragem do sistema radicular identificaram-se predominantemente *Meloidogyne javanica* Est J3 (82%), seguido de *M. arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949 Est A2 (31%) e *M. morocciensis* Rammah; Hirschmann, 1990 (6%). Os resultados desse estudo são muito importantes devido a escassez de informações relacionadas à ocorrência de nematoides na cultura da soja no Rio Grande do Sul e principalmente de informações relacionadas ao nematoide espiralado e sua real importância para a soja e outras culturas de importância econômica, já que há relatos de sua ampla distribuição nas áreas de cultivo. Diante do exposto, observa-se que a

caracterização da nematofauna do solo pode ser utilizada para a avaliação da qualidade dos ambientes cultivados e naturais, com possibilidades de uso como bioindicadores (NEHER, 2001).

1.2 PROPOSIÇÃO

1.2.1 Problema científico

A expansão das áreas agrícolas, a crescente demanda por produtos agropecuários e a intensa pressão que os sistemas convencionais de produção exercem sobre o solo, fazem com que cada vez mais se busquem usos e manejos mais sustentáveis para as áreas agrícolas. Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), dentre estes a integração lavoura-pecuária (ILP), são alternativas para melhorar o uso do solo em áreas já utilizadas pela agricultura. Segundo a FAO (2010), esses sistemas são uma das alternativas mais viáveis para a intensificação sustentável, visando o aumento da produção de alimentos, com redução do uso de insumos e do impacto ambiental.

Uma das estratégias mais atuais para o monitoramento da qualidade do solo é o uso de bioindicadores, os quais permitem identificar os impactos e definir práticas de manejo que podem resultar em sistemas de produção mais sustentáveis. Apesar da grande expansão das áreas ocupadas pela ILP em todo o mundo, poucos estudos se utilizaram dos nematoides de solo para avaliar os benefícios ou prejuízos causados por este sistema ao solo. Além disto, devido a sensibilidade aos fatores ambientais, a nematofauna do solo constitui-se em uma ferramenta fundamental para a definição do grau de intensificação suportado por este sistema, com vistas a se obter altas produtividades, sem, no entanto, causar degradação ambiental. Da mesma forma, pouco se conhece sobre a resposta dos nematoides às alterações químicas, físicas e biológicas do solo promovidas por diferentes intensidades de pastejo em uma ILP, assim como suas respostas à sucessão entre culturas de grãos e pastagens.

1.2.2 Hipóteses

1. A conversão da pastagem natural em cultivo agrícola, constituído pela sucessão soja e aveia preta+azevém, reduz a abundância e a diversidade de nematoides de vida livre e aumenta a de nematoides fitoparasitas;

2. A introdução da integração lavoura-pecuária nesta sucessão soja e aveia preta+azevém aumenta a abundância e a diversidade de nematoides de vida livre e reduz a de nematoides fitoparasitas;

3. O aumento da intensidade de pastejo em uma integração lavoura-pecuária prejudica as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, por consequência, reduz a abundância e a diversidade de nematoides de vida livre e aumenta a de nematoides fitoparasitas.

1.2.3 Objetivos

1.2.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade do solo de um sistema de integração lavoura-pecuária através do estudo das comunidades de nematoides fitoparasitas e de vida livre.

1.2.3.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar o impacto da conversão da pastagem natural em cultivo agrícola, constituído pela sucessão soja e aveia preta+azevém, na abundância e na diversidade de nematoides de vida livre e fitoparasitas do solo;

2. Avaliar se introdução da integração lavoura-pecuária na sucessão soja e aveia preta+azevém modifica a abundância e na diversidade de nematoides de vida livre e fitoparasitas do solo;

3. Conhecer o efeito do aumento da intensidade de pastejo em uma integração lavoura-pecuária na abundância e na diversidade de nematoides de vida livre e nematoides fitoparasitas do solo.

1 **ARTIGO I - ALTERAÇÕES NAS COMUNIDADES DE NEMATOIDES DO SOLO**
2 **EM RESPOSTA À INTENSIFICAÇÃO DO USO DAS TERRAS NA REGIÃO**
3 **SUBTROPICAL DO BRASIL¹**

4
5 **Resumo**

6 Diante do desafio de intensificar a produção de alimentos sem degradar o ambiente, este
7 trabalho buscou investigar a diversidade de nematoides de vida livre e fitoparasitas do solo
8 em uma pastagem natural, em um cultivo agrícola, e em uma integração lavoura-pecuária
9 (ILP) da região subtropical do Brasil. Três questões foram abordadas com relação à
10 comunidade de nematoides do solo: (1) Qual o impacto da conversão da pastagem natural em
11 cultivo agrícola? (2) Há alteração da comunidade de nematoides com a introdução de animais
12 em área agrícola? (3) A intensidade do pastejo altera a comunidade? A área experimental de
13 22 ha foi cultivada por 15 anos com a sucessão de *Glycine max* no verão e *Avena strigosa* +
14 *Lolium multiflorum* no inverno para a cobertura do solo (área agrícola) ou para o pastejo de
15 bovinos (ILP). Os tratamentos foram constituídos por uma pastagem natural, uma área
16 agrícola e um sistema de ILP com diferentes intensidades de pastejo, representado por alturas
17 de manejo de 10, 20, 30 ou 40 cm. As coletas de solo foram realizadas no florescimento da
18 soja e do pasto para quantificação e identificação dos nematoides em nível genérico, e dos
19 grupos tróficos. Também procedeu-se o cálculo de atributos da descrição faunal, estrutura
20 trófica, índices de distúrbio, escala c-p e correlação com atributos químicos, físicos e de
21 cobertura do solo. Devido ao estágio de degradação da pastagem natural, sua conversão em
22 área agrícola melhorou a comunidade de nematoides. A introdução de animais em área
23 agrícola (ILP) favoreceu a comunidade de nematoides. O aumento da intensidade do pastejo

¹Artigo submetido a revista Soil Biology and Biochemistry

24 na ILP resultou em melhoria de alguns atributos, e prejuízo de outros, quando avaliado na
25 fase pastagem. Porém, quando avaliado na fase soja, a comunidade de nematoides foi
26 prejudicada pelo pastejo intenso (10 cm) e beneficiada pelo pastejo moderado (20 cm).

27 **Palavras-chave:** nematoides de vida livre, nematoides fitoparasitas, pastagem natural, soja,
28 integração lavoura-pecuária, intensidade de pastejo.

29

30 **1 Introdução**

31

32 O maior desafio da agricultura sempre foi o de produzir alimentos em quantidade e
33 qualidade suficientes para alimentar a população mundial em contínuo crescimento. Para isto,
34 à medida que a população foi crescendo, os sistemas produtivos foram se tornando cada vez
35 mais intensivos (Garrett et al., 2017). Na região subtropical do Brasil estas mudanças foram
36 muito intensas nas últimas décadas e abrangeram ~15 milhões de hectares (CONAB, 2019).
37 Até a década de 1980, significativa quantidade das terras era destinada à criação de bovinos
38 em pastagens naturais. Na década de 1990, grande parte destas áreas foram convertidas em
39 áreas agrícolas. A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] ou o milho (*Zea mays* L.) eram cultivados no
40 verão, e no inverno eram cultivadas plantas de cobertura para proteção do solo e produção de
41 palha para o plantio direto (DEBIASI et al., 2010). Neste sistema, a área produz uma única
42 colheita comercial por ano, ainda que as condições climáticas sejam adequadas durante todo o
43 ano.

44 Buscando intensificar o uso das terras, nos anos 2000 houve forte incentivo dos órgãos
45 governamentais e privados para a adoção da integração lavoura-pecuária (ILP), com a
46 introdução do pastejo animal nas lavouras de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) + azevém
47 (*Lolium multiflorum* Lam.) cultivadas em sucessão às plantas produtoras de grãos no verão.

48 Este sistema permite o uso mais eficiente dos insumos agrícolas, da terra e dos recursos
49 naturais (HERRERO et al., 2010; KUNRATH et al., 2015), e tem resultado em significativo
50 aumento de renda dos produtores rurais, devido à maior produção de grãos, carne e leite por
51 área (CARVALHO et al., 2018a).

52 Porém, se manejada de forma incorreta, a ILP pode causar degradação do solo
53 (KUNRATH et al., 2015). O pastejo intensivo reduz a biomassa do pasto, o que resulta em
54 maior compactação, redução da infiltração de água e da aeração, aumento da erosão, aumento
55 da temperatura, redução da umidade, da disponibilidade de alimentos para os organismos do
56 solo e simplificação do seu habitat (SILVA et al., 2011; NEVES NETO et al., 2013). Por
57 outro lado, intensidades de pastejo muito reduzidas podem significar perda do potencial de
58 produção animal (CARVALHO et al., 2018a). Por isto, se faz necessário definir os limites de
59 intensidade de pastejo, de forma que seja possível equilibrar uma exploração agropecuária
60 economicamente viável e a manutenção/melhoria da qualidade do ambiente.

61 A biodiversidade do solo tem sido utilizada como indicadora das alterações ambientais
62 e da sustentabilidade da produção agrícola (GOULART, 2009; BARTZ et al., 2013;
63 MALHERBE; MARAIS, 2015). Os nematoides possuem alta diversidade e abundância no
64 solo (BONGERS; BONGERS, 1998; FREITAS et al., 2008), e a diversidade trófica destes
65 organismos abrange diferentes níveis da cadeia alimentar, incluindo guildas de parasitas de
66 plantas, bacteriófagos, micófagos predadores e onívoros (YEATES; BONGERS, 1999). Com
67 isto, os nematoides participam de diversos processos ecológicos, incluindo a decomposição da
68 matéria orgânica, mineralização e ciclagem de nutrientes, regulação do tamanho das
69 comunidades de microrganismos, controle biológico, etc (BONGERS; BONGERS, 1998;
70 WANG et al., 2018). Devido a sua importância ecológica e sensibilidade às alterações que
71 ocorrem no solo e na vegetação, as comunidades de nematoides têm sido utilizadas por

72 diversos autores para avaliar distúrbios, tais como o do pastejo nos ecossistemas (MILLS;
73 ADL, 2011; BRIAR et al., 2012; HU et al., 2015; WANG et al., 2018).

74 A ILP é um sistema que está presente em todo o mundo (GARRET et al., 2020) como
75 alternativa sustentável para a intensificação do uso das terras e como ferramenta estratégica
76 do esforço global de produzir alimentos para uma população estimada em 9 bilhões de
77 pessoas em 2050 (FAO, 2010). Diante de um cenário de intensificação agrícola, em que
78 pastagens naturais foram convertidas em cultivos agrícolas e posteriormente em sistemas de
79 ILP, este trabalho busca investigar as consequências dessas mudanças de uso da terra na
80 comunidade de nematoides de vida livre e dos fitoparasitas do solo. Três questões foram
81 abordadas com relação à comunidade de nematoides do solo: (1) qual o impacto da conversão
82 da pastagem natural em cultivo agrícola? (2) há alteração da comunidade de nematoides com
83 a introdução de animais em área agrícola? (3) a intensidade do pastejo afeta esta comunidade?
84 Além disto, este é o primeiro levantamento da comunidade de nematoides de vida livre do
85 solo da região subtropical do Brasil, uma das regiões com maior produção agropecuária do
86 mundo.

87

88 **2 Material e métodos**

89

90 **2.1 Sítio experimental e condução do experimento**

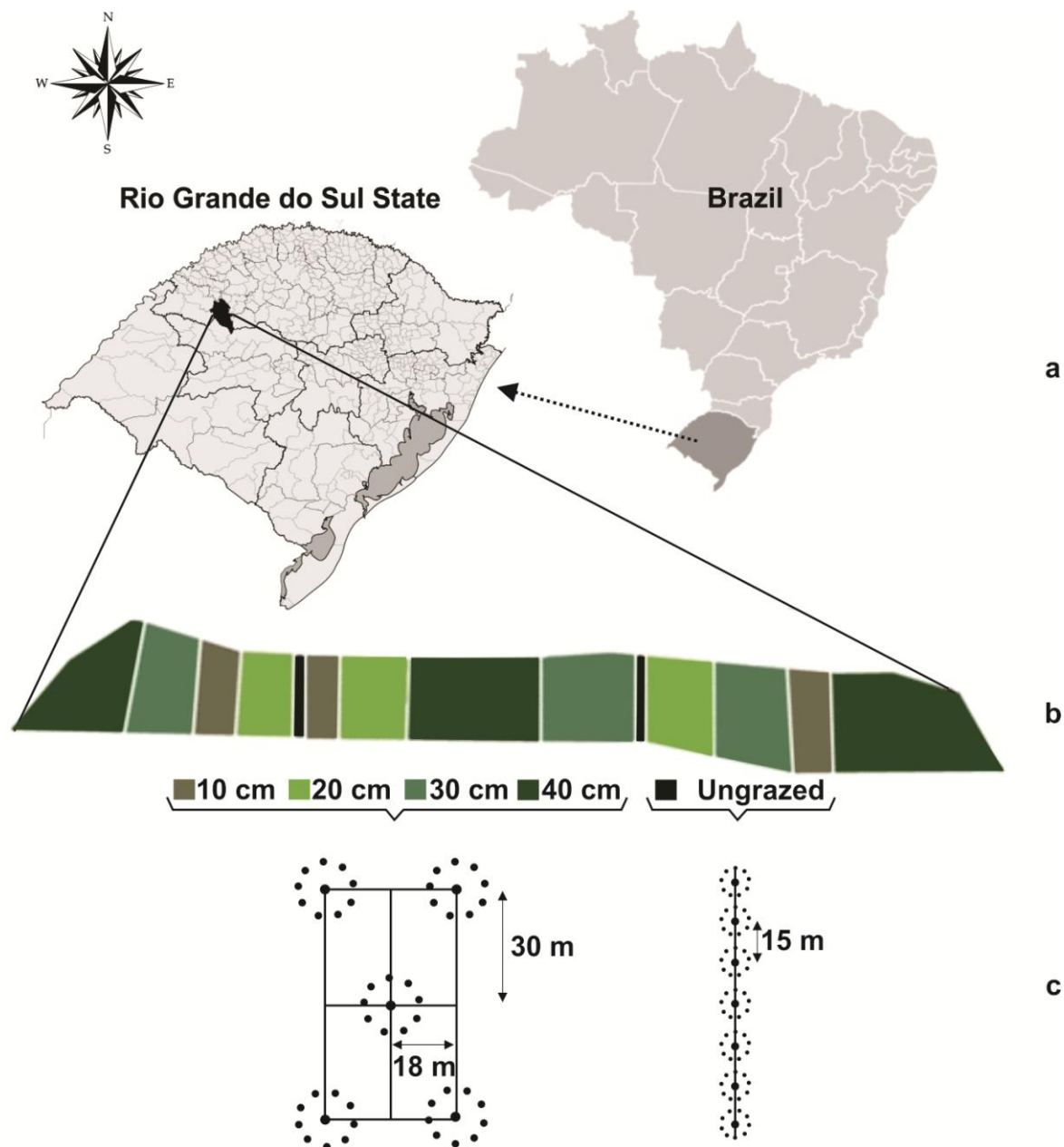
91

92 O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) está localizado em São Miguel das
93 Missões, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (28°56'18"S, 54°20'55"O, 465 m), com uma
94 área total de 22 ha. O clima é do tipo Cfa, com verão quente e úmido, com médias anuais de
95 19 °C de temperatura e 1.850 mm de precipitação. O solo é classificado como um Rhodic

96 Hapludox (Oxisol) (Soil Survey Staff, 2014) profundo, bem drenado e de textura argilosa
97 (540, 270 e 190 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente).

98 A área originalmente era ocupada por pastagem natural e durante décadas foi utilizada
99 para a criação de bovinos de corte. Em 1993 a área foi convertida em lavoura de plantio
100 direto para o cultivo da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] no verão e de aveia preta (*Avena*
101 *strigosa* Schreb) no inverno como planta de cobertura do solo para a produção de palha para o
102 plantio direto do verão. Em 2001 o sistema ILP foi instalado, e desde então a área é cultivada
103 continuamente sob plantio direto, com soja no verão (novembro a abril) para a produção de
104 grãos e aveia preta + azevém (*Lolium multiflorum* Lam .) no inverno (maio a outubro) para o
105 pastejo de bovinos. As práticas culturais foram realizadas de acordo com as recomendações
106 técnicas. Maiores detalhes sobre o sítio experimental podem ser encontrados em Kunrath et
107 al. (2015).

108 O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e três
109 repetições. Os tratamentos consistiram de uma pastagem natural (PN), uma área
110 exclusivamente agrícola (sem pastejo, SP) e um sistema ILP onde o pasto é mantido nas
111 alturas de 10, 20, 30 ou 40 cm (Figura 1). As parcelas dos tratamentos de ILP tinham áreas
112 que variavam entre 0,9 e 3,6 ha. Três novilhos (animais–teste com peso vivo inicial próximo a
113 200 kg) pastejaram cada parcela durante o inverno, sob pastoreio contínuo, resultando nas
114 diferentes alturas de pasto que eram monitoradas quinzenalmente. Quando necessário, ajustes
115 foram feitos na carga animal pelo uso de animais reguladores, no intuito de se manter a altura
116 do pasto nas metas pretendidas.



117

118 **Figura 1.** (a) Localização da área experimental no município de São Miguel das Missões, estado do Rio Grande
 119 do Sul, Brasil. (b) Disposição dos tratamentos com áreas de (esquerda para direita): 2.19 ha, 1.60 ha, 0.90 ha,
 120 1.32 ha, 0.10 ha, 0.86 ha, 1.31 ha, 2.87 ha, 2.10 ha, 0.10 ha, 1.49 ha, 1.89 ha, 1.07 ha, e 3.53 ha. (c) Esquema
 121 amostral com a disposição dos pontos de coleta nos tratamentos com pastejo (esquerda) e nas áreas sem pastejo
 122 (direita). Os círculos pretos são os locais de coleta das nove sub-amostras que formaram cada uma das amostras
 123 compostas. A pastagem natural (4 ha) está localizada a 960 m da área experimental e não consta na figura.

124

125 A pastagem natural (28°55'38"S, 54°20'05"O, 405m), que possui o mesmo tipo de
126 solo, é também pastejada por bovinos sob pastoreio contínuo. É utilizada com intensidades de
127 pastejo entre moderada e alta, com massa de forragem mais serrapilheira de aproximadamente
128 1,5 Mg de MS ha⁻¹. Este uso é representativo do que ocorria anteriormente à conversão do
129 pasto natural em agricultura. A composição botânica era assim representada: *Paspalum*
130 *notatum* Flüggé (40%), *Aristida jubata* (Arechav.) Herter (19%), *Eragrostis plana* Nees
131 (11%), *Baccharis trimera* (Less.) DC (10%), *Eryngium horridum* Malme (9%),
132 *Schizachyrium microstachyum* (Desv. ex Ham.) Roseng (4%), *Sporobolus indicus* (L.) R. Br.
133 (4%), *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk (1%) e *Panicum hians* Elliott (1%). Outras 19
134 espécies contribuíam com menos de 0,5% da massa de forragem.

135

136 **2.2 Coleta e análise do solo**

137

138 As coletas de solo para as análises nematológicas foram realizadas no florescimento da
139 da soja (cultivar VTOP RR) em 28/01/16 e da aveia preta (cultivar BRS 139) em 11/09/2016.
140 Tendo as rotações pasto-soja iniciadas em 2001, as amostras representaram 16 anos de efeito
141 cumulativo dos tratamentos. Em cada parcela foram coletadas cinco amostras compostas, nos
142 ângulos e no centro de um quadrado virtual de 36 x 60 m posicionado no centro das parcelas
143 (Figura 1). Na pastagem natural as amostras foram retiradas com o mesmo procedimento. Nas
144 áreas sem pastejo a coleta foi realizada em um único transecto com sete pontos, distantes 15m
145 entre si, em função das menores dimensões destas parcelas. Em um metro no entorno de cada
146 ponto de coleta foram retiradas 9 subamostras com auxílio de um trado calador, até 20 cm de
147 profundidade. As subamostras foram misturadas em um balde para formar uma amostra
148 composta de aproximadamente 900 cm³ de solo (CARES; HUANG, 2008). Os pontos de

149 coleta no verão e no inverno foram alocados nas mesmas coordenadas, determinadas por GPS
150 com erro máximo de 1 cm. As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e
151 em caixas de isopor com gelo para transporte ao laboratório, onde foram armazenadas a 4 °C
152 por no máximo uma semana até a realização das análises.

153 Os nematoides foram extraídos de 300 cm³ de solo pelo método de flotação centrífuga
154 em solução de sacarose (JENKINS, 1964). Posteriormente foram mortos em banho-maria a 55
155 °C por um minuto, fixados em solução de formalina a 4% (v/v) e concentrados em frascos de
156 30 mL. A abundância total de nematoides (N) foi determinada sob microscópio composto em
157 três alíquotas de 1 mL, perfazendo 15% do volume original da amostra. Após a contagem, as
158 suspensões foram infiltradas com glicerina (SEINHORST, 1959) e 100 espécimes de cada
159 amostra, tomadas ao acaso, foram utilizadas para montagem das lâminas de microscopia para
160 identificação em nível de gênero.

161 As amostras de solo e de cobertura vegetal foram coletadas nos mesmos pontos da
162 análise nematológica. As propriedades químicas e físicas do solo foram determinadas até a
163 profundidade de 20 cm na coleta de setembro de 2016. A umidade do solo nesta profundidade
164 e a cobertura vegetal foram determinadas em setembro de 2016 e em janeiro de 2017 (Tabela
165 1). Para a avaliação das propriedades químicas do solo foram coletadas amostras com trado
166 calador e determinados o pH (água 1:1), matéria orgânica (Walkley–Black), P disponível e K
167 trocável (Mehlich-1), Ca, Mg e Al trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹), CTC (potencial) e H+Al
168 (titulometria). Para a avaliação das propriedades físicas do solo foram coletadas amostras
169 indeformadas com anéis volumétricos e determinada a porosidade total, a macroporosidade, a
170 microporosidade em mesa de tensão (EMBRAPA, 2017), a densidade do solo (BLAKE;
171 HARTGE, 1986) e a umidade gravimétrica. As amostras de serapilheira e da parte aérea foram
172 coletadas em cinco pontos por parcela e secas em estufa de ventilação forçada a 65°C até

173 massa constante. Os dados de precipitação pluviométrica e temperatura do ar foram obtidos
174 da estação do Instituto Nacional de Meteorologia mais próxima da área experimental (56 km)
175 (Figura S1).

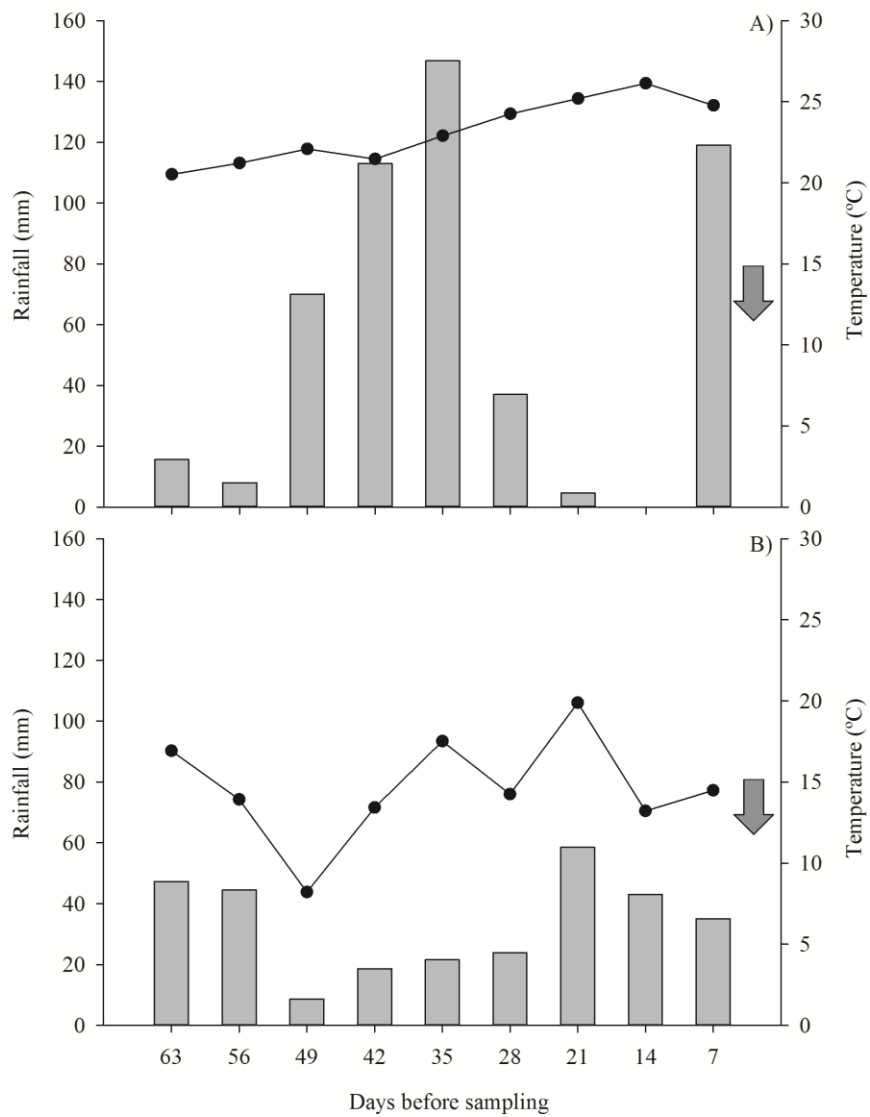
176

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas na camada de 0-20 cm e de cobertura vegetal do solo em uma pastagem natural (PN), em uma área agrícola (SP) e em um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) pastejado por bovinos no inverno com 10, 20, 30 ou 40 cm de altura de pastejo e cultivado com soja no verão. As coletas de solo foram realizadas no inverno (10/09/16) e para umidade gravimétrica, massa seca da parte área e da serapilheira no inverno e verão (29/01/17). Os dados são médias de 15 repetições por tratamento.

Trat.	pH	MO ¹ g Kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	CTC ² cmol _c dm ⁻³	Al	H+Al	Umidade		DS ³ g cm ⁻³	Pt ⁴	Ma ⁵ M ³ m ⁻³	Mi ⁶	MSPA ⁷ MSSE ⁸ MSPA MSSE			
										Inverno	Verão					Inverno	Verão		
PN	4,90	25,50	1,90	125,86	2,04	1,15	12,76	1,49	9,60	0,22	0,20	1,35	0,51	0,11	0,11	0,64	0,93	0,07	0,38
SP	4,32	34,30	12,62	183,00	3,39	1,43	16,14	1,47	10,86	0,22	0,21	1,29	0,53	0,11	0,11	12,43	1,77	1,52	6,66
ILP10	4,65	32,20	6,58	120,14	3,97	1,85	13,83	1,25	7,72	0,23	0,20	1,37	0,61	0,11	0,11	3,13	0,44	2,18	2,02
ILP20	4,83	33,10	7,68	161,74	4,63	2,20	14,03	0,89	6,79	0,24	0,32	1,36	0,52	0,09	0,09	4,92	0,77	1,97	2,71
ILP30	4,92	33,90	6,42	119,87	4,59	2,13	12,80	0,64	5,79	0,29	0,22	1,32	0,51	0,09	0,09	7,71	1,29	2,10	4,29
ILP40	4,75	33,75	8,68	145,30	4,26	1,85	14,04	0,79	7,56	0,22	0,20	1,31	0,52	0,10	0,10	11,48	1,90	2,04	5,44

¹Matéria orgânica; ²Capacidade de troca de cátions potencial; ³Densidade do solo; ⁴Porosidade total do solo; ⁵Macroporosidade; ⁶Microporosidade; ⁷Massa seca de parte área; ⁸Massa seca de serrapilheira.

185



186

187 Figura S1. Precipitação pluviométrica acumulada (barras) e temperatura média do ar (linhas) semanal dos 63
 188 dias antes das coletas (setas) do verão (A, realizada em 28/01/2016) e do inverno (B, realizada em 11/09/2016),
 189 observadas em uma estação meteorológica localizada a 56 km da área experimental.

190

191 2.3 Análise estatística

192

193 Foram calculadas a abundância absoluta total (N) dos táxons ocorrentes, número de
194 gêneros (S); estrutura trófica [bacteriófagos (BF), parasitas de plantas (PP), micófagos (FF),
195 predadores (PR) e onívoros (OM) (YEATES et al., 1993)]; índices de Simpson (Ds) e
196 Shannon-Weaver (H') (ELLIOT, 1990); e índices de distúrbio [índice de maturidade (IM) e
197 de parasitas de plantas (PPI) (BONGERS, 1990)]. Com base nas características biológicas e
198 ecológicas, as famílias de nematoides foram classificadas em escala c-p, variando de 1
199 (colonizadores) a 5 (persistentes) (BONGERS, 1990). Os valores obtidos foram
200 transformados para $\log(x+1)$ e comparados por análise de variância (ANOVA), seguida do
201 teste de Tukey, a 5% de probabilidade, calculado pelo programa SISVAR (FERREIRA,
202 2014). Os grupos tróficos e as propriedades físicas, químicas e de cobertura vegetal do solo
203 foram submetidas à análise de correlação de Pearson (com $p < 0,05$) utilizando o programa
204 Statistica 7.

205

206 **3 Resultados**

207

208 Foram identificados 27.739 nematoides, pertencentes a 25 famílias e 39 gêneros,
209 distribuídas entre os cinco principais grupos tróficos (PP, BF, FF, PR e OM) (Tabela 2). No
210 inverno, a maior abundância de nematoides na pastagem cultivada (ILP e SP) foi dos gêneros
211 *Helicotylenchus* Steiner, 1945 (PP, 42,34%), *Xiphinema* Cobb, 1913 (PP, 10,48%) e
212 *Mesorhabditis* Osche, 1952 (BF, 7,69%). Na pastagem natural (PN) os gêneros de maior
213 abundância foram *Helicotylenchus* (59,17%), *Discocriconemella* De Grisse; Loof, 1965 (PP,
214 20,82%) e *Dorylaimus* Dujardin, 1845 (OM, 10,26%). No verão, os gêneros mais abundantes
215 na soja (ILP e SP) foram *Helicotylenchus* (52,93%), *Tylenchus* Bastian, 1865 (PP, 8,82%) e
216 *Aporcelaimus* Thorne; Swanger, 1936 (OM, 8,10%). Já na pastagem natural a maior

217 abundância foi dos gêneros *Mesocriconema* Andrassy, 1965 (PP, 44,84%), *Helicotylenchus*
218 (38,13%) e *Discocriconemella* (5,68%). O gênero *Helicotylenchus* foi o táxon mais
219 representativo na área cultivada (SP e ILP), com 56,85% dos nematoides coletados em ambas
220 amostras de inverno e verão. Na pastagem natural os nematoides deste gênero também foram
221 dominantes no inverno, mas apresentaram redução em sua abundância, de aproximadamente
222 20% na coleta de verão. Nematoides dos gêneros *Discocriconemella* (PP) e *Mesocriconema*
223 (PP) foram abundantes na pastagem natural e encontrados exclusivamente neste ambiente.

Tabela 2. Famílias, gêneros, grupos tróficos e abundância de nematoides em 300 cm³ de solo de uma pastagem natural (PN), de uma área agrícola (SP) e de um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) pastejado por bovinos no inverno nas alturas de 10 (ILP10), 20 (ILP20), 30 (ILP30) ou 40 (ILP40) cm e cultivado com soja no verão.

Família/ Gênero	Grupo trófico ^a	Inverno						Verão						
		PN	Aveia preta+azevém				PN	Soja						
			SP	ILP10	ILP20	ILP30		ILP40	SP	ILP10	ILP20	ILP30	ILP40	
Actinolaimidae														
<i>Neoactinolaimus</i>	OM	-	-		2	-	-	-	8	7	2	7	16	
Aphelenchidae														
<i>Aphelenchus</i>	FF	-	-	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Aphelenchoididae														
<i>Aphelencooides</i>	FF	-	-	1	1	6	-	-	2	-	-	-	68	
Aporcelaimidae														
<i>Aporcelaimus</i>	OM	54	101	92	163	82	385	31	271	154	230	145	72	
Belonolaimidae														
<i>Tylenchorhynchus</i>	PP	8	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	
Campydoridae														
<i>Campydora</i>	OM	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
Carcharolaimidae														
<i>Caribenema</i>	OM	-	-	1	4	6	-	3	2	-	1	1	3	
Cephalobidae														
<i>Acroboloides</i>	BF	11	1	29	11	13	11	-	5	-	-	2	-	
<i>Pseudoacrobeles</i>	BF	5	26	42	22	24	31	4	4	10	18	12	37	
<i>Cephalobus</i>	BF	3	44	311	104	82	111	1	4	37	56	18	57	
<i>Eucephalobus</i>	BF	1	38	14	12	22	13	-	3	-	1	-	18	
<i>Metacrobeles</i>	BF	3	-	11	-	1	19	-	-	-	-	-	3	
<i>Acrobeles</i>	BF	38	34	97	65	54	54	14	28	20	177	91	160	
Criconematidae														
<i>Discocriconemella</i>	PP	613	-	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	
<i>Hemicycliophora</i>	PP	-	14	-	-	-	-	3	7	-	-	-	-	
<i>Mesocriconema</i>	PP	38	-	-	-	-	-	782	-	-	-	-	-	
Diplogasteridae														
<i>Diplogasteritus</i>	BF	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Butlerius</i>	BF	14	24	2	-	6	6	-	-	-	12	2	-	
<i>Diplogaster</i>	BF	-	6	-	-	-	2	-	-	3	-	6	43	
Diplogasteroididae														
<i>Rhabdontolaimus</i>	BF	-	-	-	-	1	8	-	-	-	2	-	-	
Dorylaimidae														
<i>Dorylaimus</i>	OM	302	132	139	92	208	329	40	133	143	135	117	283	
<i>Minidorylaimus</i>	OM	-	-	-	2	-	-	3	-	-	5	3	10	
Hoplolaimidae														
<i>Helicotylenchus</i>	PP	1742	1554	463	743	936	1546	665	1365	1732	1023	1056	526	
<i>Hoplolaimus</i>	PP	3	-	17	4	-	4	3	12	17	4	1	17	
Longidoridae														
<i>Xiphinema</i>	PP	15	333	115	111	154	585	12	259	43	40	49	28	
Lordellonematidae														
<i>Lordellonema</i>	OM	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
Meloidogynidae														
<i>Meloidogyne</i>	PP	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	
Mononchidae														
<i>Mononchus</i>	PR	30	54	38	93	116	184	5	85	110	168	68	69	
Panagrolaimidae														
<i>Panagrobelus</i>	BF	-	-	-	7	1	24	-	-	-	1	-	-	
<i>Panagrobelum</i>	BF	2	21	143	27	17	18	-	-	-	4	1	5	
<i>Panagrolaimus</i>	BF	3	68	181	41	22	132	1	1	-	12	2	16	
Pratylenchidae														
<i>Pratylenchus</i>	PP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	
Qudsianematidae														
<i>Eudorylaimus</i>	OM	3	14	39	35	22	36	-	222	32	8	14	115	
Rhabditidae														
<i>Rhabditis</i>	BF	-	8	-	-	-	17	7	-	-	4	-	-	
<i>Rhabditonema</i>	BF	-	-	35	2	-	44	-	-	-	5	-	-	
<i>Rhabditoides</i>	BF	-	-	-	-	-	12	-	5	-	-	-	-	
<i>Mesorhabditis</i>	BF	8	171	197	260	106	219	-	10	-	6	-	-	
Trichodoridae														
<i>Trichodorus</i>	PP	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	

Tylenchidae													
<i>Tylenchus</i>	PP	45	10	66	63	44	13	62	40	332	228	46	304
Tylopharyngidae													
<i>Aenigmenchus</i>	PP	-	-	-	10	19	-	-	-	-	4	-	-

^aYeates et al.(1993). PP= parasita de plantas; FF= micófagos; BF= bacteriófagos; PR= predadores; OM= onívoros. Dados são a média de 15 repetições por tratamento.

230 A conversão da pastagem natural (PN) em área exclusivamente agrícola (SP)
231 melhorou a estrutura da comunidade de nematoides (Tabela 3). No inverno, o cultivo do solo
232 com cobertura de aveia preta + azevém resultou em maior percentagem de nematoides
233 bacteriófagos e menor de parasitas de plantas ($p<0,05$). Por consequência, a pastagem
234 cultivada apresentou maior percentagem de nematoides c-p 1 e menor de c-p 3 ($p<0,05$). A
235 melhor condição da comunidade de nematoides da pastagem cultivada também pode ser
236 observada pelo maior valor de c-p 5. No verão, a comparação entre PN e SP equivale a
237 comparar a pastagem natural com a área exclusivamente agrícola (soja). O índice de
238 maturidade (IM), a percentagem de onívoros e a escala c-p 4 foram maiores no tratamento SP.
239 Novamente, a percentagem de c-p 3 foi maior no tratamento PN devido a maior percentagem
240 de parasitas de plantas na estrutura da cadeia trófica ($p<0,05$).

241 O impacto da intensificação do uso das terras pela introdução do animal em pastejo em
242 área exclusivamente agrícola pode ser observado pela comparação entre os tratamentos SP e
243 ILP (Tabela 3). No inverno, o pastejo dos bovinos resultou em melhorias no índice de
244 maturidade e na percentagem de onívoros, e redução da percentagem do c-p 3 em todas as
245 alturas de manejo ($p<0,05$). Já aumentos no índice de diversidade de Simpson, da
246 percentagem de bacteriófagos e do c-p 2, e reduções do IPP foram observadas somente nas
247 alturas de manejo de 10 e 20 cm em relação a área não pastejada (SP) ($p<0,05$). Com isto, sete
248 atributos da comunidade de nematoides apresentam melhor desempenho quando os bovinos
249 pastejaram a área. Somente a abundância de nematoides nas alturas de 10, 20 e 30 cm foi
250 reduzida pelo pastejo. No verão, todos os tratamentos SP e ILP são cultivados com soja, desta
251 forma os efeitos do pastejo do inverno na comunidade de nematoides são minimizados e por
252 isto as diferenças entre os tratamentos foram menores. Destaca-se que nas parcelas pastejadas
253 no inverno nas alturas de 10 e 20 cm, o solo da cultura da soja apresentou menores
254 percentagens de parasitas de plantas na cadeia trófica.

255 A altura de manejo alterou a comunidade de nematoides do solo (Tabela 3). No
256 inverno, a redução da intensidade do pastejo resultou em maior abundância de nematoides no
257 solo (o ILP40 apresentou 93% mais indivíduos que a média dos demais tratamentos da ILP),
258 maiores valores de c-p 5 ($p<0,05$) e menor percentagem de parasitas de plantas na cadeia
259 trófica. Por outro lado, o aumento da intensidade do pastejo resultou em maiores valores de
260 diversidade de Shannon, maiores percentagens de bacteriófagos e de fungívoros na cadeia
261 trófica, o que consequentemente resultou em maior percentagem de c-p 2 ($p<0,05$). Porém, o

262 tratamento ILP10 registrou aumento da porcentagem de parasitas de plantas na cadeia trófica,
263 ainda que o IPP tenha sido menor ($p<0,05$).

264 As alterações causadas pelo aumento da intensidade do pastejo no inverno refletiram-
265 se na comunidade de nematoides da soja cultivada no verão (Tabela 3). O tratamento ILP10
266 apresentou os piores atributos se comparados às demais alturas de manejo. Neste tratamento
267 quantificaram-se os menores índices de diversidade de Simpson, Shannon, de maturidade e
268 porcentagem de predadores na cadeia trófica, bem como o maior índice de parasita de planta e
269 a maior porcentagem de nematoides na escala c-p 3 ($p<0,05$), ainda que neste tratamento
270 tenha se observado as menores porcentagens de parasitas de planta na cadeia trófica. Por outro
271 lado, o tratamento ILP20 destacou-se positivamente dos demais tratamentos por apresentar os
272 melhores índices de diversidade de Simpson, Shannon e de maturidade; maior porcentagem
273 de predadores, o que resultou em maior porcentagem de c-p 2 e menor c-p 3 na comunidade.
274 Além disto, apresentou o menor índice de parasitas de plantas ($p<0,05$).

275 A estação do ano modifica a comunidade de nematoides no solo (Tabela 3). Na
276 pastagem natural, onde não há alteração da vegetação entre as épocas do ano, maior
277 abundância, porcentagem de onívoros e de nematoides do grupo c-p 4 foi quantificada no
278 inverno ($p<0,05$). A comparação entre as épocas do ano para os tratamentos SP e ILP permite
279 confrontar a comunidade de nematoides da pastagem cultivada (inverno) com a da soja
280 (verão). Diversos atributos apresentaram melhor desempenho na fase pastagem, destacando-se
281 maior riqueza, índices de diversidade, porcentagem de bacteriófagos na estrutura trófica e, por
282 consequência, maior porcentagem de nematoides c-p 1 ($p<0,05$). Além disto, a pastagem
283 apresentou menor índice de parasitas de plantas em dois tratamentos, o que resultou em
284 menor porcentagem de nematoides c-p 3 ($p<0,05$), mas apresentou maior porcentagem de
285 fitoparasitas na estrutura trófica em três tratamentos.

286

Tabela 3. Atributos da descrição faunal, índices de distúrbio, estrutura trófica e escala colonizador-persistente (c-p) dos nematoides do solo de uma pastagem natural (PN), de uma área agrícola (SP) e de um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) pastejado por bovinos no inverno nas alturas de 10, 20, 30 ou 40 cm e cultivado com soja no verão.

Tratamento	Descrição faunal				Índices de Distúrbio		Estrutura trófica (%)					Escala c-p (%)				
	N	S	Ds	H'	IM	IPP	BF	PP	FF	PR	OM	c-p 1	c-p 2	c-p 3	c-p 4	c-p 5
INVERNO																
PN	2946.56* abA**	7.60 bA	0.54 cA	1.11 cA	0.63 cA	2.49 aA	2.73 dA	93.33 aA	0.00 bA	1.47 bA	12.73 aA	0.73 cA	3.40 dA	81.33 aA	11.53 aA	3.13 cA
SP	2675.61 abA	10.07 abA	0.61 bcA	1.45 bcA	0.72 bcB	2.34 aA	18.86 cA	69.21 bcA	0.00 bA	2.36 abA	8.85 aB	13.14 abA	6.36 cdA	56.79 bA	6.42 aB	17.14 bA
ILP10	2087.08 bA	10.93 aA	0.79 aA	1.95 aA	1.42 aA	1.17 cB	46.33 aA	80.80 abA	1.93 aA	2.13 abA	13.40 aA	21.26 abA	30.00 aA	27.47 dB	8.73 aA	12.47 bcA
ILP20	1871.92 bA	11.47 aA	0.75 aA	1.79 abA	1.41 aA	1.38 bcA	34.87 abA	58.07 cA	0.07 bA	5.80 aA	15.53 aA	21.67 abA	16.27 bA	36.07 cdA	7.13 aB	18.93 bA
ILP30	1944.58 bA	11.13 aA	0.69 abA	1.65 abA	1.19 abA	1.83 abcB	23.20 bcA	72.20 bcA	0.40 bA	5.27 abA	14.53 aA	11.27 bA	14.47 bcA	46.27 bcdB	10.67 aA	17.20 bA
ILP40	3803.90 aA	9.40 abA	0.70 abA	1.58 abA	1.30 aA	1.92 aA	24.60 bcA	65.20 bcA	0.00 bA	4.40 abA	17.87 aA	16.93 abA	7.93 bcdB	37.00 cdB	8.60 aA	29.53 aA
VERÃO																
PN	1749.22 aB	7.93 aA	0.55 abA	1.13 bA	0.24 cA	2.78 aA	1.73 aA	83.20 aA	0.00 aA	0.27 bA	4.67 cB	0.46 aA	5.00 cA	89.60 aA	3.07 bB	1.87 bA
SP	2450.00 aA	7.50 aB	0.57 abA	1.24 abA	1.25 abA	2.23 abA	3.14 aB	69.93 abA	0.00 aA	3.36 bA	24.29 aA	0.42 aB	5.07 cA	66.86 bA	18.21 aA	9.43 abB
ILP10	2644.00 aA	7.47 aB	0.47 bB	1.03 bB	0.76 bcB	2.37 bA	2.80 aB	36.27 dB	0.07 aB	3.60 bA	12.73 bcA	0.07 aB	12.73 abcB	70.87 bA	11.13 abA	5.20 abB
ILP20	2146.00 aA	9.53 aB	0.69 aA	1.57 aA	1.50 aA	1.68 cA	13.73 aB	43.80 cdB	0.00 aA	8.20 aA	20.07 abA	2.47 aB	21.07 aA	48.27 cA	15.87 aA	12.40 aA
ILP30	1640.66 aA	8.47 aB	0.51 abB	1.17 abB	1.05 abA	2.24 bA	7.27 aB	56.40 bcB	0.00 aA	4.00 abA	16.53 abA	1.07 aB	8.80 bcA	69.60 bA	11.53 aA	9.00 abB
ILP40	2029.33 aB	9.27 aA	0.58 abB	1.33 abA	1.17 abA	1.94 bcA	12.80 aB	53.26 bcdA	0.73 aA	2.73 bA	18.53 abA	2.20 aB	16.80 abA	59.80 bcA	13.53 aA	7.67 abB

N= Abundância total; S= Número de gêneros; Ds = Índice de diversidade de Simpson; H' = Índice de diversidade de Shannon-Weaver; IM = Índice de maturidade; IPP = Índice de parasitas de plantas;

BF= Bacteriófagos; PP= Parasitas de plantas; FF= Micófitos; PR= Predadores; OM= Onívoros. *Resultados da ANOVA unidirecional para todos os índices univariados utilizados neste estudo.

**Médias seguidas de mesma letra minúscula (coluna) não diferem significativamente entre os tratamentos na mesma época de coleta (inverno ou verão), pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas de mesma letra maiúscula (coluna) não diferem significativamente entre os mesmos tratamentos em diferentes épocas de coleta (comparação inverno x verão), pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

296 O resultado da análise de correlação de Pearson demonstra que os grupos tróficos
297 apresentaram correlação fraca ($<0,39$) ou moderada ($0,4 - 0,69$) com as propriedades do solo
298 (DANCEY; REIDY, 2004) (Tabela 4). No inverno, os bacteriófagos correlacionaram-se
299 negativamente com a massa seca da serapilheira ($p=0.037$) e com a acidez potencial (H+Al)
300 ($p=0.045$). Este comportamento pode ser consequência da elevada percentagem de
301 bacteriófagos na estrutura trófica dos tratamentos ILP10 e ILP20. A acidez potencial (H+Al)
302 foi maior nos tratamentos PN e SP, onde há menor, ou não há, deposição de esterco, e
303 provavelmente menor biomassa bacteriana, o que resultou em menor abundância de
304 nematoides bacteriófagos. Os nematoides parasitas de plantas foram mais abundantes na PN,
305 que é o tratamento que apresenta as piores propriedades químicas do solo. Por isto, estes
306 nematoides correlacionaram-se positivamente com Al ($p=0.03$) e H+Al ($p=0.01$), e
307 negativamente com os teores de Ca ($p=0.015$), Mg ($p=0.01$) e CTC ($p=0.03$). Os predadores
308 foram menos abundantes nos tratamentos PN e SP, por isso também se correlacionaram
309 negativamente com o H+Al ($p=0.045$). No verão destaca-se a correlação fraca e negativa dos
310 bacteriófagos com o pH ($p=0.03$) e teor de P ($p=0.03$), e positiva com a densidade do solo
311 ($p=0.05$). Isto pode ser consequência do ILP10 apresentar o menor teor de P entre os
312 tratamentos da área cultivada, e a maior densidade do solo, ao mesmo tempo que possui a
313 maior percentagem de bacteriófagos na estrutura trófica. Os onívoros correlacionaram-se
314 positivamente com a microporosidade ($p=0.05$) devido a maior abundância destes nematoides
315 nas maiores alturas de manejo. Os nematoides micófagos apresentaram correlações
316 significativas e moderadas com algumas propriedades do solo, porém, sua abundância foi
317 muito baixa, o que compromete a interpretação dos dados.

318

Tabela 4. Correlação de Person entre os grupos tróficos de nematoides e as propriedades químicas, físicas e de cobertura vegetal do solo, em uma pastagem natural, em uma área agrícola e em um sistema de integração lavoura-pecuária pastejado por bovinos no inverno nas alturas de 10, 20, 30 ou 40 cm e cultivado com soja no verão. Os dados referem-se a três repetições por tratamento.

Grupos tróficos	pH	MO ¹	P	K	Ca	Mg	CTC ²	Al	H+Al	Umidade	DS ³	PT ⁴	Ma ⁵	Mi ⁶	MSPA ⁷	MSSE ⁸
	INVERNO															
Bacteriófagos	-0.05	0.04	-0.04	-0.12	0.25	0.25	-0.15	-0.07	-0.28*	0.06	0.08	0.01	0.01	0.03	-0.25	-0.29*
Micófagos	-0.03	0.61	0.02	-0.06	0.2	0.19	0.16	-0.05	-0.06	0.12	0.18	-0.08	-0.13	0.08	0	-0.06
Parasitas de plantas	0.06	0.03	0.09	0.07	-0.34*	-0.38*	0.30*	0.30*	0.47*	0.03	-0.15	0.02	0	-0.04	0.01	0.1
Onívoros	-0.01	-0.09	0.06	0.13	0.1	0.2	-0.07	-0.19	-0.13	-0.1	-0.12	0.18	0.29*	-0.04	0.02	-0.01
Predadores	-0.01	-0.05	-0.16	0.05	0.11	0.22	-0.15	-0.25	-0.28*	-0.28*	0.04	0.15	0.16	0.05	0	-0.03
VERÃO																
Bacteriófagos	-0.29*	-0.25	-0.29*	-0.05	-0.25	-0.25	-0.24	-0.24	-0.24	-0.14	0.27*	-0.23	-0.21	-0.03	0.22	0.06
Micófagos	-0.1	-0.1	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.03	0.44*	-0.45*	-0.09	-0.44*	0.19	-0.02
Parasitas de plantas	0.13	0	0.13	0.1	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	0.03	-0.14	0.13	0.19	-0.13	-0.12	0.14
Onívoros	0.01	0.16	0.01	-0.09	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.05	-0.01	0.04	-0.12	0.27*	-0.03	-0.15
Predadores	-0.12	-0.03	-0.12	-0.1	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.05	0.17	-0.27*	-0.13	-0.13	0.29	-0.33

¹Materia orgânica; ²Capacidade de troca de cátions; ³Densidade do solo; ⁴Porosidade total; ⁵Macroporosidade; ⁶Microporosidade; ⁷Massa seca de parte aérea; ⁸Massa seca de serrapilheira.

324 **4 Discussão**

325 As famílias Criconematidae e Hoplolaimidae dominaram a comunidade de nematoides
326 do solo da pastagem natural. Os nematoides da Criconematidae, representada principalmente
327 pelos gêneros *Discocriconemella* e *Mesocriconema*, são fitoparasitas muito sensíveis a
328 distúrbios ambientais e suas populações são favorecidas em solos com cobertura vegetal
329 permanente, condição encontrada na pastagem natural (TOMAZINI et al., 2008). Os
330 nematoides dessa família têm sido utilizados como táxons-chave na diferenciação do grau de
331 antropização dos agroecossistemas. Não por acaso, a conversão da pastagem natural em
332 cultivo agrícola reduziu sua abundância. Resultados semelhantes foram encontrados por
333 Cardoso et al. (2015) em fragmentos florestais nativos, e por Caixeta et al. (2016) em floresta
334 tropical e em áreas de recuperação ambiental.

335 A família Hoplolaimidae, representada principalmente por nematoides do gênero
336 *Helicotylenchus*, foi dominante na pastagem natural no inverno e na área cultivada (ILP e SP)
337 no verão e no inverno. As altas populações desse fitonematoide têm sido relatadas em
338 sistemas agrícolas e também em ecossistemas naturais (KIRSCH et al., 2016; WANG et al.,
339 2018). Esses nematoides se adaptam aos cultivos anuais, principalmente à monocultura, e são
340 considerados parasitas secundários da soja (SANTIAGO et al., 2012). Ocorrem sempre
341 associados a outros fitonematoides e são responsáveis por facilitar a entrada de fungos e
342 bactérias no tecido vegetal, devido aos ferimentos causados nas raízes (MATTOS et al.,
343 2008). Um dos fatores que pode ter contribuído para a elevada abundância de *Helicotylenchus*
344 spp. neste estudo são os altos teores de argila no solo (540 g kg⁻¹), conforme relatado na
345 avaliação dos níveis de intervenção humana e de degradação do solo no bioma Caatinga
346 (Brasil) (RAMOS et al., 2010).

347 Apenas dois gêneros de nematoides micófagos (*Aphelenchus* e *Aphelencooides*) foram
348 encontrados, em baixa abundância e exclusivamente na ILP. Overstreet et al. (2010) também
349 relataram baixa ocorrência de nematoides micófagos em diversos sistemas de manejo do solo.
350 Esse resultado indica que a decomposição da matéria orgânica nos solos estudados foi
351 realizada predominantemente por bactérias, comprovada pela elevada ocorrência de
352 nematoides bacteriófagos, representados na escala c-p 1 e 2. A importância de nematoides
353 bacteriófagos e micófagos tende a aumentar em ambientes pastoris, os quais podem se
354 correlacionar negativamente no solo (WARDLE et al., 1999).

355 A conversão da pastagem natural em área exclusivamente agrícola melhorou diversos
356 atributos das comunidades dos nematoides do solo (índice de maturidade, percentagem de
357 bacteriófagos e onívoros, percentagem na escala c-p 1, c-p 4 e c-p 3), com destaque para a
358 redução de parasitas de plantas. Este resultado não é comum na literatura (Asiedu et al., 2019;
359 Da Silva; 2020), pois a conversão de um ecossistema natural em lavoura tende a prejudicar as
360 comunidades de nematoides de vida livre devido a redução da qualidade do solo e da
361 diversidade vegetal, além de favorecer a abundância de fitonematoides. Porém, na região
362 subtropical do Brasil é comumente observado o manejo inadequado da pastagem natural,
363 devido ao excesso de carga animal (CARVALHO; BATELLO, 2009). O excesso de pastejo
364 resulta em baixa biomassa de plantas e de serapilheira, redução do teor de matéria orgânica,
365 solo descoberto e compactado. Além disto, estas pastagens naturais não são adubadas, o que
366 resulta em baixo crescimento vegetal.

367 Na primeira fase do processo de intensificação dos usos das terras na região sul do
368 Brasil, as áreas com pastagens naturais foram convertidas em áreas exclusivamente agrícolas,
369 utilizadas economicamente somente para o cultivo da soja. O restante do ano é feito o cultivo
370 da aveia preta (com ou sem azevém), que é destinado somente para cobertura de solo e

371 produção de palha para o plantio direto do verão. Sob plantio direto e rotação de gramíneas de
372 inverno e soja no verão, o cultivo agrícola resultou em melhoria do solo comparado a
373 pastagem natural mau manejada, sem adubação e com excesso de animais. Já as áreas
374 agrícolas foram adubadas adequadamente e grande quantidade de biomassa foi adicionada ao
375 solo pelo cultivo da aveia no inverno, o que resultou em melhoria da qualidade do solo. Por
376 isto, as comunidades de nematoides melhoraram diversos atributos quando a pastagem natural
377 foi convertida em cultivo agrícola. Neste contexto particular, outros estudos também
378 encontraram resultados semelhantes. Mondino et al. (2009) e Caixeta et al. (2016) relataram
379 maior abundância de nematoides em sistemas agrícolas, em comparação com a vegetação
380 nativa.

381 Enquanto a primeira fase de intensificação desconsiderou os animais das áreas
382 agrícolas, uma nova fase da intensificação do uso dessas terras vem sendo a introdução da
383 pecuária nas áreas até então utilizadas exclusivamente para a agricultura. Os dados deste
384 trabalho confirmam que a presença do animal em pastejo favoreceu a comunidade de
385 nematoides do solo (maior índice de diversidade de Simpson e de maturidade, percentagem de
386 bacteriófagos, onívoros e de c-p 2, e reduções do IPP, da percentagem de parasitas de plantas
387 e c-p 3 na cadeia trófica). Em especial no inverno, a introdução da ILP melhorou diversos
388 atributos da comunidade de nematoides do solo. No verão, as diferenças entre tratamentos
389 foram menores, pois tanto o sistema exclusivamente agrícola quanto a ILP foram cultivadas
390 com soja. Os benefícios do pastejo para as comunidades de nematoides no solo também foram
391 observados por Hu et al. (2015) e Wang et al. (2018) no planalto tibetano. Estas respostas são
392 consequência de uma nova cadeia trófica que se adiciona ao agroecossistema, se
393 considerarmos que os animais em pastejo sejam herbívoros vertebrados, consumidores
394 heterotróficos, que imprimem uma complexa gama de alterações diretas e indiretas impostas

395 nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, na biomassa viva e morta de plantas,
396 nas rizodeposições, pela adição do esterco e da urina ao solo, modificando significativamente
397 o habitat dos nematoides. Destaca-se a presença do esterco bovino no solo e o aumento da
398 atividade rizosférica, pois a moderada remoção da biomassa aérea pelo pastejo e a posterior
399 rebrota do pasto resulta em maior taxa de crescimento radicular e de rizodeposição
400 (CARVALHO et al., 2018a). A presença do esterco e a maior rizodeposição estimulam as
401 comunidades de micro, meso e macrorganismos do solo, o que resulta em maior
402 disponibilidade de presas e de predadores para os nematoides do solo, alterando diversos
403 aspectos da sua comunidade (ZHONG et al., 2016). Da mesma forma, a presença de ácidos
404 orgânicos, oriundos das rizodeposições, contribuem para a modificação da comunidade de
405 nematoides do solo (YEON et al., 2019).

406 O aumento da intensidade do pastejo na ILP, no inverno, alterou a comunidade de
407 nematoides do solo da pastagem e da soja cultivada em sucessão. No inverno, alguns atributos
408 da comunidade dos nematoides do solo apresentaram melhor desempenho nas maiores alturas
409 de manejo (maior abundância, valores de c-p 5 e menor percentagem de parasitas de plantas
410 na cadeia trófica), enquanto outros melhoraram nas menores alturas de manejo (maior índice
411 de diversidade de Shannon, percentagem de bacteriófagos, de fungívoros e de c-p 2 na cadeia
412 trófica). O aumento da intensidade do pastejo pode ter melhorado estes atributos em
413 consequência da maior produção de esterco, na medida em que haja mais animais por unidade
414 de área nas intensidades de pastejo maiores. Da Silva et al. (2014) registraram que a produção
415 de esterco durante o ciclo da pastagem para os tratamentos de 10, 20, 30 e 40 cm de altura de
416 manejo foi de 669, 478, 366 e 213 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Nas menores alturas, a maior
417 deposição de esterco devido ao pastejo intenso pode estimular as populações de nematoides
418 bacteriófagos, pela maior disponibilidade de bactérias. Por isto, verificou-se nas menores

419 alturas de manejo uma alta abundância de bacteriófagos das famílias colonizadoras de
420 enriquecimento Cephalobidae e Rhabditidae, pertencentes a escala c-p 1 e c-p 2 (FERRIS;
421 BONGERS, 2009). Mills e Adl (2011) também encontraram maior número de nematoides
422 dessas famílias em áreas sob pastejo no planalto tibetano.

423 Já no verão, a menor altura de manejo apresentou os piores atributos da comunidade
424 nematoides do solo (menores índices de diversidade de Simpson, Shannon, de maturidade e
425 percentagem de predadores, e maior percentagem de nematoides na escala c-p 3 na cadeia
426 trófica), incluindo maior percentagem de nematoides parasitas de plantas. A biomassa de
427 plantas vivas e mortas no tratamento ILP10, ao final do ciclo de uso da pastagem e que serviu
428 de cobertura do solo para o plantio direto do verão, foi de somente 3,57 Mg ha⁻¹, inferior às 5
429 Mg ha⁻¹ recomendadas pelas boas práticas. Além disto, o solo encontrava-se compactado na
430 superfície (não detectado na Tabela 1, pois é apresentada a média de 0-20 cm), com áreas de
431 solo descoberto, o que resulta em condições físicas, químicas e biológicas inadequadas para a
432 comunidade de nematoides. Essas condições também causam estresse às plantas, que resulta
433 em maior suscetibilidade aos nematoides fitoparasitas (SILVA et al., 2018). Por outro lado, o
434 tratamento com 20 cm de altura de manejo apresentou desempenho destacado em diversos
435 atributos no verão (maiores índices de diversidade de Simpson, Shannon e de maturidade,
436 percentagem de predadores e maior c-p 2; menor índice de parasita de planta e c-p 3). Os
437 resultados convergem com a literatura, que reconhece a intensidade de pastejo moderada
438 como precursora de vários efeitos positivos nos compartimentos solo-planta-animal (Kunrath
439 et al., 2019; Souza Filho et al., 2019; Carvalho et al., 2018b).

440 Na integração lavoura-pecuária, o ciclo da pastagem melhora diversos atributos da
441 comunidade de nematoides do solo em relação ao cultivo da soja (maior riqueza, índices de
442 diversidade, percentagem de bacteriófagos e de c-p 1 na estrutura trófica). Na soja, o uso de

443 fertilizantes e defensivos químicos é muito intenso, o tráfego de máquinas é frequente e
444 somente um tipo de resíduo orgânico é disponibilizado para os organismos do solo. Já na
445 pastagem não são utilizados defensivos, não há tráfego de máquinas e a diversidade de
446 resíduos orgânicos é maior (palha da aveia preta e do azevém, esterco e urina dos bovinos).
447 Além disto, as cultivares de soja utilizadas são suscetíveis aos nematoides fitoparasitas,
448 enquanto a aveia-preta e o azevém não são bons hospedeiros (BORGES et al., 2010;
449 GABRIEL et al., 2018). Devido à elevada sensibilidade da comunidade de nematoides a estes
450 fatores, o cultivo do pasto pode também ser compreendido como uma prática que atenua o
451 crescimento da população de nematoides fitoparasitas da soja, e estimula os de vida livre.

452 Os resultados deste trabalho indicam que mesmo em sistemas que utilizam as terras de
453 forma intensiva, porém com diversidade de culturas como a integração lavoura-pecuária, é
454 possível adotar práticas de manejo que resultam em melhoria das propriedades do solo e de
455 cobertura vegetal, e por consequência na melhoria da estrutura das comunidades de
456 nematoides. As associações positivas entre as comunidades de nematoides e o ambiente
457 edáfico já foram evidenciados por diversos autores (FREITAS et al. 2008; RAMOS et al.,
458 2010; MATOS et al., 2011). Após 15 anos de pesquisa nesta área experimental, constatou-se
459 que a média de produtividade da soja apresenta pouca variação entre os tratamentos, sendo de
460 2,9; 2,9; 2,8; 3,1 e 3,0 t ha⁻¹ nas alturas de manejo de 10, 20, 30, 40 cm e na área
461 exclusivamente agrícola (SP), respectivamente. Porém, a produtividade de carne varia
462 bastante entre os tratamentos, sendo de aproximadamente 510, 428, 311, 183 e 0 kg de peso
463 vivo ha⁻¹ nestes mesmos tratamentos, respectivamente (NUNES et al., 2020). Assim, o
464 manejo realizado a 20 cm gera condições ambientais favoráveis tanto para a maior
465 produtividade agrícola quanto pecuária, e ainda melhora diversos atributos da comunidade de
466 nematoides do solo no verão e no inverno. Com isto, os diversos serviços ecossistêmicos

467 realizados pelos nematoides de vida livre, como o controle das populações de
468 microrganismos, a ciclagem de nutrientes e o controle biológico (ZHONG et al., 2016),
469 ocorrem em maior magnitude, o que resulta em mais benefícios ao agroecossistema, maior
470 produtividade agropecuária e menor necessidade de utilização de fertilizantes e defensivos
471 sintéticos.

472

473 **5 Conclusões**

474 Devido ao estágio de degradação da pastagem natural, sua conversão em área
475 exclusivamente agrícola melhora a comunidade de nematoides do solo. A introdução da
476 integração lavoura-pecuária em área exclusivamente agrícola também favorece a comunidade
477 de nematoides do solo. O aumento da intensidade do pastejo na ILP altera a comunidade de
478 nematoides do solo, com melhoria de alguns e prejuízo a outros atributos na estação de
479 inverno. Porém, no verão a comunidade de nematoides do solo é prejudicada pelo pastejo
480 intenso, no manejo realizado a 10 cm de altura no inverno. Já a altura de manejo de 20 cm
481 resulta na melhor condição da comunidade de nematoides do solo desta ILP.

482

483 **Agradecimentos**

484

485 Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
486 Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior
487 (CAPES) - Código Financeiro 001, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio
488 Grande do Sul (FAPERGS) e à Fundação AGRISUS - Agricultura Sustentável pelas bolsas de
489 estudos e apoio financeiro. Também agradecem aos integrantes do Laboratório de Biologia
490 do Solo da Universidade Federal de Santa Maria pelo envolvimento neste trabalho, ao

491 GPSIPA/UFRGS pela condução do experimento de ILP, à Agropecuária Cerro Coroadó pela
492 área experimental e apoio nas coletas das amostras.

493

494 **REFERÊNCIAS**

495

496 Asiedu, O., Kwoseh, C.K., Melakeberhan, H., Adjei-Gyapong, T., 2019. Nematode
497 distribution in cultivated and undisturbed soils of Guinea Savannah and Semi-deciduous
498 Forest zones of Ghana. *Geoscience Frontiers* 10, 381-387.

499 Bartz, M.L.C., Pasini, A., Brown, G.G., 2013. Earthworms as soil quality indicators in
500 Brazilian no-tillage systems. *Applied Soil Ecology* 69, 39-48.

501 Bongers, T., 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance
502 based on nematode species composition. *Oecologia* 83, 14-19.

503 Bongers, T.; Bongers, M., 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10,
504 239-251.

505 Borges, D.C., Machado, A.C.Z., Inomoto, M.M., 2010. Reação de aveias a *Pratylenchus*
506 *brachyurus*. *Tropical Plant Pathology* 35, 178-181.

507 Blake, G.R; Hartge, K.H., 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*,
508 Part 1. Physical and Mineralogical Methods. ASA/SSSA, Madison, pp.363-382.

509 Briar, S.S., Culman, S.W., Young-Mathews, A., Jackson, L.E., Ferris, H., 2012. Nematode
510 community responses to a moisture gradient and grazing along a restored riparian corridor.
511 *European Journal of Soil Biology* 50, 32-38.

512 Caixeta, L.B., Pereira, T.J.P., Castañeda, N.E.N., Cares, J.E., 2016. Nematode communities as
513 indicators of the status of a soil ecosystem influenced by mining practices in Brazil.
514 *Nematology* 18, 265-276.

- 515 Cares, J.E., Huang, S.P., 2008. Soil nematodes. In: Moreira, F.M.S., Huising, E.J., Bignell,
516 D.E. (Eds), *Sampling and Characterization of Below ground Biodiversity*. Earthscan, London,
517 pp. 97-106.
- 518 Carvalho, P.C.F., Batello, C., 2009. Access to land, livestock production and ecosystem
519 conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. *Livestock*
520 *Science* 120, 158-162.
- 521 Carvalho, P.C.D.F., Barro, R.S., Barth Neto, A., Nunes, P.A.D.A., Moraes, A.D., Anghinoni,
522 I., Bredemeier, C., Bayer, C., Martins, A.P., Kunrath, T.R., Santos, D.T., Carmona, F.C.,
523 Barros, T., Filho, W.S., Almeida, G.M., Caetano, L.A.M., Cecagno, D., Arnuti, F., Denardin,
524 L.G.O., Bonetti, J.A., Toni, C.A.G., Moraes, J.B., 2018a. Integrating the pastoral component
525 in agricultural systems. *Revista Brasileira de Zootecnia* 47, 1-12.
- 526 Carvalho, P.C.D.F., Peterson, C.A., Nunes, P.A.D.A., Martins, A.P., de Souza Filho, W.,
527 Bertolazi, V.T., Kunrath, T.R., De Moraes, A., Anghinoni, I., 2018b. Animal production and
528 soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification.
529 *Journal of Animal Science* 96, 3513-3525.
- 530 CONAB, 2019. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira
531 de grãos, 1-109.
- 532 Cardoso, M.O., Pedrosa, E.M.R., Ferris, H., Rolim, M.M., Vicente, T.F., David, M.F.L.,
533 2015. Comparing sugarcane fields and forest fragments: The effect of disturbance on soil
534 physical properties and nematode assemblages. *Soil Use and Management* 31, 397-407.
- 535 Dancey, C.; Reidy, J., 2004. *Statistics without maths for psychology: using SPSS for*
536 *windows*. London: Prentice Hall.
- 537 Da Silva, F.D., Amado, T.J.C., Ferreira, A.O., Assmann, J.M., Anghinoni, I., Carvalho P.C.de
538 F., 2014. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production

- 539 with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and*
540 *Environment* 190, 60-69.
- 541 Da Silva, V.C.L., Hirschfeld, M.N.C., Cares, J.E., Esteves, A.M., 2020. Land use, soil
542 properties and climate variables influence the nematode communities in the Caatinga dry
543 forest. *Applied Soil Ecology* 150, 103474.
- 544 Debiasi, H., Levien, R., Trein, C.R., Conte, O., Kamimura, K.M., 2010. Produtividade de soja
545 e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. *Pesquisa*
546 *Agropecuária Brasileira* 45, 603-612.
- 547 Elliot, C.A., 1990. Diversity indices. In: *Principles of managing forests for biological*
548 *diversity*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- 549 EMBRAPA., 2017. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de
550 Solos, Rio de Janeiro.
- 551 FAO., 2010. An international consultation on integrated crop-livestock systems for
552 development: The way forward for sustainable production intensification. *Integrated Crop*
553 *Management* 13.
- 554 Ferreira, D.F., 2014. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*
555 (UFLA) 38, 109-112.
- 556 Ferris, H., Bongers, T., 2009. Indices Developed Specifically for Analysis of Nematode
557 Assemblages. 2009. In: Wilson, M.; Kakouli-Duarte, T.(Eds.), *Nematodes as Environmental*
558 *Indicators*. CAB International, Cambridge, Massachusetts, pp. 124-145.
- 559 Ferris, H., Bongers, T., Goede, R.G.M., 2001. A framework for soil food web diagnostics:
560 Extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology* 18, 13-29.

- 561 Freitas, V.M., Cares, J.E., Andrade, E.P., Huang, S.P., 2008. The influence of *Citrus* spp. on
562 the community of soil nematodes in the dry and rainy seasons in Distrito Federal of Brazil.
563 *Nematologia Brasileira* 32, 28-36.
- 564 Gabriel, M., Kulczynski S.M., Belle, C., Kirsch, V.G., Calderan-Bisognin, A., 2018. Reação
565 de gramíneas forrageiras a *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus brachyurus*. *Nematropica* 48, 15-
566 -163.
- 567 Garrett, R.D., Niles, M.T., Gil, J.D., Gaudin, A., Chaplin-Kramer, R., Assmann, A., Brewer,
568 K., Faccio Carvalho, P.C., Cortner, O., Dynes, R., Garbach, K., Kebreab, E., Mueller, N.,
569 Peterson, C., Reis, J.C. Snow, V., Valentim, J., 2017. Social and ecological analysis of
570 commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty.
571 *Agricultural Systems* 155, 136-146.
- 572 Garrett, R.D., Ryschawy, J., Bell, L.W., Cortner, O., Ferreira, J., Garik, A.V.N., Gil, J.D.B.,
573 Klerkx, L., Moraine, M., Peterson, C.A., Reis, J.C., Valentim, J.F., 2020. Drivers of
574 decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales.
575 *Ecology and Society* 25, 1-40.
- 576 Goulart, A.M.C., 2009. Análise de dados em estudos de diversidade de nematoides. *Embrapa*
577 *Cerrados* 251, 1-46.
- 578 Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio,
579 D., Dixon, J., Peters, M., Van de Steeg, J., Lynam, J., Parthasarathy, R. P, Macmillan, S.,
580 Gerard, B., McDermott, J., Seré, C., Rosegrant, M., 2010. Smart investments in sustainable
581 food production: Revisiting mixed crop-livestock systems. *Science* 327, 822-825.
- 582 Hu, J., Wu, J., Ma, M., Nielsen, U.N., Wang, J., Du, G., 2015. Nematode communities
583 response to long-term grazing disturbance on tibetan plateau. *European Journal of Soil*
584 *Biology* 69, 24-32.

- 585 Jenkins, W.R., 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from
586 soil. *Plant Disease Reporter*, Beltsville.
- 587 Kirsch, V.G., Kulczynski, S.M., Gomes, C.B., Bisognin, A.C., Gabriel, M., Bellé, C., Lima-
588 Medina, I., 2016. Characterization of *Meloidogyne* and *Helicotylenchus* species associated with
589 soybean in Rio Grande do Sul State. *Nematropica* 46, 197-208.
- 590 Kunrath, T.R., Carvalho, P.C.D.F., Cadenazzi, M., Bredemeier, C., Anghinoni, I., 2015.
591 Grazing management in an integrated crop-livestock system: Soybean development and grain
592 yield. *Revista Ciência Agronômica* 46, 645-653.
- 593 Kunrath, T.R., Nunes, P.A.A., Souza Filho, W., Cadenazzi, M., Bremm, C., Martins, A. P.,
594 Carvalho, P.C.F., 2020. Sward height determines pasture production and animal performance
595 in a long-term soybean-beef cattle integrated system. *Agricultural Systems*, 177, 1-8.
- 596 Malherbe, S., Marais, D., 2015. Nematode community profiling as a soil biology monitoring
597 tool in support of sustainable tomato production: A case study from South Africa. *Applied*
598 *Soil Ecology* 93, 19-27.
- 599 Mills, A.A.S., Adl, M.S., 2011. Changes in nematode abundances and body length in
600 response to management intensive grazing in a low-input temperate pasture. *Soil Biology and*
601 *Biochemistry* 43, 150-158.
- 602 Mattos, J.K., Andrade, E.P., Teixeira, M.A., Castro, A.P.G., Huang, S.P., 2008. Gêneros-
603 chaves de onze diferentes comunidades de nematoides do solo na região dos cerrados do
604 Brasil central. *Nematologia Brasileira* 32, 142-149.
- 605 Matos, D.S.S., Pedrosa, E.M.R., Guimarães, L.M.P., Rodrigues, C.V.M.A., Barbosa, N.M.R.,
606 2011. Relações entre a nematofauna e atributos químicos de solo com vinhaça. *Nematropica*
607 41, 23-38.

- 608 Mondino, E.A., Tavares, O.C.H., Ebeling, A.G., Figueira, A.F., Quintero, E.I., Berbara,
609 R.L.L., 2009. Avaliação das comunidades de nematoides do solo em agroecossistemas
610 orgânicos. *Acta Scientiarum Agronomy* 31, 509-515.
- 611 Neves Neto, D.N., Santos, A.C.D., Santos, P.M., Melo, J.C., Santos, J.S., 2013. Análise
612 espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem.
613 *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17, 995-1004..
- 614 Nunes, P.A. de A., Laca, E.A., Li, M., Souza Filho, W. de, Kunrath, T.R., Carvalho, P.C. de
615 F., Gaudin, A.C.M. Unpublished results. Livestock integration improves long-term stability of
616 yields and profitability of soybean systems. *Scientific Reports*.
- 617 Overstreet, L.F., Hoyt, G.D., Imbriani, J., 2010. Comparing nematode and earthworm
618 communities under combinations of conventional and conservation vegetable production
619 practices. *Soil & Tillage Research* 110, 42-50.
- 620 Ramos, Y.S., Pedrosa, E.M., Rolim, M.M., Miranda, T.L., 2010. Relações entre a
621 nematofauna e atributos físico-químicos do solo em áreas degradadas por erosão laminar.
622 *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 5, 570-578.
- 623 Santiago, D.C., de Oliveira Arieira, G., de Almeida, E., Fátima Guimarães, M., 2012.
624 Responses of soil nematode communities to agroecological crop management systems.
625 *Nematology* 14, 209-22.
- 626 Seinhorst, J.W., 1959. A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to
627 anhydrous glycerin. *Nematologica* 8, 29-32.
- 628 Silva, R.A., Nunes, N.A., Santos, T.F.S., Iwano, F.K., 2011. Análise conjunta de propriedades
629 físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa*
630 *Agropecuária Brasileira* 46, 1277-1283.

- 631 Silva, R.A., Nunes, N.A., Santos, T.F.S., Iwano, F.K., 2018. Efeito da rotação e sucessão de
632 culturas no manejo de nematoides da soja em área arenosa. *Nematropica* 48, 198-206.
- 633 Soil Survey Staff, 2014. *Keys to soil taxonomy USDA*. Natural Resources Conservation
634 Service, Washington, DC.
- 635 Souza Filho, W., de Albuquerque Nunes, P.A., Barro, R.S., Kunrath, T.R., de Almeida, G.M.,
636 Genro, T.C.M., Bayer, C., Carvalho, P.C.F., 2019. Mitigation of enteric methane emissions
637 through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal
638 performance and environmental impacts. *Journal of Cleaner Production* 213, 968-975.
- 639 Tomazini, M.D., Ferraz, L.C.C.B., Monteiro, A.R., 2008. Abundância e diversidade de
640 nematóides em área contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso
641 agrícola. *Nematologia Brasileira* 32, 185-193.
- 642 Wang, X., Nielsen, U. N., Yang, X., Zhang, L., Zhou, X., Du, G., Li, G., Chen, S., Xiao, S.,
643 2018. Grazing induces direct and indirect shrub effects on soil nematode communities. *Soil*
644 *Biology and Biochemistry* 121, 193-201.
- 645 Wardle, D.A., Bonner, K.I., Barker, G.M., Yeates, G.W., Nicholson, K.S., Bardgett, R. D.,
646 Watson, R.N., Ghani, A., 1999. Plant removals in perennial grassland: vegetation dynamics,
647 decomposers, soil biodiversity, and ecosystem properties. *Ecological Monographs* 69, 535-
648 568.
- 649 Yeates, G.W., Bongers, T.D., De Goede, R.G.M., Freckman, D.W., Georgieva, S.S., 1993.
650 Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. *Journal of*
651 *Nematology* 25, 315-331.
- 652 Yeates, G.W., Bongers, T., 1999. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture,*
653 *Ecosystems and Environment* 74, 113-135.

- 654 Yeon, J., Park, A.R., Kim, Y. J., Seo, H. J., Yu, N. H., Ha, S., Park, H.W., Kim, J.C., 2019.
655 Control of root-knot nematodes by a mixture of maleic acid and copper sulfate. *Applied Soil*
656 *Ecology* 141, 61-68.
- 657 Zhong, S., Zeng, H.C., Jin, Z.Q., 2016. Response of soil nematode community composition
658 and diversity to different crop rotations and tillage in the tropics. *Applied Soil Ecology* 107,
659 134-143.
- 660

1 **ARTIGO II – FITONEMATOIDES EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO**
2 **LAVOURA- PECUÁRIA MANEJADO COM DIFERENTES INTENSIDADES DE**
3 **PASTEJO E BAIXA DIVERSIDADE DE PLANTAS¹**

4
5 **Highlights**

- 6 1. Os fitonematoides de um sistema de integração lavoura-pecuária com 15 anos foram
7 avaliados;
- 8 2. Os 11 gêneros identificados estavam abaixo do nível de dano econômico;
- 9 3. O gênero *Helicotylenchus* foi dominante, mas somente *H. dihystera* esteve presente;
- 10 4. Quanto maior a altura do pastejo no inverno, maior a abundância de fitonematoides;
- 11 5. A altura de pastejo no inverno não influenciou a abundância de fitonematoides na soja.

12
13 **Resumo**

14 A integração lavoura-pecuária (ILP) se bem manejada aumenta a produção de
15 alimentos e melhora a qualidade ambiental. Porém, estes benefícios podem ser suplantados
16 pelo excesso de carga animal na pastagem, monocultura e uso de plantas suscetíveis aos
17 fitonematoides. Por isto, o objetivo deste trabalho foi estudar a ocorrência de fitonematoides
18 em sistema de integração lavoura-pecuária cultivado por 15 anos com baixa diversidade de
19 plantas e manejado com quatro intensidades de pastejo. O experimento foi conduzido em uma
20 área experimental de 22 hectares cultivada com *Glycine max* para produção de grãos (verão) e
21 *Avena strigosa* + *Lolium multiflorum* para o pastejo dos bovinos (inverno). Os tratamentos
22 foram constituídos por diferentes intensidades de pastejo, representados por alturas de manejo
23 de 10, 20, 30 ou 40 cm de altura de pasto, parcelas sem pastejo e uma pastagem natural como
24 área de referência. As coletas de solo foram realizadas no florescimento da soja e do pasto

¹Artigo submetido a revista Agriculture, Ecosystems and Environment

25 para quantificação e identificação dos fitonematoides (gênero e espécie), e determinação das
26 propriedades físicas, químicas e cobertura vegetal do solo. Foram identificados 11 gêneros de
27 fitonematoides. *Helicotylenchus* foi o gênero dominante em todos os tratamentos, porém
28 somente a espécie *H. dihystera* esteve presente. O aumento da altura de pastejo resultou em maior
29 abundância de fitonematoides no inverno, mas não teve influência na abundância de nematoides da
30 soja cultivada em sucessão. Após 15 anos de cultivo da sucessão soja/aveia todos os gêneros de
31 fitonematoides estão abaixo do nível de dano econômico.

32

33 **Palavras-chave:** intensificação sustentável, soja, pastagem, nematofauna, *Helicotylenchus*
34 *dihystera*.

35

36 **1 Introdução**

37 Um dos grandes desafios dos sistemas produtivos é combinar maior produtividade
38 com menor impacto ambiental (Garrett et al., 2017). A integração lavoura-pecuária (ILP)
39 associa cultivos agrícolas com a pecuária e, se bem manejada, resulta em intensificação
40 sustentável do uso das terras, maior produção vegetal e animal, diversificação e aumento da
41 renda dos produtores rurais e melhoria da qualidade do ambiente (Carvalho et al., 2018;
42 Pontes et al., 2018). Na região subtropical do Brasil, um sistema muito utilizado é o que
43 alterna culturas para a produção de grãos no verão, especialmente a soja [*Glycine max* (L.)
44 Merr.], com pastagens anuais de inverno de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) para o pastejo
45 dos bovinos. Porém, dois aspectos têm posto a prova à sustentabilidade da ILP na região
46 subtropical do Brasil: o cultivo continuado da sucessão soja/aveia e o excesso de carga animal
47 na pastagem.

48 O plantio direto é utilizado pela quase totalidade dos produtores rurais, porém um
49 princípio fundamental deste sistema, a rotação de culturas, tem sido negligenciada por
50 motivos econômicos (Telles et al., 2019). Em aproximadamente 15 milhões de hectares há 20
51 anos têm sido cultivada a sucessão de soja no verão e aveia preta no inverno, em mistura ou
52 não com o azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) (Conab, 2019). A falta de rotação de
53 culturas tem resultado em diversos problemas, dentre os quais se destaca o aumento da
54 ocorrência ou o surgimento de novas pragas, doenças e plantas daninhas, tanto na soja quanto
55 na aveia. Um dos problemas mais graves é o aumento das áreas infestadas por fitonematoides,
56 especialmente devido ao uso de cultivares de soja suscetíveis (Silva et al., 2018).

57 Outro problema observado com frequência nas propriedades que adotam a ILP é o
58 excesso de carga animal na pastagem, o que pode trazer prejuízos ao solo e suplantam os
59 benefícios advindos do aumento da renda (Kunrath et al., 2015). A redução da biomassa das
60 plantas forrageiras pelo pastejo intenso resulta em compactação e exposição do solo, menor
61 infiltração de água e aeração, maior erosão, alteração da temperatura e da umidade, redução
62 do teor de matéria orgânica, da ciclagem de nutrientes, etc (Ambus et al., 2018; Carvalho et
63 al. 2018). Tudo isto resulta em elevado estresse às plantas forrageiras e às plantas produtoras
64 de grãos cultivadas em sucessão. Já foi comprovado que as plantas cultivadas em condições
65 de estresses ambientais são menos tolerantes a incidência de fitonematoides (Silva et al.,
66 2018).

67 Os nematoides são excelentes bioindicadores da qualidade dos agroecossistemas e
68 desta forma constituem-se em uma valiosa ferramenta para atestar a sustentabilidade da ILP.
69 Além disto, apesar da importância econômica, social e ambiental da ILP, até o momento
70 nenhuma pesquisa avaliou a ocorrência dos fitonematoides nesse sistema na região
71 subtropical do Brasil, uma das regiões com maior produção agrícola do mundo. Por isto, o

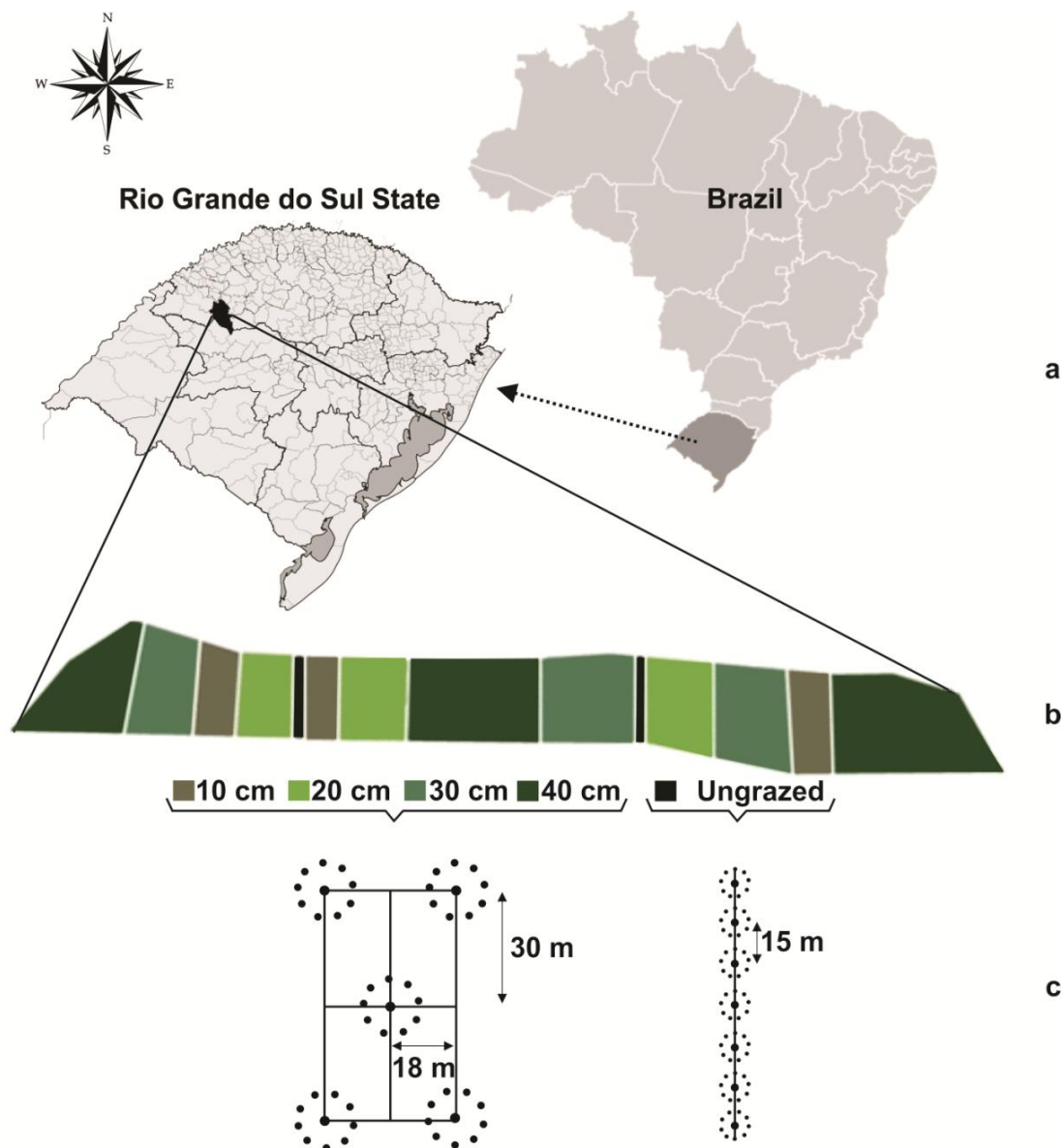
72 objetivo deste trabalho foi estudar a ocorrência de fitonematoides em sistema de integração
73 lavoura-pecuária cultivado por 15 anos com baixa diversidade de plantas e manejado com
74 quatro intensidades de pastejo.

75

76 **2 Material e métodos**

77 2.1 Sítio experimental e condução do experimento

78 A ILP está localizada em São Miguel das Missões, no estado do Rio Grande do Sul,
79 Brasil (28°56'18"S 54°20'55"O, 465 m), em uma área experimental de 22 ha (Figura 1a), em
80 solo Hapludox Rodic (Soil Survey Staff, 1999) profundo, bem drenado e de textura argilosa
81 (540, 270 e 190 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente). O clima é subtropical do tipo
82 Cfa, com verão quente e úmido, com 1.850 mm de precipitação bem distribuídas ao longo do
83 ano e médias anuais de temperatura de 19 °C.



84

85 **Figura 1.** (a) Localização da área experimental no município de São Miguel das Missões, estado do Rio Grande
 86 do Sul, Brasil. (b) Disposição dos tratamentos com áreas de (esquerda para direita): 2,19 ha; 1,60 ha; 0,90 ha;
 87 1,32 ha; 0,10 ha; 0,86 ha; 1,31 ha; 2,87 ha; 2,10 ha; 0,10 ha; 1,49 ha; 1,89 ha; 1,07 ha e 3,53 ha. (c) Esquema
 88 amostral com a disposição dos pontos de coleta nos tratamentos com pastejo (esquerda) e nas áreas sem pastejo
 89 (direita). Os círculos pretos são os locais de coleta das nove subamostras que formaram cada uma das amostras
 90 compostas. A pastagem natural está localizada a 960 m da área experimental e não aparece na figura.

91

92 A área originalmente era coberta por pastagem natural e durante décadas foi utilizada
 93 para a criação extensiva de bovinos de corte, sob pastoreio contínuo. Em 1993 foi convertida
 94 em lavoura de plantio direto para o cultivo da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] no verão e de
 95 aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) no inverno para produção de sementes ou como planta de

96 cobertura do solo. Em 2001, o sistema ILP foi instalado e desde então a área é cultivada
97 continuamente sob o sistema de plantio direto em uma sucessão de culturas de soja no verão
98 (novembro a abril) para a produção de grãos, e aveia preta + azevém (*Lolium multiflorum*
99 Lam .) no inverno (maio a outubro) para o pastejo de bovinos. As práticas agrícolas foram
100 realizadas de acordo com as recomendações técnicas. Maiores detalhes sobre o sítio
101 experimental podem ser encontrados em Kunrath et al. (2015).

102 O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e três
103 repetições. Os tratamentos consistiram de uma pastagem natural (PN), uma área agrícola (sem
104 pastejo - SP) e a ILP onde o pasto é mantido nas alturas de 10, 20, 30 ou 40 cm (Figura 1b). A
105 área agrícola (SP) foi cultivada com as mesmas plantas da ILP, porém sem pastejo no inverno
106 e a aveia + azevém foi utilizada somente para a produção de palha para o plantio direto do
107 verão. Na ILP, três novilhos (peso vivo inicial médio de 200 kg) pastejaram em cada parcela
108 durante o inverno, sob pastoreio contínuo, resultando nas diferentes alturas de pasto, que eram
109 monitoradas quinzenalmente. As parcelas tinham áreas variando de 0,90 a 3,53 ha, resultando
110 nas diferentes alturas de pasto. Quando necessário, ajustes foram feitos na carga animal pelo
111 uso de animais reguladores, no intuito de se manter a altura do pasto nas metas pretendidas.

112 A pastagem natural (PN) está localizada a 960 m do experimento de ILP e possui o
113 mesmo tipo de solo. É utilizada para pastoreio contínuo de bovinos com intensidades de
114 pastejo entre moderada e alta, com massa de forragem mais serrapilheira de aproximadamente
115 1,5 Mg de MS ha⁻¹. A composição botânica era assim representada: *Paspalum notatum*
116 Flüggé (40%), *Aristida jubata* (Arechav.) Herter (19%), *Eragrostis plana* Nees (11%),
117 *Baccharis trimera* (Less.) DC (10%), *Eryngium horridum* Malme (9%), *Schizachyrium*
118 *microstachyum* (Desv. ex Ham.) Roseng (4%), *Sporobolus indicus* (L.) R. Br. (4%), *Cyperus*

119 *brevifolius* (Rottb.) Hassk. (1%) e *Panicum hians* Elliott (1%). Outras 19 espécies
120 contribuíaam com menos de 0,5% da massa de forragem.

121

122 2.2 Coleta e análise nematológica

123 As coletas de solo foram realizadas no florescimento da soja (cultivar VTOP RR) em
124 28/01/2016 e da aveia preta (cultivar BRS 139) em 11/09/2016. Tendo as rotações pasto-soja
125 sido iniciado em 2001, as amostras representaram 16 anos de efeito cumulativo dos
126 tratamentos. Em cada parcela foram coletadas cinco amostras compostas, nos ângulos e no
127 centro de um retângulo virtual de 36 x 60 m posicionado no centro da parcela (Figura 1c). Na
128 pastagem natural as amostras foram coletadas com o mesmo procedimento. Nas áreas sem
129 pastejo a coleta foi realizada em um único transecto com sete pontos, distantes 15m entre si,
130 em função das menores dimensões destas parcelas. Em um metro no entorno de cada ponto de
131 coleta foram retiradas 9 subamostras com auxílio de um trado calador, até 20 cm de
132 profundidade. As subamostras foram misturadas em um balde para formar uma amostra
133 composta de aproximadamente 900 cm³ de solo (Cares e Huang, 2008). Os pontos de coleta
134 no verão e no inverno foram alocados nas mesmas coordenadas, determinadas pelo GPS com
135 erro máximo de 1 cm. As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e em
136 caixas de isopor com gelo para o transporte ao laboratório, onde foram armazenadas a 4°C por
137 no máximo uma semana até sua utilização.

138 Os nematoides foram extraídos de 300 cm³ de solo pelo método de flotação centrífuga
139 em solução de sacarose (Jenkins, 1964), posteriormente mortos em banho-maria (55 °C),
140 fixados em solução de formaldeído a 4% (v/v) e concentradas em frascos de 30 mL. A
141 abundância de nematoides foi determinada com auxílio de um microscópio composto, em três
142 alíquotas de 1 mL, perfazendo 15% do volume original. Após a contagem as suspensões

143 foram infiltradas com glicerina (Seinhorst, 1959) e 100 espécimes de cada amostra, tomadas
144 ao acaso, foram utilizadas para montagem de lâminas de microscopia para identificação em
145 nível de gênero, conforme a chave para identificação descrita por Mai e Mullin (1996).

146 Para a identificação das espécies de *Helicotylenchus* Steiner, 1945, 23 fêmeas adultas
147 de cada amostra de solo foram caracterizadas morfológica e morfometricamente em
148 microscópio óptico, com uso da Chave Ilustrativa de Uzma et al. (2015) e de Subbotin et al.
149 (2015). As mensurações das imagens foram realizadas com auxílio do software SPOT
150 Advanced (2004). Para a identificação das espécies de *Meloidogyne* Göldi, 1887 foi realizado
151 um bioteste. As amostras de solo coletadas no experimento foram utilizadas para o cultivo de
152 plantas suscetíveis de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L. cv. Santa Cruz) em vasos, em casa
153 de vegetação, a 25°C e fotoperíodo natural. Após 60 dias de cultivo foram obtidas 40 fêmeas
154 adultas de *Meloidogyne* spp. das raízes do tomateiro para caracterização bioquímica das
155 espécies pela técnica de eletroforese da isoenzima esterase (Carneiro e Almeida, 2001).

156

157 2.3 Análise químicas e físicas do solo

158 As amostras para as análises químicas e físicas de solo foram coletadas em janeiro de
159 2016, nos mesmos pontos e profundidade das coletas para a análise nematológica (Tabela S1).
160 Para a avaliação das propriedades químicas do solo foram coletadas amostras com trado
161 calador e determinados o pH (água 1:1), matéria orgânica (Walkley-Black), P e K disponíveis
162 (Mehlich-1), Ca, Mg e Al trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹), CTC (potencial) H+Al (titulometria),
163 saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m). Para a avaliação das propriedades
164 físicas do solo foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos e determinada
165 a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade em mesa de tensão (Embrapa,
166 1997); a densidade do solo (Blake e Hartge, 1986) e a umidade gravimétrica por secagem a

167 105 °C. Os dados de precipitação pluviométrica e temperatura do ar foram obtidos da estação
168 do Instituto Nacional de Meteorologia mais próxima da área experimental (56 km) (Figura
169 S1).

170

171 2.4 Análise estatística

172 As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo foram submetidas a correlação
173 de Pearson (com $p < 0,05$) utilizando o programa Statistica 7. Os dados de abundância total de
174 indivíduos coletados nas duas épocas de amostragem foram submetidos ao teste Kruskal-
175 Wallis, seguido por Nemeny test com $p < 0,05$. Foi avaliada a mudança na composição das
176 espécies entre os períodos amostrados através da análise multivariada permutativa de
177 variância, utilizando o comando ‘adonis’, do pacote Vegan (Oksanen et al., 2019), no
178 software R (R Core Team 2018).

179

180 3 Resultados

181 Foram identificados 11 gêneros de fitonematoides no solo (Tabela 1). No inverno, o gênero
182 *Helicotylenchus* foi o táxon dominante na pastagem cultivada (ILP e SP), correspondendo a 78%
183 dos fitonematoides. O gênero *Xiphinema* Cobb, 1913 foi o segundo mais representativo, com
184 19% dos fitonematoides e sua maior abundância foi observada no tratamento ILP 40. Os demais
185 gêneros corresponderam somente a 3.5% dos fitonematoides identificados. Na pastagem natural
186 (PN), o gênero *Helicotylenchus* também foi dominante no inverno (71%), porém o gênero
187 *Xiphinema* correspondeu a somente 0.6% dos fitonematoides identificados. Por outro lado,
188 observou-se que o gênero *Discocriconemella* de Grisse; Loof, 1965 representou 25% dos
189 fitonematoides, bem superior a participação do gênero *Mesocriconema* Andrassy, 1965
190 (1.55%), ambos encontrados apenas na pastagem natural.

Tabela 1. Gêneros e abundância média de fitonematoides em 300 cm³ de solo de uma pastagem natural (PN), uma área agrícola (SP) e de um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) pastejado por bovinos no inverno nas alturas de 10, 20, 30 ou 40 cm.

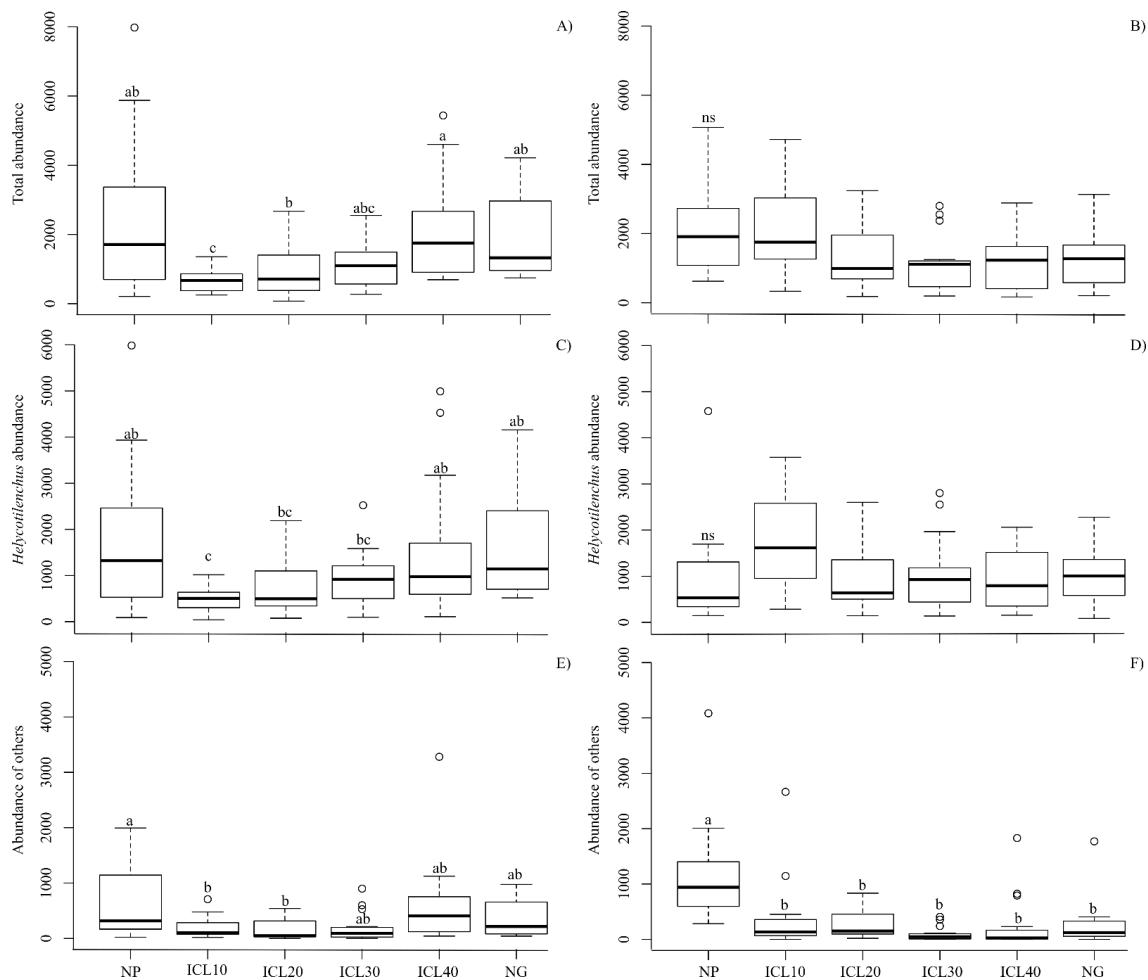
Gêneros	Inverno						Verão					
	PN	Aveia preta+azevém					PN	Soja				
		SP	ILP10	ILP20	ILP30	ILP40		SP	ILP10	ILP20	ILP30	ILP40
<i>Helicotylenchus</i>	1.742,23	1.561,04	463,47	743,36	936,32	1.546,31	999,19	1.003,52	1.732,18	1.022,89	1.055,66	913,83
<i>Xiphinema</i>	14,62	318,27	115,16	110,86	153,93	585,27	22,74	196,85	42,54	40,26	48,76	25,72
<i>Tylenchus</i>	45,33	10,23	66,38	62,77	43,88	13,45	78,15	49,18	331,53	227,96	46,38	214,11
<i>Hoplolaimus</i>	3,32	-	16,85	3,6	-	4,18	10,92	5,45	16,63	3,63	0,89	10,41
<i>Hemicycliophora</i>	-	13,29	-	-	-	-	9,01	14,29	-	-	-	-
<i>Mesocriconema</i>	38,15	-	-	-	-	-	966,25	-	-	-	-	-
<i>Discocriconemella</i>	613,09	-	-	-	-	-	85,83	-	-	-	-	-
<i>Tylenchorhynchus</i>	8,45	-	-	-	-	-	14,9	-	-	-	-	-
<i>Meloidogyne</i>	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,28
<i>Pratylenchus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,76
<i>Trichodorus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	3,55	-	-	-

Dados são médias de 15 repetições por tratamento; – não encontrado

196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220

Nas amostras do verão, novamente o gênero *Helicotylenchus* foi o táxon mais representativo na soja, correspondendo a 82% dos fitonematoides identificados (Tabela 1). O gênero *Tylenchus* Bastian, 1865 correspondeu a 12% dos nematoides e os demais gêneros somados representaram somente 6%. Na pastagem natural (PN), o gênero *Helicotylenchus* reduziu sua dominância em comparação ao inverno, representando 46% dos nematoides encontrados. Muito próximo da participação do gênero *Mesocriconema*, que aumentou muito sua percentagem em relação ao inverno, representando 44% dos nematoides identificados. Por outro lado, o gênero *Discocriconemella* reduziu sua abundância no verão em relação ao inverno, abrigando somente 4% dos nematoides. Os demais gêneros somados representaram somente 3% dos nematoides da pastagem natural no verão.

De forma inesperada, a pastagem natural, que é o ambiente de referência, apresentou a maior abundância total de fitonematoides no inverno e no verão (Figura 2A e 2B). No inverno, a pastagem cultivada pastejada a 40 cm (ILP40) e a não pastejada (SP) também apresentaram abundâncias elevadas e próximas da pastagem natural. Por outro lado, os tratamentos com pastejo a 10 cm (ILP10) e a 20 cm (ILP20) apresentaram as menores abundâncias. Como resultado, o aumento da altura de pastejo no inverno promoveu o incremento na abundância total de fitonematoides no solo ($p < 0.005$). Devido a dominância do gênero *Helicotylenchus*, optou-se por apresentar a sua abundância separada (Figuras 2C e D) dos demais gêneros (Figuras 2E e F), o que demonstra que a abundância total tem estreita relação com a abundância de *Helicotylenchus*. Para este gênero e também para os demais gêneros de fitonematoides, o aumento da altura de pastejo no inverno promoveu o incremento na abundância total destes fitonematoides no solo ($p < 0.01$).



221

222 **Figura 2.** Abundância total de fitonematoides (A e B), somente do gênero *Helicotylenchus* (C e D) e dos outros
 223 gêneros de fitonematoides em 300 cm³ de solo no inverno (A, C e E) e no verão (B, D e F) em uma pastagem
 224 natural (PN), uma área agrícola (SP) e em um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) pastejado por
 225 bovinos no inverno nas alturas de 10, 20, 30 ou 40 cm. As partes inferior e superior das caixas representam o
 226 primeiro e o terceiro quartis, com a banda central representando a mediana, os whiskers representam 1.5 vezes o
 227 interquartil. Os círculos representam os valores extremos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem por
 228 Nemeny test com $p < 0.05$. ns: não significativo.

229

230 Durante o cultivo da soja no verão, não houveram efeitos significativos dos
 231 tratamentos na abundância total e de *Helicotylenchus* no solo ($p > 0.05$) (Figura 2B e D). Ainda
 232 que, a pastagem natural e o tratamento com pastejo mais intenso (ILP10) tenham apresentado
 233 elevada abundância total de fitonematoides. Isto resulta da elevada abundância de
 234 *Helicotylenchus* no tratamento ILP10 (Figura 2D) e também da elevada a abundância
 235 *Helicotylenchus* e de *Mesocriconema* na pastagem natural (Figura 2F), que abrigaram
 236 respectivamente 46% e 44% do total de nematoides coletados neste tratamento.

237 A abundância total de fitonematoides variou entre as épocas de amostragem (adonis:
238 $R^2 = 0,03$; $p = 0.006$) (Figura 2A e B). Destaca-se que no tratamento com 10 cm de altura de
239 pastejo (ILP10) houve um aumento de mais de 374% na abundância de *Helicotylenchus* na
240 soja em relação a pastagem cultivada (Figura 2C e D). Em relação a média dos tratamentos
241 com pastagem cultivada no inverno (ILP e SP), o gênero *Tylenchus* incrementou em 608%
242 sua abundância na soja cultivada no verão (Tabela 1). Já o gênero *Xiphinema* foi o único que
243 reduziu (em 66%) sua abundância na soja em relação a pastagem cultivada do inverno.

244 Para a identificação a nível de espécie foram caracterizados os gêneros
245 *Helicotylenchus* e *Meloidogyne*. O primeiro por ser o mais abundante entre os fitonematoides
246 e o segundo por apresentar grande importância econômica para a região. Por microscopia, o
247 gênero *Meloidogyne* spp. foi detectado na fase juvenil de segundo estágio em amostras de
248 solo coletados no verão e no inverno, porém apenas nos tratamentos ILP 40 e PN, e em baixa
249 percentagem (0.06 e 0.10%, respectivamente) (Tabela 1). O bioteste realizado nas plantas de
250 tomateiro com todas as amostras de solo confirmou a presença dos nematoides das galhas
251 nestes dois tratamentos e ainda revelou a sua presença no tratamento SP, nas duas épocas de
252 amostragem (dados não apresentados). A técnica de eletroforese da enzima esterase
253 caracterizou a espécie *Meloidogyne javanica* (J3) em 100% das galhas formadas durante o
254 bioteste.

255 Apesar da elevada abundância do gênero *Helicotylenchus*, somente a espécie *H.*
256 *dihystera* (Cobb, 1893) Sher, 1961 foi detectada em todos os tratamentos. Com auxílio da
257 microscopia ótica foi realizada a análise dos parâmetros morfométricos e morfológicos
258 (Tabela 2). As fêmeas maduras apresentaram cauda com projeção ventral curta, espermatecas
259 não funcionais e sem espermatozoides, região labial hemisférica, com anelação distinta,

260 fasmídios situados entre 5 e 13 anéis do corpo anteriores ao ânus e linhas de campos laterais
 261 separadas até o final.

262

263 **Tabela 2.** Dados morfométricos do nematoide *Helicotylenchus dihystera* coletado em todos os tratamentos. As
 264 medidas estão em μm : média \pm desvio padrão, (valor mínimo-valor máximo) e coeficiente de variação (%).
 265

Parâmetros	Fêmeas
n	23
L	772.50 \pm 16.48 (607.01-893.28) 10.23%
a	39.03 \pm 1.49 (27.87-62.15) 18.36%
a	42.52 \pm 2.00 (32.28-62.15) 22.51%
c'	1.34 \pm 0.07 (0.75-1.85) 23.82%
V%	60.72 \pm 0.60 (55.17-67.95) 4.73%
w	20.17 \pm 0.55 (15.09-24.24) 13.18%
St	23.16 \pm 0.57 (16.61-28.14) 11.85%
V'	468.09 \pm 8.99 (377.06-546.98) 9.21%
TL	19.23 \pm 0.83 (10.30-24.54) 20.63%
Abw	14.23 \pm 0.29 (11.89-16.56) 9.42%
Forma do corpo	Espiral típica

266 n= número de fêmeas analisadas; L= comprimento total do corpo; a= comprimento total do corpo / largura
 267 máxima do corpo (na região mais larga); c= comprimento total do corpo / comprimento da cauda (do ânus até o
 268 término da cauda); c'= comprimento da cauda / largura do corpo a altura do ânus; V%= distância externa
 269 anterior à vulva / comprimento total do corpo x 100; w= diâmetro máximo do corpo; St= comprimento do
 270 estilete / largura do corpo até a base do estilete; V'= distância da região anterior até a vulva x 100 / L; TL=
 271 comprimento da cauda; Abw = diâmetro do corpo altura do ânus.
 272

273 A correlação de Pearson demonstra que os gêneros *Mesocriconema* e
274 *Discocriconemella* apresentaram correlação fraca ou moderada (Dancey e Reidy, 2005) com
275 grande número de propriedades do solo, no verão e no inverno (Tabela 3). A presença destes
276 gêneros foi detectada somente na pastagem natural (Tabela 1) que apresenta as piores
277 condições de solo, especialmente químicas. Por isto, *Mesocriconema* e *Discocriconemella*
278 correlacionaram-se negativamente com os teores de P, K, MO, Mg, CTC, saturação de bases e
279 microporosidade ($p < 0.005$). Também por ocorrer somente na pastagem natural, o gênero
280 *Tylenchorhynchus* Cobb, 1913 apresentou comportamento semelhante em relação as mesmas
281 propriedades do solo, especialmente no verão. *Helicotylenchus*, o gênero mais abundante,
282 apresentou na coleta de inverno correlação negativa com K, Mg e saturação por bases, e
283 positiva com H+Al ($p < 0.005$), devido a menor acidez potencial e maiores teores de nutrientes
284 nos tratamentos pastejados a 10, 20 e 30 cm. O gênero *Hemicycliophora* de Man, 1921
285 apresentou correlação fraca ou moderada com sete propriedades do solo, porém somente no
286 inverno. Sua ocorrência foi maior no tratamento sem pastejo, por isto correlacionou-se
287 positivamente com melhores condições de P, K, CTC, porosidade total e microporosidade no
288 solo. Porém este tratamento apresentou baixo pH e alto teor de H+Al em relação aos demais,
289 o que também resultou em correlação fraca com este gênero.

290

291

Tabela 3. Análise de correlação de Pearson entre os gêneros de fitonematoides coletados no inverno e no verão e as propriedades físicas e químicas do solo, em uma pastagem natural (PN), em um área agrícola (SP) e em um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) pastejado a 10, 20, 30 e 40 cm no inverno. Os dados referem-se a 5 repetições por tratamento.

Gêneros	pH _{H2O}	P	K	MO ¹	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC ²	V ³	m ⁴	DS ⁵	PT ⁶	Macro ⁷	Micro ⁸	Umidade
<i>Helicotylenchus</i>	-0.09	0.04	-0.22*	-0.12	0.14	-0.17	-0.25*	0.24*	0.08	-0.24*	0.16	-0.13	-0.07	0.11	-0.19	0.04
<i>Xiphinema</i>	-0.05	0.10	0.25*	0.02	-0.13	0.02	0.03	-0.03	0.00	0.09	-0.15	0.34*	-0.14	-0.11	-0.03	0.11
<i>Tylenchus</i>	0.10	-0.21*	-0.02	-0.14	-0.06	-0.06	0.01	-0.14	-0.09	0.13	-0.10	0.14	-0.19	-0.08	-0.16	-0.06
<i>Hoplolaimus</i>	0.04	0.03	-0.10	0.07	-0.11	0.06	0.14	-0.10	-0.13	0.03	-0.12	-0.06	-0.03	0.03	0.01	-0.14
<i>Hemicycliophora</i>	-0.30*	0.51*	0.21*	0.07	0.19	-0.06	-0.09	0.21*	0.23*	-0.12	0.13	-0.06	0.27*	0.01	0.24*	0.02
<i>Mesocriconema</i>	0.09	-0.27*	-0.42*	-0.25*	0.11	-0.20	-0.35*	0.04	-0.27*	-0.26*	0.28*	-0.01	-0.20	0.15	-0.34*	-0.04
<i>Discocriconemella</i>	0.15	-0.33*	-0.47*	-0.29*	0.06	-0.16	-0.34*	0.05	-0.20*	-0.22*	0.19	-0.06	-0.15	0.14	-0.28*	-0.19
<i>Tylenchorhynchus</i>	0.14	-0.20	-0.26*	-0.11	-0.04	-0.03	-0.17	0.01	-0.04	-0.04	0.00	-0.08	0.08	0.16	-0.08	0.01
<i>Meloidogyne</i>	0.02	-0.14	-0.17	-0.14	0.08	-0.07	-0.15	0.06	-0.04	-0.11	0.11	0.02	0.06	0.18	-0.12	-0.08
VERÃO																
<i>Helicotylenchus</i>	-0.05	0.02	-0.03	-0.10	0.05	-0.07	-0.01	-0.01	0.04	0.07	-0.02	-0.03	-0.12	0.03	-0.11	0.00
<i>Xiphinema</i>	-0.06	0.09	0.03	0.05	-0.06	-0.01	0.04	-0.01	0.06	0.05	-0.09	0.24*	-0.06	-0.16	0.09	-0.14
<i>Tylenchus</i>	0.01	-0.10	0.05	-0.09	-0.14	-0.01	0.07	-0.10	-0.02	0.13	-0.16	0.25*	-0.14	-0.02	-0.16	0.03
<i>Hoplolaimus</i>	0.10	-0.11	-0.08	-0.11	-0.10	-0.01	0.05	-0.07	-0.05	0.05	-0.08	0.25*	-0.11	0.10	-0.19	0.13
<i>Hemicycliophora</i>	0.07	-0.09	-0.05	-0.09	-0.05	-0.02	0.03	0.01	0.04	0.00	0.01	0.06	0.18	0.07	0.10	0.03
<i>Mesocriconema</i>	0.14	-0.42*	-0.54*	-0.38*	0.17	-0.23*	-0.43*	0.24*	-0.07	-0.36*	0.37*	-0.14	-0.08	0.20*	-0.27*	0.23*
<i>Discocriconemella</i>	0.16	-0.32*	-0.43*	-0.25*	0.03	-0.15	-0.28*	0.00	-0.24*	-0.17	0.15	-0.13	-0.01	0.14	-0.14	0.13
<i>Tylenchorhynchus</i>	0.04	-0.24*	-0.33*	-0.24*	0.23*	-0.16	-0.27*	0.30*	0.16	-0.26*	0.39*	0.04	-0.07	0.03	-0.09	0.03
<i>Meloidogyne</i>	0.06	-0.02	0.19	-0.02	-0.14	0.00	0.04	-0.07	-0.02	0.09	-0.13	0.34	-0.17	-0.07	-0.10	-0.05
<i>Pratylenchus</i>	0.06	-0.02	0.14	-0.06	-0.11	0.00	0.03	-0.06	-0.03	0.07	-0.10	0.35*	-0.17	-0.05	-0.12	-0.03
<i>Trichodorus</i>	-0.01	-0.02	0.00	-0.03	-0.05	0.00	0.03	-0.05	-0.03	0.05	-0.05	0.03	0.01	-0.05	-0.01	0.01

¹Matéria orgânica; ²Capacidade de troca de cátions potencial; ³Saturação de bases; ⁴Saturação de alumínio; ⁵Densidade do solo; ⁶Porosidade total; ⁷Macroporosidade; ⁸Microporosidade. *Significativo $p < 0,05$ pelo teste t.

313 4 Discussão

314 Este é o primeiro levantamento da ocorrência de fitonematoides em um sistema de
315 integração lavoura-pecuária do subtropical do Brasil, apesar deste sistema ocupar
316 aproximadamente 2,5 milhões de hectares nesta região, conforme o último levantamento, que
317 ocorreu no ano de 2016 (Embrapa, 2016). As informações sobre a abundância e a diversidade
318 dos nematoides em sistemas de ILP ainda são incipientes em todo o mundo, até mesmo para
319 os gêneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus* Filip'ev, 1936, *Rotylenchus* Filip'ev, 1936 e
320 *Heterodera* Schmidt, 1871, que são os responsáveis pelas maiores perdas de produtividade
321 das culturas agrícolas (Silva et al., 2018).

322 O sistema ILP em estudo é cultivado por 15 anos com baixa diversidade de plantas
323 (somente soja no verão e aveia preta + azevém no inverno), com cultivares de soja suscetíveis
324 aos fitonematoides e com excesso de carga animal na ILP10 no inverno. Estas condições
325 tendem a favorecer as populações de fitonematoides. Por outro lado, algumas características
326 da ILP tendem a contrapor o aumento populacional dos fitonematoides no solo, devido ao
327 cultivo no inverno da aveia preta e do azevém que não são consideradas boas hospedeiras de
328 nematoides (Borges et al. 2010; Gabriel et al. 2018) e pela deposição do esterco e da urina
329 sobre o solo, que aumenta a atividade biológica do solo e libera amônia com efeito nematicida
330 (Oka, 2010). Por isto, o estudo da ocorrência de fitonematoides neste sistema constitui-se em
331 uma excelente oportunidade de avaliar a sustentabilidade de um sistema que é adotado por
332 milhares de produtores rurais na região subtropical do Brasil.

333 Os resultados indicam que o sistema ILP limita o desenvolvimento das populações de
334 fitonematoides, pois após 15 anos de cultivo da sucessão soja/aveia+azevém, todos os 11
335 gêneros encontrados apresentaram abundância abaixo do nível de dano econômico. Ressalva-
336 se no entanto que quando o pastejo é realizado com alta intensidade (ILP10) no inverno, há

337 um incremento muito elevado da abundância de *Helicotylenchus* na soja cultivada no verão
338 (374%). Se este manejo continuar a ser adotado, nos próximos anos estes nematoides poderão
339 tornar-se um problema fitossanitário para a cultura da soja cultivada em sucessão.

340 Uma evidência da baixa infestação de nematoides na ILP é que a pastagem natural foi
341 o tratamento com maior abundância de fitonematoides no inverno e no verão. Nesse aspecto,
342 destaca-se que a pastagem natural era manejada com excesso de carga animal e baixa
343 fertilidade, o que resulta em áreas de solo descoberto e moderado grau de degradação. Já é
344 reconhecido que as plantas que crescem em condições de estresses ambientais são menos
345 tolerantes aos ataques dos fitonematoides (Lima et al., 2017).

346 A baixa infestação de fitonematoides neste sistema ILP também pode estar relacionada
347 com a sucessão de culturas com aveia preta e azevém utilizada há 15 anos. Borges et al.
348 (2010, 2019), Dias-Arieira et al. (2003) e Lima et al. (2009) afirmam que o cultivo destas
349 gramíneas tem resultados satisfatórios na supressão de fitonematoides dos gêneros
350 *Meloidogyne* e *Pratylenchus*. Porém, outros trabalhos mostram que cultivares de aveia-preta,
351 azevém e milho apresentam suscetibilidade a estes nematoides (Asmus et al., 2005; Borges
352 et al., 2010; Uesugi et al., 2018). A textura argilosa (540 kg^{-1}) do solo deste sistema ILP
353 também pode contribuir para limitar o desenvolvimento das populações de fitonematoides.
354 Diversos autores relatam que nematoides dos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus* têm
355 preferência por solos com textura arenosa a franco-argilosa (Asmus et al. 2005; 2015).

356 A deposição de esterco bovino no solo durante o pastejo contínuo no inverno também
357 pode auxiliar no controle dos fitonematoides. A amônia é liberada durante a decomposição
358 microbiana do esterco e tem reconhecido efeito nematicida (Mills et al., 2020). Além disto, a
359 deposição de esterco aumenta a atividade biológica do solo e as interações biológicas
360 negativas entre os fitonematoides e outros organismos do solo podem se intensificar. Neste

361 sistema ILP, da Silva et al. (2014) determinaram durante um ciclo da pastagem a produção de
362 massa seca de esterco de 668,75; 478,03; 366,09 e 212,98 kg ha⁻¹ para os tratamentos de 10,
363 20, 30 e 40 cm de altura de pastejo, respectivamente. É possível que as menores abundâncias
364 de fitonematoides nos tratamentos ILP10, ILP20 e ILP30 no inverno tenha relação com a
365 maior deposição de esterco nestas parcelas.

366 A espécie *H. dihystera* dominou amplamente o solo da pastagem natural, da área
367 agrícola e do sistema ILP. Nas áreas cultivadas, o tratamento que apresentou a maior
368 abundância deste fitonematoide foi o ILP10 durante o cultivo da soja, com uma população de
369 1.732 nematoides por 300 cm³ de solo. O nível de dano econômico de *Helicotylenchus* para a
370 cultura da soja ainda não foi estabelecido. Mas no trabalho de Machado (2014) é relatado que
371 densidades populacionais de cerca de 5.000 espécimes por 100 cm³ de solo não causaram
372 danos econômicos. Embora nematoides do gênero *Helicotylenchus* ainda sejam considerados
373 parasitas secundários para a cultura da soja, eles têm sido relatados com grande frequência em
374 diversos sistemas de produção. Os danos secundários causados provem de sua associação com
375 outros fitonematoides e por facilitar a entrada de fungos e bactérias patogênicos nos
376 ferimentos abertos no sistema radicular (Antônio, 1992; Machado, 2014; Kirsch et al., 2016).
377 De acordo com Goulart et al. (2008), o cultivo contínuo da soja em sistema de ILP no Cerrado
378 favoreceu o aumento das populações dos fitonematoides dos gêneros *Helicotylenchus*,
379 *Pratylenchus* e *Paratrichodorus* Siddiqi, 1974. Para Coutinho et al. (2018), nematoides dos
380 gêneros *Helicotylenchus* e *Macroposthonia* De Grisse e Loof (1965) também foram
381 dominantes no sistema integração lavoura-pecuária-floresta estudado no Cerrado.

382 Na cultura da soja, a presença de *H. dihystera* foi relatada nos estados brasileiros
383 inicialmente por Lehmann et al. (1976) no Rio Grande do Sul e posteriormente por Sharma et
384 al. (2002) no Acre. Kirsch et al. (2016) realizaram um levantamento em diversas regiões

385 produtoras de soja do Rio Grande do Sul e observaram a ocorrência frequente de *H. dihystera*
386 e de *M. javanica* Est J3. Machado et al. (2019) consideram *H. dihystera* as potential
387 pathogens for soybean in Brazil, since their spread and population densities have been
388 increased on growing areas. Outras espécies também já foram relatadas associadas à soja nos
389 Estados Unidos, como *H. microlobus* Perry, 1959 (Giblin-Davis et al.,1990) e *H.*
390 *pseudorobustus* (Steiner, 1914) Golden, 1956 (Yan et al., 2017).

391 A predominância de *Helicotylenchus* em relação aos demais nematoides no solo
392 também pode estar relacionada a sua estratégia de sobrevivência e manutenção. A espécie *H.*
393 *dihystera* é classificada como um “r-estrategista”, enquanto que outros fitoparasitas, como o
394 *Xiphinema*, são classificados como um “k-estrategista” (Bongers, 1990). Os r-estrategistas
395 tendem a ter preferência por hospedeiros com grandes massas aéreas e radiculares, e
396 aumentam rapidamente a sua taxa reprodutiva quando as condições ambientais são favoráveis,
397 apresentando maior tolerância a perturbações do solo (Bongers, 1990). Devido à sua
398 estratégia de vida, *H. dihystera* pode exercer efeito neutralizador em relação a outras espécies
399 de fitonematoides mais agressivas, resultando em menores danos às plantas (Villeneuve e
400 Cadet, 1998). Na cana-de-açúcar foi constatado que a capacidade de causar danos pode ser
401 reduzida quando a presença de *H. dihystera* é dominante (Cadet e Spaul, 2003).

402 No presente estudo foi confirmada a presença de *M. javanica* (J3) nos tratamentos
403 ILP40, SP e PN, nas duas épocas de amostragem, após o cultivo em tomateiros. Este bioteste
404 permitiu que juvenis penetrassem nas raízes e se desenvolvessem, completando o ciclo em
405 tomateiro suscetível. A espécie foi confirmada apenas nesses três tratamentos, porém isto não
406 assegura sua ausência nos demais. Os sistemas radiculares das plantas do sistema ILP não
407 foram avaliados, o que reduz as chances de detecção deste e de outros nematoides
408 endoparasitas. De todo modo, os sintomas de formação de galhas nos sistemas radiculares ou

409 necroses, reboleiras e raquitismo das plantas não foram detectados a campo em nenhum dos
410 tratamentos, no verão ou no inverno.

411 De acordo com a análise de correlação de Pearson, os gêneros *Mesocriconema*,
412 *Discrocriconemella* e *Tylenchorhynchus*, encontrados exclusivamente na pastagem natural,
413 correlacionaram-se com várias propriedades do solo. Outros autores também relataram
414 resultados similares para *Mesocriconema* e *Discrocriconemella* (Matos et al., 2011;
415 Rodrigues et al., 2011; Cardoso et al., 2012), o que evidencia a elevada sensibilidade à
416 perturbação ambiental destes nematoides anelados (Goulart, 2007). Por isto, eles são
417 utilizados como táxons chave na diferenciação de ecossistemas com diferentes níveis de
418 distúrbios (Stirling et al., 2010; Santiago et al., 2012; Cardoso et al., 2015). Isto indica que
419 mesmo apresentando grau moderado de degradação, a pastagem natural por ser um
420 ecossistema natural e diverso ainda apresentou condições bióticas e abióticas que permitiram
421 a sobrevivência destes nematoides. Cares e Huang (1991) mostraram que a substituição da
422 vegetação nativa por sistemas de cultivo faz com que alguns nematoides desapareçam ou
423 tenham suas populações reduzidas.

424

425 **5 Conclusões**

426 O solo da pastagem natural, da área agrícola e do sistema ILP abriga 11 gêneros de
427 fitonematoides. *Helicotylenchus* é o gênero dominante em todos os tratamentos, porém
428 somente a espécie *H. dihystra* está presente. A espécie *M. javanica* ocorre nos tratamentos
429 pastejados com 40 cm, nas áreas não pastejadas e na pastagem natural, no verão e no inverno.
430 A pastagem natural apresenta a maior abundância de fitonematoides devido ao maior grau de
431 degradação do solo. Na pastagem cultivada, o aumento da altura de pastejo resulta em maior
432 abundância de fitonematoides no inverno, mas não tem influência na abundância de
433 nematoides da soja cultivada em sucessão. Após 15 anos de cultivo da sucessão soja/aveia
434 todos os gêneros de fitonematoides estão abaixo do nível de dano econômico.

435

436 **Declaração de conflitos de interesse**

437 Os autores declaram não haver conflito de interesses.

438

439 **Agradecimentos**

440 Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
441 Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior
442 (CAPES) - Código Financeiro 001, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio
443 Grande do Sul (FAPERGS) e à Fundação AGRISUS - Agricultura Sustentável pelas bolsas de
444 estudos e apoio financeiro. Também agradecem aos integrantes do Laboratório de Biologia
445 do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, ao GPSIPA/UFRGS pela condução do
446 experimento e à Agropecuária Cerro Coroadó pela área experimental e apoio na coleta das
447 amostras.

448

449 **REFERÊNCIAS**

- 450 Ambus, J.V., Reichert, J.M., Gubiani, P.I., Carvalho, P.C.de F., 2018. Changes in
451 composition and functional soil properties in long-term no-till integrated crop-livestock
452 system. *Geoderma*. 330, 232-243. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.06.005>.
- 453 Antônio, H., 1992. Fitonematoides na cultura da soja. *Informe Agropecuário*. 16, 60-65.
- 454 Asmus, G.L., Inomoto, M.M., Sazaki, C.S.S., Ferraz, M.A, 2005. Reação de algumas culturas
455 de cobertura utilizadas no sistema Plantio Direto a *Meloidogyne incognita*. *Nematologia*
456 Brasileira. 29, 47-52.
- 457 Asmus, G.L., Inomoto, M.M., Silva, R.A., Galbieri, R., 2015. Manejo de nematoides, in:
458 Freire, E.C. (Eds.), *Algodão no cerrado do Brasil*. Gráfica e Editora Positiva, Brasília, pp.445-
459 483.
- 460 Blake, G.R; Hartge, K.E., 1986. Bulk density, in: Klute, A. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*,
461 Part 1. Physical and Mineralogical Methods. ASA/SSSA, Madison, pp.363-382.
- 462 Bongers, T., 1990. The maturity index, an ecological measure of environmental disturbance
463 based on nematode species composition. *Oecologia*. 83, 14-19.
464 <https://doi.org/10.1007/BF00324627>.
- 465 Borges, D.C., Antedomenico, S.R., Santos, V.P., Inomoto, M.M., 2019. Host suitability of
466 *Avena* spp. genotypes to *Meloidogyne incognita* race 4. *Tropical Plant Pathology*. 34, 24-28.
467 <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762009000100004>.
- 468 Borges, D.C., Machado, A.C.Z., Inomoto, M.M., 2010. Reação de aveias a *Pratylenchus*
469 *brachyurus*. *Tropical Plant Pathology*. 35, 178-181. [http://dx.doi.org/10.1590/S1982-](http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762010000300007)
470 [56762010000300007](http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762010000300007).

- 471 Cadet, P., Spaul, V.W., 2003. Effect of nematodes on the sustained production of sugarcane
472 in South Africa. *Field Crops Research*. 83, 91-100. <http://dx.doi.org/10.1016/S0378->
473 4290(03)00066-2.
- 474 Cardoso, M.O., Pedrosa, E.M.R., Ferris, H., Rolim, M.M., Vicente, T.F.da S., DAVID, M.F.
475 de L., 2015. Comparing sugarcane fields and forest fragments: The effect of disturbance on
476 soil physical properties and nematode assemblages. *Soil Use and Management*. 31, 397-407.
477 <https://doi.org/10.1111/sum.12190>.
- 478 Cardoso, M.O., Pedrosa, E.M.R., Rolim, M.M., Silva, Ê.F.F.E., Barros, P.A. de., 2012.
479 Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional
480 sugarcane and remaining of Atlantic Forest. *Environment and Monitoring Assessment*. 184,
481 3529-3544. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-011-2206-4>.
- 482 Cares, J.H., Huang, S.P., 1991. Nematode fauna in natural and cultivated cerrados of Central
483 Brazil. *Journal of Nematology*. 27, 237-243.
- 484 Cares, J.E., Huang, S.P., 2008. Soil nematodes, in: Moreira, F.M.S., Huising, E.J., Bignell,
485 D.E. (Eds.), *Sampling and Characterization of Below ground Biodiversity*. Earthscan,
486 London, pp.97-106.
- 487 Carneiro, R.M.D.G., Almeida, M.R.A., 2001. Técnica de eletroforese usada no estudo de
488 enzimas dos nematoides de galhas para identificação de espécies. *Nematologia Brasileira*. 25,
489 35-44.
- 490 Carvalho, P.C. de F., Barro, R.S., Neto, A.B., Nunes, P.A. de A., Moraes, A. de, Anghinoni,
491 I., Bredemeier, C., Bayer, C., Martins, A.P., Kunrath, T.R., Santos, D.T. dos, Carmona, F. de
492 C., Barro, S.T., Filho, W. de S., Almeida, G.M. de, Caetano, L.A.M., Cecagno, D., Arnuti, F.,
493 Denardin, L.G. de O., Bonetti, J. de A., Toni, C.A.G. de, Borin, J.B.M., 2018. Integrating the

- 494 pastoral component in agricultural systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 47, 1-12.
495 <http://dx.doi.org/10.1590/rbz4720170001>.
- 496 Carvalho, P.C. de F., Peterson, C.A., Nunes, P.A. de A., Martins A.P., Filho, W. de S.,
497 Bertolazi, V.T., Kunrath, T.R., Moraes, A. de, Anghinoni, I., 2018. Animal production and
498 soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification.
499 *Journal of Animal Science*. 96, 3513-3525. <https://doi.org/10.1093/jas/sky085>.
- 500 CONAB, 2018. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento.
501 Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília. [https://www.conab.gov.br/info-](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras)
502 [agro/safras/serie-historica-das-safras](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras): Accessed: November 28, 2018.
- 503 CONAB, 2019. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira
504 de grãos, 1-109.
- 505 Coutinho, R.R., Faleiro, V. de O., Farias Neto, A.L. de, Meneguici, J.L.P., Freitas, L.G., 2018.
506 Nematode communities as biological indicators of disturbance in agricultural systems.
507 *Nematropica*. 48, 186-197.
- 508 Dancey, C; Reidy, J., 2004. *Statistics without maths for psychology:using SPSS for windows*.
509 London: Prentice Hall.
- 510 Dias, W.P., Garcia, A., Silva, J.F.V., Carneiro, G.E. de S., 2010. Nematoides em Soja:
511 Identificação e Controle. *Embrapa soja. Circular Técnico*. 76, 1-8.
512 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/854178>.
- 513 Dias-Arieira, C.R., Ferraz, S., Freitas, L.G. de, Mizobutsi, E.H., 2003. Avaliação de
514 gramíneas forrageiras para o controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Nematoda).
515 *Acta Scientiarum Agronomy*. 25, 473-477. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v25i2.2163>.
- 516 EMBRAPA, 2016. ICLF in numb3r5. Acesso em abril de 2020.
517 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162252/1/2017-cpamt-iclf-numbers.pdf>.

- 518 EMBRAPA, 1997. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de
519 Solos, Rio de Janeiro.
- 520 Ferraz, L.C.C.B. As meloidoginoses da soja: passado, presente e futuro, in: Silva, J.F.V.
521 (Eds.), Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja. EMBRAPA Soja,
522 Sociedade Brasileira de Nematologia, Londrina, pp.15-38, 2001.
- 523 Freiberg, J.A., Sales Dambros, C.de, Rodrigues, E.N.L., Teixeira, R.A., Vieira, Â.D.H.N.,
524 Almeida, H.S. de, Carvalho, P.C. de F., 2020. Increased grazing intensity in pastures reduces
525 the abundance and richness of ground spiders in an integrated crop-livestock system.
526 *Agronomy for Sustainable Development*. 40, 1-10. [https://doi.org/10.1007/s13593-019-0604-](https://doi.org/10.1007/s13593-019-0604-0)
527 [0.](https://doi.org/10.1007/s13593-019-0604-0)
- 528 Gabriel, M., Kulczynski, S. M., Belle, C., Kirsch, V. G., Calderan-Bisognin, A., 2018. Reação
529 de gramíneas forrageiras a *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus brachyurus*. *Nematropica*. 48,
530 155-163. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/107827>.
- 531 Garrett, R.D., Niles, M.T., Gil, J.D.B., Gaudine, A., Chaplin-Kramer, R., Assmann, A.
532 Assmann, T.S., Brewer, K., Faccio Carvalho, P.C.d e, Cortner, O., Dynes, R., Garbach, K.,
533 Kebreab, E., Mueller, N., Peterson, C., Reis, J.C., Snow, V., Valentim, J., 2017. Social and
534 ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and
535 remaining uncertainty. *Agricultural Systems*. 155, 136-146.
536 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.05.003>.
- 537 Goulart, A.M.C., 2007. Diversidade de Nematóides em Agroecossistemas e Ecossistemas
538 Naturais. Embrapa Cerrados. Documentos 191, 1-71.
- 539 Goulart, A.M.C., Maerchão, R.L., Vilela, L., Santos Junior, J. de D. G., Sá, M.A.C., 2008.
540 Diversidade de nematoides em um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-
541 pecuária no Cerrado, in: Simpósio Nacional Cerrado 9; Simpósio Internacional Savanas

- 542 Tropicais 2, 2008. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre a sociedade, agronegócios e
543 recursos naturais, Brasília, pp.1-6.
- 544 Jenkins, W.R., 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from
545 soil. Plant Disease Reporter. 48, 692.
- 546 Kirsch, V.G., Kulczynski, S.M., Gomes, C.B., Bisognin, A.C., Gabriel, M., Bellé, C., Lima-
547 Medina, I., 2016. Characterization of *Meloidogyne* and *Helicotylenchus* species associated
548 with soybean in Rio Grande do Sul State. Nematropica. 46, 197-208.
549 <http://journals.fcla.edu/nematropica/article/view/90812/87044>.
- 550 Kunrath, T.R., Carvalho, P.C. de F., Cadenazzi, M., Bredemeier, C., Anghinoni, I., 2015.
551 Grazing management in an integrated crop-livestock system: Soybean development and grain
552 yield. Revista Ciência Agronômica. 46, 645-653. [http://dx.doi.org/10.5935/1806-](http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150049)
553 [6690.20150049](http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150049).
- 554 Lehmann, P.S., Machado, C.C., Tarrago, M.T., 1976. Frequência e severidade de doenças da
555 soja nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Fitopatologia Brasileira. 1, 183-193.
- 556 Lima, E.A., Mattos, J.K., Moita, A.W., Carneiro, R.G., Carneiro, R.M.D.G., 2009. Host status
557 of different crops for *Meloidogyne ethiopica* control. Tropical Plant Pathology. 34, 152-157.
558 <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762009000300003>.
- 559 Lima, F.S.O., Correa, V.R., Nogueira, S.R., Santos, P.R.R., 2017. Nematodes Affecting
560 Soybean and Sustainable Practices for Their Management. In: Soybean - The Basis of Yield.
561 Biomass and Productivity. 2, 1-64. <http://dx.doi.org/10.5772/67030>.
- 562 Machado, A.C.Z., 2014. Current nematode threats to Brazilian agriculture. Current
563 Agricultural Science and Technology. 20, 26-35.
564 <http://dx.doi.org/10.18539/CAST.V20I1.3737>.

- 565 Machado, A.C.Z., Amaro, P.M., Silva, S.A. da., 2019. Two novel potential pathogens for
566 soybean. PLoS ONE. 14, e0221416. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221416>.
- 567 Mai, W.F., Mullin, P.G., 1996. Plant-parasitic nematodes: A pictorial key to genera. Ithaca,
568 NY: Cornell University Press.
- 569 Matos, D.S.S., Pedrosa, E.M.R., Guimarães, L.M.P., Rodrigues, C.V.M.A., Barbosa, N.M.R.,
570 2011. Relações entre a nematofauna e atributos químicos de solo com vinhaça. Nematropica.
571 41, 23-38. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/76295>.
- 572 Mills, A.A.S, Adl, M.S., 2011. Changes in nematode abundances and body length in response
573 to management intensive grazing in a low-input temperate pasture. Soil Biology &
574 Biochemistry. 43, 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.09.027>.
- 575 Mills, A.A.S., Price, G.W., Fillmore, S.A.E., 2020. Responses of nematode, bacterial, and
576 fungal populations to high frequency applications and increasing rates of biosolids in an
577 agricultural soil. Applied Soil Ecology. 148, 103481.
578 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103481>.
- 579 Niblack, T.L., Heinz, D., Smith, G.S., Donald, P.A., 1993. Distribution, Density, and
580 Diversity of *Heterodera glycines* in Missouri 1. Supplement to Journal of Nematology. 25,
581 880-886.
- 582 Oka, Y., 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments-A review.
583 Applied Soil Ecology. 44, 101-115. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.11.003>.
- 584 Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin,
585 P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, H.M.H., Szoecs, E., Wagner, H.,
586 2019. Vegan: community ecology package. R package version 2.5-5. [https://CRAN.R-](https://CRAN.R-project.org/package=vegan)
587 [project.org/package=vegan](https://CRAN.R-project.org/package=vegan)

- 588 Peterson, C.A., Amélie, V.T.E., Gaudin, C.M., 2018. Ways forward for resilience research in
589 agroecosystems. *Agricultural Systems*. 162, 19-27.
590 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.011>.
- 591 Pontes, L.S.D., Barro, R.S., Savian, J.V., Berndt, A., Moletta, J.L., Silva, V.P. da, Bayer, C.,
592 Carvalho, P.C.F., 2018. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in
593 temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen
594 fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 253, 90-97, 2018.
595 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.009>.
- 596 Rodrigues, C.V.M.A., Pedrosa, E.M.R., Oliveira, A.K.S., Leitão, D.A.H.S., Oliveira, N.J.V.,
597 2011. Distribuição vertical da nematofauna associada à cana-de-açúcar. *Nematropica*, 41, 5-
598 11.
- 599 Santiago, D.C., Arieira, G. de O., Almeida, E. de, Guimarães, M. de F., 2012. Responses of
600 soil nematode communities to agroecological crop management systems. *Nematology*. 14,
601 209-221. <https://doi.org/10.1163/138855411X587103>.
- 602 Seinhorst, J.W., 1959. A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to
603 Anhydrous glycerin. *Nematologica*. 8, 29-32.
- 604 Sharma, R.D., Cavalcante, M.J.B., Moura, G.M., Valentin, J.F., 2002. Nematoides associados
605 a genótipos de soja cultivados no acre, brasil. *Nematologia Brasileira*. 26, 109-111.
- 606 Silva, F.D. da, Amado, T.J.C., Bredemeier, C., Bremm, C., Anghinoni, I., Carvalho, P. C. de
607 F., 2014. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its
608 relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop-livestock systems under no-till.
609 *European Journal of Agronomy*. 57, 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.009>.

- 610 Silva, R.A., Nunes, N.A., Santos, T.F.S., Iwano, F.K., 2018. Efeito da rotação e sucessão de
611 culturas no manejo de nematoides da soja em área arenosa. *Nematropica*. 48, 198-206.
612 <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/107832>.
- 613 Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: a Basic System of Soil Classification for Making*
614 *and Interpreting Soil Surveys (2nd Ed.)*, Agric. Handb. No. 436, USDA Natural Resources
615 Conserv. Serv., Washington, D.C., U.S. Govt. Print.
- 616 Souza Filho, W. de, Nunes, P.A. de A., Barro, R. S., Kunrath, T.R., Almeida, G.M. de, Genro,
617 T.C.M.; Bayer, C., Carvalho, P.C.F., 2019. Mitigation of enteric methane emissions through
618 pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal
619 performance and environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*. 213, 968-975.
620 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.245>.
- 621 Stirling, G.R., Moody, P.W., Stirling, A.M., 2010. The impact of an improved sugarcane
622 farming system on chemical, biochemical and biological properties associated with soil
623 health. *Applied Soil Ecology*. 46, 470-477. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.08.015>.
- 624 Subbotin, S.A., Vovlas, N., Yeates, G.W., Hallmann, J., Kiewnick, S., Chizhov, V.N.,
625 Manzanilla-López, R. H., Inserra, R.N., Castillo, P., 2015. Morphological and molecular
626 characterisation of *Helicotylenchus pseudorobustus* (Steiner, 1914) Golden, 1956 and related
627 species (Tylenchida: Hoplolaimidae) with a phylogeny of the genus. *Nematology*. 17, 27-52.
628 <https://doi.org/10.1163/15685411-00002850>.
- 629 Telles, T.S., Lourenço, M.A.P., Oliveira, J.F., Costa, G.V., Barbosa, G.M.C., 2019. Soil
630 conservation practices in a watershed in Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de*
631 *Ciências*. 91, e20180578. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180578>.

- 632 Uesugi, K., Katsura, M., Uwatoko, N., Tateishi, Y., Murata, G., Iwabuchi, K., 2018.
633 Suppressive effect of black oat, *Avena strigosa*, kh1a on *Meloidogyne* spp. *Nematology*. 20,
634 387-396. <https://doi.org/10.1163/15685411-00003146>.
- 635 Uzma, I., Nasira, K., Firoza, K., Shahina, F., 2015. Review of the genus *Helicotylenchus*
636 Steiner, 1945 (Nematoda: Hoplolaimidae) with updated diagnostic compendium. *Pakistan*
637 *Journal of Nematology*. 33, 115-160.
- 638 Villenave, C.; Cadet, P., 1998. Interactions of *Helicotylenchus dihystera*, *Pratylenchus*
639 *pseudopratensis*, and *Tylenchorhynchus gladiolatus* on two plants from the Soudano-Sahelian
640 Zone of west Africa. *Nematropica*. 28, 31-39.
- 641 Yan, G., Plaisance, A., Huang, D., Handoo, Z.A., 2017. First report of the spiral nematode
642 *Helicotylenchus microlobus* infecting soybean in North Dakota. *Journal of Nematology*. 49,
643 1-1. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2017-039>.
- 644 Zavislak, F.D., Ascari, J. P., Mendes, I.R.N., Araújo, D.V., 2018. Population fluctuation of
645 nematodes in soybean/corn succession. *Nucleus*. 15, 485-496.
646 <https://doi.org/10.3738/1982.2278.2891>.

2 DISCUSSÃO GERAL

Os dados obtidos neste estudo resultaram de duas amostragens realizadas na pastagem de aveia preta+azevém no inverno e da soja no verão, em um experimento de integração lavoura-pecuária, conduzido há 15 anos sob diferentes intensidades de pastejo. Este trabalho representou uma oportunidade privilegiada para o estudo das comunidades de nematoides em sistemas integrados de produção agropecuária, tema de grande carência de informações a nível mundial. A comunidade de nematoides de vida livre e fitoparasitas do solo foi utilizada para auxiliar na definição dos limites de intensidade de pastejo, pois o objetivo final é equilibrar uma exploração agropecuária economicamente viável e a manutenção/melhoria da qualidade do ambiente. Além disto, o estudo teve o objetivo de reconhecer as espécies de nematoides fitoparasitas presentes na área, já que os sistemas de produção são confrontados por novas ou emergentes espécies de nematoides que se tornam sérios problemas em pequenos espaços de tempo.

A ILP é reconhecidamente um sistema de produção que busca aliar intensificação e sustentabilidade, priorizando as práticas de manejo, o uso eficiente de insumos, a diversificação de culturas, o que resulta em aumento da renda do produtor rural e melhor qualidade ambiental (PONTES et al., 2018). No sul do Brasil cerca de mais de 10 milhões de hectares apresentam potencial para utilização como ILP, visto que grande parte destas terras permanece improdutiva durante o período de inverno, em pousio ou destinadas unicamente às plantas de cobertura do solo e acúmulo de palha (MORAES et al., 2014). As pastagens de inverno de aveia e azevém são altamente produtivas e podem ser utilizadas para o pastejo dos animais no inverno e ainda produzir biomassa vegetal suficiente para o plantio direto do verão (VILELA et al., 2008).

Entretanto, a introdução do pastejo bovino ainda é questionada por ser prejudicial ao solo, o que acaba se tornando um entrave para a expansão desses sistemas. Realmente, o pastejo intensivo pode suplantiar os benefícios da ILP e resultar em prejuízos ao solo, pela alteração dos regimes de temperatura e umidade, redução do teor de carbono orgânico e aumento da compactação superficial (NEVES NETO et al., 2013), mas se o pastejo bovino de inverno for realizado de forma adequada, resultará em melhoria das propriedades do solo, aumento e estabilidade de renda do produtor, com a intensificação sustentável do uso do solo.

O uso de organismos do solo como indicadores de qualidade ambiental na ILP ainda é recente, mas já é conhecido que o pastejo pode aumentar a diversidade, a atividade e a

biomassa dos organismos do solo, pela introdução dos resíduos culturais e deposição dos dejetos animais. A remoção da biomassa aérea provocada pelo pastejo aumenta a atividade e o crescimento radicular das gramíneas gerando um incremento na taxa de rizodeposição e decomposição das raízes (LIN et al., 2009; HEWINS et al., 2016). Por outro lado, o pastejo intenso pode prejudicar a atividade biológica, devido à compactação do solo, redução da porosidade e infiltração de água, alteração da temperatura e umidade do solo, em virtude da reduzida biomassa vegetal na superfície do solo (NEVES NETO et al., 2013).

Buscando monitorar a qualidade do solo em uma ILP este trabalho buscou conhecer a abundância, a diversidade e a estrutura trófica das comunidades de nematoides e as implicações das diferentes alturas de pastejo dos bovinos no inverno e da cultura da soja cultivada em sucessão. Além disso, utilizou-se uma área de pastagem natural como referência no estudo. A proposta do uso de nematoides como indicadores de qualidade do solo é baseada nas observações de que estes organismos são encontrados em abundância em múltiplos e variados biomas; apresentam diversidade trófica; possuem ciclo biológico relativamente curto; constituem comunidades multiespecíficas, ocorrendo tanto interações entre os seus membros, quanto entre estes e outros componentes da biota do solo; certos táxons, ou grupos de táxons, comprovadamente apresentam sensibilidade diferenciada frente a distúrbios ocorridos no ambiente; são integradores das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, podem ser identificados e quantificados sem maiores dificuldades, pelo menos até o nível genérico (CARES, 2006).

Para este trabalho, foi possível observar que a conversão da pastagem natural em cultivo agrícola reduziu a abundância e a diversidade de nematoides anelados. Isto já foi evidenciado por diversos autores (CAIXETA et al., 2016; CARDOSO et al., 2015; TOMAZINI et al., 2008), indicando a viabilidade de uso dessa família como um táxon-chave na diferenciação de ambientes naturais e agrícolas. A decomposição da matéria orgânica no sistema foi caracterizada por nematoides bacteriófagos, principalmente pelas famílias Cephalobidae e Rhabditidae. Sendo encontradas em maiores percentagens no pastejo moderado e leve no inverno e no pastejo intenso durante o verão. Entre os nematoides de vida livre sensíveis a perturbação, a família Dorylaimidae foi dominante na área, no inverno no pastejo intenso e moderado, e no verão no pastejo leve. Embora o sistema seja manejado por 15 anos sob sucessão de culturas, o número de nematoides parasitas de plantas foi relativamente baixo no solo. Os gêneros *Xiphinema* e *Tylenchus* encontrados no sistema são

associados a áreas de floresta nativa ou cultivada, o que indica que podem ser mais sensíveis à perturbação ambiental (MATTOS et al.,2006; CARDOSO et al.,2012).

A identificação em nível de espécie dos fitonematoides de maior importância para agrícola revelou a presença do nematoide-das-galhas *Meloidogyne javanica* e do nematoide espiralado *Helicotylenchus dihystera*. Embora a presença de *M. javanica* tenha sido detectada apenas em duas alturas de pastejo e na pastagem natural, isso se constitui em um alerta para o manejo, pois se trata de uma das espécies que causa maior dano à produção de soja no Brasil, atualmente. A dispersão dos nematoides a grandes distâncias só é possível com a ajuda dos implementos agrícolas, pisoteio do gado e humanos, chuva, vento, etc, e isso deve ser evitado a todo o custo. Diversos autores apontam o uso de gramíneas na rotação/sucessão de culturas para o controle de nematoides das galhas e das lesões radiculares. Uma possibilidade é que a área não tenha apresentando um elevado número de nematoides fitoparasitas em função da presença das gramíneas (BORGES et al., 2010; NEVES, 2013). A presença das espécies do nematoide espiralado é comum em amostras de solo de muitas culturas agrícolas. Nos últimos tempos, o *Helicotylenchus dihystera* tem sido reportado com maior frequência e em maiores densidades populacionais, principalmente em lavouras de soja (MACHADO et al.,2018). Apesar disso, muitos autores acreditam que não seja um fitonematoide de importância primária (ANTÔNIO, 1992; KIRSCH et al., 2016), mas sua presença deverá também ser monitorada, visto que algumas espécies já foram detectadas causando dano em culturas de soja, milho e ervilha (SHARMA et al., 1993; MACHADO et al.,2015; YAN et al., 2017). Diante disso, se faz necessário maiores estudos sobre o impacto nas populações de *Meloidogyne* sp. e *Helicotylenchus* sp. nas gramíneas e leguminosas utilizadas na rotação e ou sucessão culturas em sistemas de integração lavoura-pecuária.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu conhecer a estrutura e a diversidade das comunidades de nematoides e seu uso como bioindicadores de qualidade ambiental do solo em um sistema de integração lavoura-pecuária, constituído da sucessão soja-pastagem, manejado com diferentes intensidades de pastejo a mais de 17 anos. Os resultados evidenciam que as comunidades de nematoides são altamente influenciáveis pelas práticas agrícolas e que a conversão de uma pastagem natural em área agrícola reduz ou extingue alguns nematoides do solo e favorece

outros, que podem se tornar sérios problemas em pouco tempo. O pastejo manejado em intensidades reduzidas (ILP 10) ou moderadas (ILP 20 e 30), associado à cobertura permanente do solo, mantém e promove a abundância das comunidades de nematoides do solo. A soja, manejada em sucessão, tende a reduzir alguns grupos tróficos, como o de nematoides onívoros e predadores, e aumentar os bacteriófagos e parasitas de plantas. Este é o primeiro trabalho sobre as comunidades de nematoides em uma integração lavoura-pecuária no estado do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- ANTÔNIO, H. **Fitonematoides na cultura da soja**. Informe Agropecuário, v.16, p.60-65, 1992.
- ANGHINONI, I. et al. **Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio-direto**. In: FONSECA, A.; CAIRES, E. F.; BARTZ, G. (Eds.). Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. Fundação ABC, p.272-309, 2011.
- ARIEIRA, G.O. et al. Responses of free-living and plant-parasitic nematodes to sugarcane crop in two soils. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.570-575, 2013.
- ASSMANN, J. M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a longterm integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 52-59, 2014.
- ASMUS G.L. et al. Reação de algumas culturas de coberturas utilizadas no sistema plantio direto a *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, v.29, p.47-52, 2005.
- VERY, L.; THOMAS, J. H. **Feeding and defecation**. In: RIDDLE, D.L.; BLUMENTHAL, T.; MEYER, B.J.; PREISS, J.R. C. elegans II. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, p.679-716, 1997.
- BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, v. 111, p. 1-12, 2012.
- BORGES, D.C. et al. Reação de genótipos de *Avena* spp. a *Meloidogyne incognita* raça 4. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, p. 24-28, 2009.
- BORGES, D.C. et al. Reação de aveias a *Pratylenchus brachyurus*. **Tropical Plant Pathology**, v.35, p 17-22, 2010.
- BORGES, D.C. et al. Susceptibilidade de algumas coberturas vegetais a *Pratylenchus brachyurus*. In XXV congresso Brasileiro de Nematologia, Petrolina 2003. **Nematologia Brasileira**, v. 27, p. 238-239, 2003
- BONGERS, T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematodes species composition. **Oecologia**, v.83, p.14-19, 1990.
- BONGERS, T; BONGERS M. Functional diversity of nematodes. **Applied Soil Ecology**, v.10, p.239-251, 1998.
- BONGERS, T; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 4, p. 224-228, 1999.
- BRIAR, S.S. et al. Nematode community responses to a moisture gradient and grazing along a restored riparian corridor. **European Journal of Soil Biology**, v.50, p.32-38, 2012.
- CAIXETA, L.B. PEREIRA.;T.J.;CASTANEDA,N.E.N.;CAIRES,J.E.Nematode communities as indicators of the status of a soil ecosystem influenced by mining practices in Brazil. **Nematology**, v.18, p. 265-276, 2016.
- CARES, J.E; HUANG, S.P. **Comunidades de nematoides de solo sob diferentes sistemas na Amazônia e Cerrados brasileiros**. In: Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., Brussaard, L. (Org.). Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. V.1, Lavras, MG: UFLA, p.409-444, 2008a.

CARES J.E; HUANG, S.P. Soil Nematodes. In: F. M. S. MOREIRA, E.J. HUISING AND D.E. BIGNELL (eds). **Sampling and Characterization of Below ground Biodiversity**. Earthscan, London, p. 97-106, 2008b.

CARES, J. E. **Nematoides como indicadores ambientais de solo**. In Congresso Brasileiro de Nematologia. Campos de Goytacazes, RJ. Sociedade Brasileira de Nematologia, v.26, p.14-16, 2006.

CARES, J.H.; HUANG, S.P. Nematode fauna in natural and cultivated cerrados of Central Brazil. **Journal of Nematology**, v.27, p. 237-243, 1991.

CARDOSO, M. O. et al. Comparing sugarcane fields and forest fragments: The effect of disturbance on soil physical properties and nematode assemblages. **Soil Use and Management**, v. 31, p. 397-407, 2015.

CARDOSO, M. O. et al. Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of Atlantic Forest. **Environment and Monitoring Assessment**, v. 184, p. 3529-3544, 2012.

CARVALHO, P.C. et al. Integrating the pastoral component in agricultural systems. **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 47, p.1-12, 2017.

CARVALHO, P.C.F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, p. 259-273, 2010.

CARVALHO, J. P.; COIMBRA, J. L.; SANTOS, F. S. Diversidade de fitonematóides em áreas nativas e de agricultura no cerrado baiano. **Magistra**, v. 23, p. 262-267, 2011.

CARVALHO, P. C. F. et al. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 5, p.1040-1046, 2014.

CECAGNO, D. et al. Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no-till, integrated crop-livestock system under different grazing intensities. **Soil and Tillage Research**, v.156, p. 54-62, 2016.

COUTINHO, R.R. **Estudo das comunidades de nematoides como bioindicadores de distúrbios em sistemas agrícolas**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, p. 80. 2014.

CONTE, O. et al. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 730-739, 2008.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: setembro de 2018.

CHÁVEZ, L. F. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1254-1261, 2011.

DIAS-ARIEIRA, C.R. et al. Avaliação de gramíneas forrageiras para o controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Nematoda). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, p. 473-477, 2003.

DIAS, W. P. et al. **Nematoides em Soja: Identificação e Controle**. Londrina: Embrapa, Circular Técnica, v.76, p. 8, 2010.

DECRAEMER, W; GERAERT,E. Ectoparasitic nematodes. In: PERRY, R; MOENS, M. (Eds). **Plant Nematology**. Wallingford: CABI Publishing, p.153-184, 2006.

DE LEY, P; BLAXTER, M. A new system for Nematoda: combining morphological characters with molecular trees, and translating clades into ranks and taxa. **Nematology Monographs and Perspectives**. v. 2, P. 633-653, 2004

DE SOUZA FILHO, W. **Intensidade de emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global em um sistema integrado de produção agropecuária no subtropical brasileiro**. Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Brasil- RS, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, p.122, 2017.

DORÉ, T. et al. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. **European Journal of Agronomy**, v. 34, p.197–210, 2011.

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.

ELLIOT, C.A. **Diversity indices**. In: **Principles of managing forests for biological diversity**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, p.370, 1990.

EMBRAPA, 2016. **Rede de Fomento ILPF: ILPF em números**. Sinop: embrapa agrossilvipastoril. Acesso em março de 2018. <https://www.embrapa.br/en/buscade-publicacoes/publicacao/1064859/ilpf-em-numeros>.

FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The Way Forward for Sustainable Production Intensification. **Integration Crop Management**, v.13, p. 64, 2010.

FERRIS, H. et al. A framework for soil food web diagnostic: extension of the nematode faunal analysis concept. **Applied Soil Ecology**, v.18, p.13-29, 2001.

FERRAZ, L. C. C. B. As meloidoginoses da soja: passado, presente e futuro. in Silva, J.F.V. (Org.) Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja. Londrina: **Embrapa Soja/Sociedade Brasileira de Nematologia**, p.15-38, 2001.

FERRAZ, S. et al. **Manejo sustentável de fitonematoides**. Viçosa: Ed.ufv, p.306, 2010.

FERRAZ, L.C.C. B; BROWN, D.J.F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. L.C.C.B. Ferraz e D.J.F. Brown (Orgs.). Manaus: NORMA EDITORA, p. 251, 2016.

FIGUEIRA, F.F. et al. Estrutura da população de nematoides do solo em uma unidade de produção agroecológica no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, p. 223-229. 2011.

FOLEY, J.A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337-342, 2011.

FLORES, J. P. C. et al. Propriedades químicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto com aplicação superficial de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2385-2396, 2008.

FRECKMAN, D.W; C.H. ETTEMA. Assessing nematode communities in agro-ecosystems of varying human intervention. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 45, p. 239-261, 1993.

- FREIBERG, J.A. **Efeito da intensidade de pastejo na estrutura de comunidade de aranhas no solo**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, p-71, 2017.
- GIL, J. D. B. et al. Determinants of crop-livestock integration in Brazil: evidence from the household and regional levels. **Land Use Policy**, v. 59, p. 557-568, 2016.
- GOULART, A.M.C. Análise de dados em estudos de diversidade de nematoides. **Embrapa Cerrados**, v. 251, p.1-46, 2009.
- GOULART, A. M. C. Diversidade de nematoides em agroecossistemas e ecossistemas naturais. **Embrapa Cerrados**, v.191, p. 1-71, 2007.
- GOULART, A.M.C. et al. **Diversidade de nematoides em um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado**. In SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9º SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2008. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre a sociedade, agronegócios e recursos naturais, Brasília, DF, 2008.
- HEWINS, D.B. et al. Extracellular enzyme activity response to defoliation and water addition in two ecosystems of the mixed grass prairie. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 230, p. 79-86, 2016.
- HU, J. et al. Nematode communities response to long-term grazing disturbance on Tibetan plateau. **European Journal of Soil Biology**, v. 69, p. 24-32, 2015.
- HUANG, S.P. et al. Nematode biodiversity of five different land use systems in two Brazilian tropical states, Rondônia and Acre. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, p.305, 1998.
- HUGOT, J.P. et al. Biodiversity in helminthes and nematodes as a field study: an overview. **Nematology**, v. 3, p. 199-208, 2001.
- INOMOTO, M.M.; ASMUS, G.L. Host Status of Graminaceous Cover Crops for *Pratylenchus brachyurus*. **Plant Disease**, v. 94, p. 1022-1025, 2010.
- KUNRATH, T.R. et al. Grazing management in an integrated crop-livestock system: soybean development and grain yield. **Ciência Agrônômica**, v. 46, p. 645-653, 2015.
- KIRSCH, V. G. et al. Characterization of *Meloidogyne* and *Helicotylenchus* species associated with soybean in Rio Grande do Sul State. **Nematropica**, v.46, p.197-208, 2016.
- KITAGAMI, Y. et al. Distribution and community structure of soil nematodes in coastal Japanese pine forests were shaped by harsh environmental conditions. **Applied Soil Ecology**, v.119, p. 91-98, 2017.
- LE ROUX, X. et al. Effects of aboveground grazing on coupling among nitrifier activity, abundance and community structure. **The ISME Journal**, v. 2, p. 221-232, 2008.
- LIMA, E.A. et al. Host status of different crops for *Meloidogyne ethiopica* control. **Tropical Plant Pathology**, v.34, p. 152-157, 2009.
- LIMA, F.S.O. et al. Ocorrência de *Tubixaba* sp. em lavouras comerciais de soja no estado do Tocantins. **Tropical Plant Pathology**, v.34, p.207, 2009.
- LIN, X. et al. Fluxes of CO₂, CH₄, and N₂O in an alpine meadow affected by yak excreta on the Qinghai- Tibetan plateau during summer grazing periods. **Soil Biology Biochemistry**, v 41, p. 718-725. 2009.

- LOPES, E. A; FERRAZ, S. Importancia dos fitonematoides na agricultura. In: OLIVEIRA, C.M.; DOS SANTOS, M.A.; CASTRO, L.H.S.; **Diagnose de Fitonematoides**. Campinas, SP. Millenium Editora, p. 9-10, 2016.
- LOREAU, M. Microbial diversity, producer-decomposer interaction and ecosystem processes: a theoretical model. **Biological Sciences**, v. 268, p. 303-309, 2001.
- MACEDA, A. et al. **Ocorrência de *Scutellonema brachyurus* Andrassy em soja no Brasil**. In: Congresso International Tropical Nematology, Maceió: ONTA: SBN, Resumo 128, 2009.
- MACHADO, A.C.Z. Current nematode threats to Brazilian agriculture. **Current Agricultural Science and Technology**, v.20, p.26-35, 2014.
- MACHADO, A. C. Z. et al. **Reação de cultivares de soja a *Helicotylenchus dihystera***. In: XXXV Congresso Brasileiro de Nematologia, Bento Gonçalves, 2018.
- MACHADO, A. C. Z. et al. **Parasitismo de *Helicotylenchus dihystera* nas culturas da soja e milho**. Anais. XXXII Congresso Brasileiro de Nematologia, 2015.
- MALHERBE, S; MARAIS, D. Nematode community profiling as a soil biology monitoring tool in support of sustainable tomato production: A case study from South Africa. **Applied Soil Ecology**, v. 93, p.19–27, 2015.
- MAGURRAN, A.E. Ecological diversity and its measurement. **University Press, Cambridge, UK**. p. 179, 1988.
- MANZANILLA-LÓPEZ, R.H. et al. Plant diseases caused by nematodes. In CHEN, Z. X.; CHEN, S.Y.; DICKSON, D. W. **Nematology advances and perspectives. Nematode management and utilization**. Wallingford, Beijing: CBI Publishing, p.637-716, 2004.
- MARTINS, A.P. et al. **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Boletim Técnico UFRGS, Porto Alegre, v.2, p.102, 2015.
- MARTINS, A. P. et al. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop–livestock system under different grazing intensities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 195, p. 18-28, 2014.
- MATTOS, J.K.A. et al. Grupos tróficos da comunidade de nematoides do solo em oito sistemas de uso da terra nos cerrados do Brasil central. **Nematologia Brasileira**, v. 30, p. 267-273, 2006.
- MILLS, A. A; ADL, M.S. Changes in nematode abundances and body length in response to management intensive grazing in a low-input temperate pasture. **Soil Biology Biochemistry**, v. 43, p. 150-158, 2011.
- MORAES, A. et al. Integrated crop – livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v.57, p.4–9, 2014.
- MOREIRA, W. H. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 389-400, 2012.
- MUÑOZ-ROJAS, M. Soil quality indicators: a critical tool in ecosystem restoration. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v.5, p.1-13, 2018.
- NEHER, D. A. Role of nematode in soil health and their use as indicator. **Journal of Nematology**, v. 33, p. 161-168, 2001.

- NEHER, D.A.; et al. Ecosystem type affects interpretation of soil nematode community measures. **Applied Soil Ecology**, v.30, p.47-64, 2005.
- NEHER, D. A. Ecology of Plant and Free-Living Nematodes in Natural and Agricultural Soil. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 371–394, 2010
- NEUFELD, H. Â. D. **Bioindicadores de qualidade do solo em um sistema integrado de produção agropecuária**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo, RS, p.74, 2016.
- NEVES, D.L. Reprodução de *Pratylenchus brachyurus* em diferentes gramíneas forrageiras. **Global Science and Technology**, v. 6, p.134 – 140, 2013.
- NEVES NETO, D.N. et al. Análise espacial de propriedades do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**. v.17, p.995-1004, 2013.
- NILES, R. K; FRECKMAN, D. W. From the ground up: nematode ecology in bioassessment and ecosystem health. In: BARTELS, J.M. (Ed.). **Plant and nematode interactions**. Madison: ASA:CSSA:SSSA, p. 65-85, 1998.
- NORTON, D.C; NIBLACK, T. L. Biology and ecology of nematodes. In: Nickle WR. **Manual of Agricultural Nematology**, p. 47-74, 1991.
- PIELOU, E. C. **Mathematical ecology**. Wiley, New York, USA,1977.
- PONTES, L.S.D. et al. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 253, p. 90–97, 2018.
- PROVETE, D.B. et al. **Estatística Aplicada à Ecologia utilizando o R**. Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto– SP, 2011.
- RAVICHANDRA, N. G. **Horticultural Nematology**. New Delhi: Springer India, p. 41, 2014.
- RODRIGUES, C.S. **Comunidades de nematoides associadas às principais fitofisionomias do cerrado do Parque Nacional de Brasília**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília-DF, Programa de Pós-graduação em Fitopatologia, p. 67, 2011.
- ROSSI, J.P. et al. Microspatial structure of a plantparasitic nematode community in sugar-cane field in Martinique. **Applied Soil Ecology**, v. 3, p. 17-26, 1996.
- SALTON, J.C. et al. **Aggregation of an Oxisol under management systems for 14 years in the Midwest of Brazil**. In: 19th World Congress of Soil Science. Soil Solutions for a Changing World: Proceedings, IUSS/ASSSI, Brisbane, p. 13–16, 2010.
- SALTON, J.C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.11–21, 2008.
- SALTON, J.C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, p.70–79, 2013.
- SILVA, R. F. et al. Análise conjunta de propriedades físicas e biológicas do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1277-1283, 2011.

SHI, X. M. et al. Grazing exclusion decreases soil organic C storage at an alpine grassland of the Qinghai-Tibetan Plateau. **Ecological Engineering**, v. 57, p. 183-187, 2013.

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. 74-88, 2010.

SHARMA, R. D., D. B. et al. Efeito de *Helicotylenchus dihystera* sobre trigo e ervilha cultivados em solos provenientes de três sistemas de preparo. **Nematologia Brasileira**, v. 17, p.85-95, 1993.

SCHMITT, D.P; NORTON, D.C. Relationships of plant parasitic nematodes to site in native Iowa Prairies. **Journal of Nematology**, v.4, p. 200-206, 1972.

SCHUSTER, M. Z. et al. intensities affect weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop–livestock system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 232, p. 232–239, 2016.

SCHORPP, Q; SCHRADER, S. Dynamic of nematode communities in energy plant cropping systems. **European Journal of Soil Biology**, v.78, p. 92-101, 2017.

TROFYMOW, J. A. E; COLEMAN, D.C. **The role of bacterivorous and fungivorous nematodes in cellulose and chitin decomposition in the context of a root \rhizosphere \soil conceptual model.** In Freckman, D.W (ed). *Nematodes in soil ecosystems*. Austin University of Texas Press, p.117-38, 1982.

TOMAZINI, M.D. et al. Estrutura trófica e índices de maturidade de comunidades de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. **Nematologia Brasileira**, v.32, p. 220-230, 2008.

UESUGI, K. et al. Suppressive effect of black oat, *Avena strigosa*, KH1a on *Meloidogyne* spp. **Nematology**, v. 20, p. 387-396, 2018.

VILELA, L. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p.1127-1138, 2011.

WASILEWSKA, L. The effects of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities. **Pedobiologia**, v. 38, p. 111, 1994

WALL, J.W. et al. Nematode community and trophic structure along a sand dune succession. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.35, p. 293-301, 2002.

WANG, K.H. et al. Cattle grazing increases microbial biomass and alters soil nematode communities in subtropical pastures. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 1956–1965, 2006.

WANG, X. et al. Grazing induces direct and indirect shrub effects on soil nematode communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v.121. p.193–201, 2018.

WRIGHT, I.A et al. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 1010-1015, 2011.

WHITFORD, W.G. et al. The role of nematodes in decomposition in desert ecosystems. In: FRECKMAN, D.W. (Ed.) **Nematodes in soil ecosystems**. Austin: University of Texas Press, p.98-116, 1982.

YAN, G. et al. First Report of the Spiral Nematode *Helicotylenchus microlobus* Infecting

Soybean in North Dakota. **Journal of Nematology**, v. 49, p.1–1, 2017.

YEATES, G. W. et al. Feeding habits in nematode families – an outline for soil ecologists. **Journal of Nematology**. v. 25, p.315-331, 1993.

YEATES, G.W. **Feeding in free-living nematodes: a functional approach**. In: PERRY,R.N.; Wright, D.J (Ed.) The physiology and biochemistry of free living and plant-parasitic nematodes. Wallingford: CABI, p. 245-2269, 1998.

YEATES, G. W. Modification and quantification of the nematode maturity index. **Pedobiologia**, v.38, p. 97-101, 1994.

YEATES, G.W.; BONGERS, T. Nematode diversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, p. 113-135, 1999.

YEATES, G.W; KING, K.L. Soil nematodes as indicators of the effect of management on grasslands in the New England Tablelands (NSW): comparison of native and improved grasslands. **Pedobiologia**, v. 41, p. 526-536, 1997.

ZAMITH, A.P.L; LORDELLO, L.G.E. Algumas observações sobre nematoides em solo de mata e em solo cultivado. **Revista de Agricultura**, v.32, p.183-188, 1957.

ZHOU, X. et al. Intermediate grazing intensities by sheep increase soil bacterial diversities in an Inner Mongolian steppe. **Biology and Fertility of Soils**, v. 46, p. 817-824, 2010.