

JOSÉ OLÍVIO LOPES VIEIRA JÚNIOR

**COMUNIDADES DE NEMATOIDES DO SOLO EM CAFEEIROS
AGROFLORESTAIS COM DIFERENTES SISTEMAS DE ADUBAÇÃO
ORGÂNICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

V657c
2016
Vieira Júnior, José Olívio Lopes, 1988-
Comunidades de nematoides do solo em cafeeiros
agroflorestais com diferentes sistemas de adubação orgânica /
José Olívio Lopes Vieira Júnior. – Viçosa, MG, 2016.
xi, 45f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Eduardo de Sá Mendonça.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Adubos e fertilizantes orgânicos. 2. Bovino - Esterco.
3. Bioindicadores. 4. Cafeeiro. 5. Agroecologia. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-graduação em Agroecologia. II. Título.

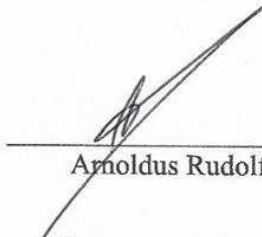
CDD 22 ed. 631.87

JOSÉ OLÍVIO LOPES VIEIRA JÚNIOR

**COMUNIDADES DE NEMATOIDES DO SOLO EM CAFEZEIROS
AGROFLORESTAIS COM DIFERENTES SISTEMAS DE ADUBAÇÃO
ORGÂNICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 29 de julho de 2016.



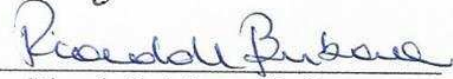
Arnoldus Rudolf Maria Janssen




Eduardo Ariel Mondino



Irene Maria Cardoso
(Coorientadora)



Ricardo Luís Louro Berbara
(Coorientador)



Eduardo de Sá Mendonça
(Orientador)

*"A minha família, que sempre foi o alicerce para que eu
me transformasse na pessoa que sou hoje."*

Dedico

*“A vida nos ensina a procurar os maiores tesouros
nas coisas mais simples”*

Jé Geraldo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida!

Aos meus pais José Olívio e Rosimar e meu irmão Ítalo que são meu alicerce e sempre apoiam minhas escolhas e acreditam em meu potencial. Vocês são os melhores pais e irmão que qualquer pessoa poderia ter. Agradeço por vocês estarem sempre presentes em minha vida. A minha namorada, companheira e amiga Renata que está sempre ao meu lado, principalmente no dia em que decidi que queria ser mestre. Serei eternamente grato por acreditar em mim e me mostrar do que sou capaz, esta conquista é nossa. Agradeço a minha sogra Maria Helena pelo carinho e a minha cunhada Nathália pela amizade e boas conversas. Aos meus avós, tios, primos e afilhada Livia por estarem sempre presentes, vocês representam muito em minha vida.

Ao meu orientador Eduardo, que mesmo a distância, foi sempre solícito no que eu precisava, agradecido por sua orientação. A minha coorientadora Irene por ser a grande incentivadora deste projeto. Agradeço por cada conselho, pois foram eles que mantiveram a vontade e a motivação para a realização deste trabalho, gratidão por tudo. Ao meu coorientador Ricardo Berbara que desde o primeiro contato foi muito atencioso, ofereceu total apoio para a realização do trabalho. Agradeço também ao Mondino e Orlando, a contribuição de vocês foi essencial para a finalização desta pesquisa.

Ao professor Arne por aceitar participar da banca de defesa e pelas contribuições nesta dissertação.

Ao professor Casali pela amizade e por todas as conversas e conselhos. Seu suporte e amizade são engrandecedores para minha formação como mestre e ser humano.

Aos professores do IF Sudeste de Minas Gerais, Campus Rio Pomba, em especial, André, Flávia e Eli, que foram grandes inspiradores para seguir a carreira acadêmica.

A Raquel, que além de ser uma grande parceira de trabalho, se tornou uma grande amiga. Sem você a realização deste trabalho teria sido muito mais difícil. De coração, meu muito obrigado.

Aos amigos de república Jones, Solimar, Alan e Rafael, os quais tive a felicidade de conhecer e conviver. Aos amigos da vida e àqueles que fiz em Viçosa nestes últimos dois anos, em especial Felipe, Adalgisa, Flávia, Roseli, Pagotinho, Juliana, Lucas, Iná, Wantin, Marcelo, Débora e Leni. Aos grandes amigos de Ubá e da graduação em Rio Pomba, que por causa dos diferentes caminhos muitos se distanciaram, mas os laços e a afinidade sempre serão os mesmos. Em especial agradeço aos amigos Terrinha e sua

família, Lucas Ferenzini, Sthefani, Leleco, Gustavo, Leles, Régis, João Bananeira, Jão Brangioni, Vinícius, Natália, Zé Inácio, Carol, Maria, Luiz e Suzane.

Ao agricultor Edmar Lopes, sua esposa Elizângela e seus filhos Maria Clara e Pedrinho por nos receberem tão bem em sua casa e cederem o espaço para a realização da nossa pesquisa. Da mesma forma agradeço aos agricultores Rosa e Samuel Lopes e os seus filhos Moisés e Mônica; Egrigélia e Natanael e os seus filhos Yuri e Yago que sempre foram muito receptivos com nossas visitas. A convivência com vocês foi uma das melhores experiências que tive durante o mestrado e levarei para a vida.

A Universidade Federal de Viçosa, ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e a todos os professores do programa. A secretária e amiga Rô, que sempre esteve disposta a ajudar nas dúvidas e problemas.

Ao professor Olinto e seus orientados e técnico do laboratório de Micologia e Proteção de Plantas: Vanessinha, André, Deco, Priscila, Lucas, Fábio, Athus, Simone, Popô, agradeço imensamente por terem me recebido tão bem no laboratório de vocês e por todo suporte oferecido. Ao laboratório de Física do Solo, em especial aos técnicos Cláudio e Luís Fernando; e ao laboratório de Matéria Orgânica, ao professor Teógenes, ao técnico Maurício e os colegas Diego, Lucas, Marlon, José, Vanessa e Fernanda.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

BIOGRAFIA

JOSÉ OLÍVIO LOPES VIEIRA JÚNIOR, filho de José Olívio Vieira e Rosimar Lopes Vieira, nasceu no dia 5 de maio de 1988, em Ubá, Minas Gerais. Em 2008 iniciou o curso de Bacharelado em Agroecologia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - Campus Rio Pomba. Em agosto de 2014 ingressou no mestrado em Agroecologia pela Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação do Professor Eduardo de Sá Mendonça, cuja dissertação é aqui apresentada.

SUMÁRIO

RESUMO -----	VIII
ABSTRACT -----	X
INTRODUÇÃO GERAL -----	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	5
ARTIGO 1: Abundância e diversidade de nematoides do solo em cafeeiros agroflorestais -----	8
Resumo -----	9
Abstract -----	9
Introdução -----	10
Material e Métodos -----	11
Resultados e Discussão -----	16
Conclusões -----	22
Agradecimentos -----	22
Referências -----	22
ARTIGO 2: Nematoides do solo como indicadores de qualidade do solo em cafeeiros agroflorestais -----	25
Resumo -----	26
Abstract -----	26
Introdução -----	26
Material e Métodos -----	29
Resultados -----	34
Discussão -----	39
Conclusões -----	41
Agradecimentos -----	42
Referências -----	42
CONCLUSÕES GERAIS -----	45

RESUMO

VIEIRA JÚNIOR, José Olívio Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Comunidades de nematoides do solo em cafeeiros agroflorestais com diferentes sistemas de adubação orgânica.** Orientador: Eduardo de Sá Mendonça. Coorientadores: Irene Maria Cardoso e Ricardo Luís Louro Berbara.

Sistemas agroflorestais e agroecológicos favorecem a qualidade do solo e o equilíbrio dos organismos vivos presentes em sua microbiota. Os nematoides estão presentes na microfauna do solo e atuam na regulação da microbiota, mineralização e ciclagem de nutrientes. A abundância e diversidade das comunidades dos nematoides são sensíveis a modificações na cobertura do solo ocasionadas por práticas agrícolas como a adubação. Alterações na estrutura trófica dos nematoides podem indicar o nível de perturbação antrópica ou natural nos ecossistemas. O objetivo geral do trabalho foi avaliar o impacto da adubação orgânica de cama de aviário, esterco bovino e resíduos vegetais sobre a comunidade de nematoides do solo em lavouras de café em sistemas agroflorestais. No primeiro artigo avaliou-se a interferência da adubação orgânica sobre a abundância e diversidade de nematoides do solo das lavouras cafeeiras. E no segundo artigo buscou-se avaliar o grau de perturbação antrópica nas lavouras de café através de índices específicos para nematoides e ainda descrever a via de decomposição da matéria orgânica através das relações entre os grupos tróficos de nematoides fungívoros/bacteriófagos e fungívoros+bacteriófagos/fitoparasitas. A pesquisa foi realizada em uma propriedade rural no município de Araponga, Zona da Mata de Minas Gerais. Foram coletadas amostras de solo em duas lavouras de café orgânico, uma adubada com cama de aviário e outra com esterco bovino; em uma lavoura de café natural, adubada com resíduos de plantas e serapilheira de mata e como parâmetro de comparação foram coletadas amostras de solo em um fragmento de mata localizado próximo as lavouras. Os nematoides foram extraídos das amostras de solo e identificados em nível de gênero. Posteriormente foram realizados os cálculos de abundância total, trófica e relativa, diversidade e dominância de gêneros através dos índices de Shannon e Simpson. Para avaliar a perturbação antrópica foram calculados os índices específicos para nematoides, índice de maturidade e maturidade 2-5 e como descrição da via de decomposição da matéria orgânica foram calculadas as relações fungívoros/bacteriófago e fungívoros+bacteriófago/fitoparasitas. Foram identificados 2022 nematoides. Não se constatou diferença na abundância total

através dos índices de Shannon e Simpson. Os grupos tróficos de nematoides fitoparasitas foram mais abundantes nas áreas de café natural e mata. Já os bacteriófagos apresentaram maior abundância no café adubado com cama de aviário e esterco bovino. O índice de maturidade indicou baixa perturbação antrópica nos cafezais adubados com cama de aviário e esterco bovino e o cafeeiro natural apresentou valores de maturidade próximos aos valores da área de mata. Pode-se concluir que a adubação não interfere na abundância e na diversidade de gêneros de nematoides, mas exerce influência na abundância dos grupos tróficos. As lavouras de café em sistemas agroflorestais e orgânicos adubadas com cama de aviário e esterco bovino apresentam baixa perturbação antrópica e a lavoura do café natural, sob adubação vegetal se assemelha ao fragmento de mata.

ABSTRACT

VIEIRA JÚNIOR, José Olívio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **Soil nematodes communities in coffee agroforestry under different manuring organic systems.** Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Co-advisers: Irene Maria Cardoso and Ricardo Luís Louro Berbara.

Agroforestry systems and agroecological favor the soil quality and the balance of living organisms in their microbiota. The nematodes are present in the soil microfauna and act in regulating the microbiota, mineralization and nutrient cycling. The abundance and diversity of communities of nematodes are sensitive to changes in land cover caused by agricultural practices such as fertilization. And the changes in the trophic structure of nematodes can indicate the level of anthropogenic or natural disturbance in ecosystems. The overall objective of the study was to evaluate the impact of organic fertilization the poultry litter, cattle manure and plants residues on soil nematode community in coffee crops in agroforestry systems. In the first paper was to evaluated the interference of organic manure on the abundance and diversity of soil nematodes of coffee crops. In the second paper we sought to assess the degree of human disturbance in the coffee plantations through specific indexes for nematodes and also describe the way of decomposition of organic matter, through the relationships between trophic groups nematodes fungivorous/bacteriophagus and fungivorous+bacteriophagus/plant parasites. The study was conducted on a farm in the city of Araponga, Zona da Mata of Minas Gerais. Soil samples were collected in two crops of organic coffee a fertilized with poultry litter and other cattle manure; in a crop of natural coffee, fertilized with plants residues and litter of forest and as benchmark soil samples were collected in a forest fragment located near the crops. The nematodes were extracted from soil samples and identified at genus level. Subsequently they were performed the calculations of total abundance, and relative trophic and diversity and dominance of genres through the Shannon and Simpson. To assess human disturbance were calculated specific indices for nematodes, maturity and maturity index 2-5 and as a means of description of the decomposition of organic matter, relations fungal feeders/bacterial feeders and bacterial feeders+fungal feeders /plant parasites were calculated. 2022 nematodes were identified. There was no difference in genera abundance through the index Shannon and Simpson. Trophic groups of plant parasites nematodes were more abundant in the areas of natural coffee and forest fragment. Bacterial feeders showed higher abundance in coffee fertilized with litter

poultry and cattle manure. The maturity index indicated low human disturbance in crops coffee fertilized with animal and residues plants and natural coffee showed maturity values close to the values of the forest fragment. It can be concluded that fertilization does not affect the abundance and diversity of nematodes genres, but influences the abundance of trophic groups. The crops of coffee in organic agroforestry systems fertilized with poultry and cattle manure litter present low anthropogenic disturbance and plowing of natural coffee in plant fertilization resembles the forest fragment.

INTRODUÇÃO GERAL

O modelo de agricultura em monocultivos, com produção em larga escala, sem diversificação e com alta demanda por insumos externos, como fertilizantes sintéticos e agrotóxicos predomina no mundo (Wall et al., 2015). Este modelo é apontado como uma das causas da perda de biodiversidade em todos os biomas brasileiros, pois promove o desmatamento da vegetação natural para a implantação das monoculturas e pastagens, empobrece o solo, intensifica os processos erosivos e contamina a água e lençóis freáticos (Paludo e Costabeber, 2012). Os problemas gerados por este modelo resultaram em perdas na qualidade ambiental e na fertilidade dos solos em diversas regiões como a Zona da Mata de Minas Gerais, resultando no declínio da produtividade de propriedades agrícolas familiares (Ferrari, 1996).

A região da Zona da Mata de Minas Gerais tem um histórico intenso de práticas de queimadas e desmatamento das florestas nativas da Mata Atlântica, principalmente para estabelecer as lavouras de café e pastagens. Tais ações estão associadas à adoção de políticas governamentais que incentivaram tecnologias baseadas na revolução verde. Porém, o pacote tecnológico proposto, não estava adaptado às condições ambientais e sociais da região, o que ocasionou a redução da biodiversidade, perdas na qualidade dos solos e da água e enfraquecimento da agricultura familiar (Cardoso et al., 2001). Em busca de alternativas para reduzir os impactos desencadeados pela revolução verde, promover o fortalecimento da agricultura familiar na região, reestabelecer a biodiversidade e resgatar a qualidade dos solos, na década de 90, agricultores familiares, em parceria com sindicatos de trabalhadores rurais, o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata e a Universidade Federal de Viçosa, iniciaram um processo de experimentação participativa com sistemas agroflorestais (SAFs) com enfoque agroecológico (Cardoso et al., 2001).

A agricultura com enfoque agroecológico é apontada internacionalmente como capaz de associar a produtividade com a preservação ambiental dos agroecossistemas (De Schutter, 2012). Nesta mesma perspectiva os sistemas agroflorestais se tornam viáveis por contribuir com a autonomia e segurança alimentar do agricultor e de sua família, elevar a biodiversidade nos agroecossistemas (Souza et al., 2010) e promover melhorias na qualidade do solo (Cardoso et al., 2001), o que reduz custos com a adubação.

Em sistemas agroflorestais agroecológicos e orgânicos o suprimento de nutrientes é realizado sem a utilização de fertilizantes sintéticos. O próprio sistema contribui para a

nutrição do solo através de resíduos vegetais resultantes da queda de folhas e podas de galhos do componente arbóreo (Duarte, 2011). Quando necessário suprir algum nutriente é incorporado ao sistema adubos orgânicos de origem animal, vegetal e ou mineral através de pós de rocha (Sánchez, 1995). A incorporação destes adubos no solo eleva o teor de matéria orgânica, melhora a sua estrutura física e aumenta a atividade biológica, o que pode alterar a dinâmica populacional de alguns organismos como os nematoides (Renco e Kovacik, 2012; Jannoura et al., 2014).

Os nematoides são organismos invertebrados que compõem a microfauna do solo (Cares e Huang, 2008). São classificados de acordo com o hábito alimentar em fitoparasitas, bacteriófagos, fungívoros, predadores e onívoros. (Bongers e Bongers, 1998). Os fitoparasitas se alojam nas raízes, caules ou folhas das plantas e se alimentam de sua seiva. Os bacteriófagos e fungívoros se alimentam de bactérias e fungos respectivamente e estão indiretamente associados à decomposição e mineralização dos nutrientes do solo. Os predadores e onívoros se alimentam de nematoides de outros grupos tróficos e de outros invertebrados do solo (Bongers, 1990; Yeates et al., 1993). Com exceção dos fitoparasitas, os demais grupos tróficos, por não necessitarem de se associar às plantas para sobreviverem, são conhecidos como nematoides de vida livre (Bongers e Bongers, 1998).

Os fitoparasitas são menos abundantes que os nematoides de vida livre nos agroecossistemas e são conhecidos por causarem danos às plantas e elevados prejuízos aos cultivos agrícolas (Ferris et al., 1990). Os nematoides de vida livre são menos estudados que os fitoparasitas, recentemente, começaram a ser reconhecidos como responsáveis por importantes funções ecológicas no solo dos agroecossistemas, como a decomposição da matéria orgânica, mineralização de nutrientes, degradação de toxinas e regulação da população de microrganismos (Bongers e Bongers, 1998).

Nematoides do solo apresentam ciclo biológico curto, atuam na regulação de nutrientes para as plantas, são abundantes em diferentes ecossistemas e sensíveis a perturbações no ambiente (Bongers, 1990). A comunidade de nematoides é facilmente alterada em decorrência tanto de eventos naturais, quanto de perturbações antrópicas, como o tipo de manejo adotado e a fonte de adubação (Yeates e Boag, 2003). Estes eventos podem alterar a oferta de recursos tróficos e ocasionar modificações imediatas na diversidade, abundância e estrutura trófica da comunidade dos nematoides presentes no solo (Villeneuve et al., 2010; Sohlenius et al., 2011). Tais características conferem aos

nematoides a capacidade de serem bons indicadores biológicos do solo (Stirling et al., 2010).

O estudo dos nematoides como indicadores biológicos pode fornecer respostas rápidas às modificações no solo que não são observadas através de indicadores químicos e físicos (Araújo e Monteiro, 2007). Em sistemas orgânicos adubados com cama de aviário e esterco bovino, a abundância e a diversidade de nematoides fitoparasitas e fungívoros pode ser reduzida e geralmente os bacteriófagos reagem de forma contrária (Nahar et al., 2006). Já em sistemas orgânicos adubados com resíduos vegetais, a comunidade de fitoparasitas e bacteriófagos não sofrem modificações e fungívoros e predadores podem ser favorecidos (Oka, 2010). Não foram encontrados trabalhos que avaliam o impacto da adubação orgânica na qualidade do solo em sistemas agroflorestais, e a utilização dos nematoides como indicadores biológicos pode ser uma ferramenta importante para determinar a condição ambiental destes agroecossistemas.

As alterações na diversidade, abundância e estrutura trófica da comunidade de nematoides podem ser calculadas através de índices e parâmetros ecológicos. Para mensurar a diversidade de nematoides são utilizados os índices de Shannon e de Simpson (Neher, 2001). Para Shannon (H') atribui-se pesos iguais a todos os gêneros de nematoides, e Simpson (D_s) os indivíduos encontrados em maior abundância possuem pesos maiores indicando maior dominância. A abundância é mensurada através do cálculo da abundância total e relativa (Cares e Huang, 2008).

O índice de maturidade (IM), índice de maturidade 2-5 (IM 2-5) e índice de parasitas de plantas (IPP) são específicos para a comunidade de nematoides. Estes indicadores mensuram o estágio de sucessão ecológica em que se encontra o ambiente e o nível de perturbação dos agroecossistemas. Os valores de IM podem variar de menos de 1 para agroecossistemas com alto grau de perturbação a 5 para ambientes ecologicamente estáveis, geralmente vegetações nativas. Práticas agrícolas, como incorporação de material orgânico no solo, estimulam a atividade microbiana e fornecem recursos para espécies de nematoides oportunistas, havendo uma consequente redução no IM seguido de aumento gradativo e sucessivo (Bongers; Ferris, 1999).

Para a obtenção do IM, foi desenvolvida por Bongers (1990) uma escala que varia de um (1) a cinco (5), conhecida por escala de valor c-p. Valores são atribuídos as famílias de nematoides de acordo com sua estratégia de vida. Nesta escala os valores mais próximos de um (1) estão relacionados a nematoides colonizadores e valores próximos a cinco (5) aos nematoides persistentes. São considerados nematoides colonizadores os que

possuem ciclo biológico curto, com alta taxa de reprodução, elevada capacidade de colonização e maior tolerância a perturbações no ambiente. Já os nematoides considerados como persistentes apresentam baixas taxas de reprodução, ciclo biológico longo, baixa capacidade de colonização e são mais sensíveis a perturbações do ambiente. Para o cálculo do índice de maturidade consideram-se apenas os nematoides de vida livre. Já para o cálculo do IPP somente os nematoides fitoparasitas (Bongers, 1990).

No Brasil, os estudos com nematoides com enfoque ecológico ainda são recentes, mas os resultados são promissores (Tomazini et al., 2008; Mondino et al., 2009; Caixeta et al., 2016). Os índices ecológicos específicos para nematoides podem ser utilizados para avaliar o impacto de diferentes tipos da adubação orgânica na qualidade do solo (Mondino et al., 2009). Desta forma, temos como primeira hipótese de trabalho que a fonte do adubo orgânico utilizado em cafeeiros agroflorestais interfere na comunidade dos nematoides presentes no solo. E uma segunda hipótese, na qual consideramos que os nematoides podem indicar a condição ambiental destas lavouras. Assim, o objetivo do nosso primeiro artigo foi avaliar o impacto da adubação orgânica de cama de aviário, esterco bovino e resíduos vegetais na comunidade de nematoides de três lavouras de café em sistemas agroflorestais. Já o segundo artigo buscou determinar o nível de perturbação antrópica nas três lavouras de café através do cálculo dos índices específicos para nematoides.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo ASF, Monteiro RTR (2007) Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal* 23:66-75
- Bongers T (1990) The maturity index, an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83:14-19
- Bongers T, Bongers M (1998) Functional diversity of nematodes. *Appl Soil Ecol* 10:239-251
- Bongers T, Ferris H (1999) Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends Ecol Evol* 14:224–228
- Caixeta LB, Pereira TJ, Castañeda EN, Cares JE (2016) Nematode communities as indicators of the status of a soil ecosystem influenced by mining practices in Brazil. *Nematology* 18:265-276
- Cardoso IM, Guijt I, Franco FS, Carvalho AF, Ferreira Neto PS (2001) Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. *Agric Sys* 69:235-257
- Cares JE, Huang SP (2008) Comunidades de nematoides de solo sob diferentes sistemas na Amazônia e Cerrados Brasileiros. In: Moreira FMS, Siqueira JO, Brussaard L (ed) *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. UFLA, Lavras, pp.409-444.
- Cares JH, Huang SP (1991) Nematode fauna in natural and cultivated cerrados of Central Brazil. *Fitopatol Bras* 16:199-209
- De Schutter O (2012) Agroecology, a tool for the realization of the right to food. In: Lichtfouse, E (ed) *Agroecology and Strategies for Climate Change* pp.1-17.
- Duarte, EMG (2011) *Árvores em sistemas agroflorestais: ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica do solo*. Tese, Universidade Federal de Viçosa
- Ferrari EA (1996) Desenvolvimento da Agricultura Familiar: a experiência do CTA-ZM, In: Alvares VH, Fontes LEF, Fontes MPF (ed) *O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, pp.233 - 250
- Ferris H, Mullens TA, Foordk E (1990) Stability and characteristics of spatial description parameters for nematode populations. *J Nematol* 22:427-439
- Jannoura R, Joergensen RG, Bruns C (2014) Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. *Eur J Agron* 52:259-270

- Mondino EA, Tavares OCH, Ebeling AG, Figueira AF, Quintero EI, Berbara RLL (2009) Avaliação das comunidades de nematoides do solo em agroecossistemas orgânicos. *Acta Sci* 31:509-515
- Nahar MS, Grewal PS, Miller SA, Stinner D, Stinner BR, Kleinhenz MD, Wszelaki A, Doohan D (2006) Differential effects of raw and composted manure on nematode community, and its indicative value for soil microbial, physical and chemical properties. *Appl Soil Ecol* 34:140-151
- Neher DA (2001) Role of Nematode in soil health and their use as indicator. *J Nematol* 33:161-168
- Oka Y (2010) Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments - A review. *Applied Soil Ecology* 44-101-115
- Paludo R, Costabeber, JA (2012) Sistemas agroflorestais como estratégia de desenvolvimento rural em diferentes biomas brasileiros. *Rev Bras de Agroecologia* 7:63-76
- Renco M, Kovacik P (2012) Response of Plant Parasitic and Free Living Soil Nematodes to Composted Animal Manure Soil Amendments. *Journal of Nematology* 44:329-336
- Sánchez PA (1995) Science in agroforestry. *Agrofor Syst* 30:5-55
- Sánchez-Moreno S, Nicola NL, Ferris H, Zalom FG (2009) Effects of agricultural management on nematode–mite assemblages: Soil food web indices as predictors of mite community composition. *Appl Soil Ecol* 41:107–117
- Sohlenius B, Boström S, Viketoft M (2011) Effects of plant species and plant diversity on soil nematodes - a field experiment on grassland run for seven years. *J Nematol* 17:115-131
- Souza HN, Cardoso IM, Fernandes JM, Garcia FCP, Bonfin VR, Santos AC, Carvalho FA, Mendonça ES (2010) Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. *Agrofor Syst* 80:1-16
- Stirling GR, Moody PW, Stirling AM (2010) The impact of an improved sugarcane farming system on chemical, biochemical and biological properties associated with soil health. *Appl Soil Ecol* 46:470-477
- Tomazini MD, Ferraz LCCB, Monteiro AR (2008) Abundância e diversidade de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. *Nematologia Brasileira*. 32:185-193

- Villenave C, Oumar BA, Rabary B (2010) Analysis of the soil biological functioning by nematode community structure study. Direct seeding and tillage in the upper lands near Antsirabe (Madagascar). *Etud Gest Sols* 16:369-378
- Wall DH, Nielsen UN, Six J (2015) Soil Biodiversity and Human Health. *Nature* 528:69-76
- Yeates GW, Boag B (2003) Growth and life histories in Nematoda, with particular reference to environmental factors. *Nematology* 5:653-664
- Yeates GW, Bongers T, De Goede RGM, Freckman DW, Georgieva SS (1993) Feeding habits in soil nematode families and genera - an outline for soil ecologists. *J Nematol* 25:315-331

Artigo 1

Abundância e diversidade de nematoides do solo em cafeeiros agroflorestais ¹

¹ De acordo com as normas da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira

Resumo - Os nematoides são sensíveis a alterações na cobertura do solo e respondem rapidamente a práticas agrícolas como a adubação. O objetivo foi avaliar o impacto da adubação orgânica sobre a comunidade de nematoides do solo em cafeeiros agroflorestais. Foram coletadas amostras de solo em três lavouras de café e em um fragmento de mata localizado próximo das lavouras. Os nematoides foram extraídos das amostras de solo e identificados em nível de gênero. Foram realizados os cálculos de abundância total, trófica, relativa, diversidade (Shannon) e dominância (Simpson). Não foram constatadas diferenças na abundância total, diversidade e na dominância entre as comunidades de nematoides das quatro áreas. Em relação aos grupos tróficos, os cafeeiros adubados com esterco bovino e cama de aviário favoreceram o grupo trófico dos bacteriófagos e reduziram as populações de fitoparasitas. Enquanto na lavoura do café natural e no fragmento de mata os nematoides fitoparasitas foram mais abundantes. Pode-se concluir que a adubação orgânica não interfere na abundância total e na diversidade das comunidades de nematoides, porém, a adubação com cama de aviário e esterco bovino favorece o grupo trófico dos bacteriófagos e reduz a abundância de fitoparasitas.

Termos para indexação: Agroecologia, biodiversidade, *Coffea arabica*, microfauna, sistemas agroflorestais.

Abundance and diversity of soil nematodes in coffee agroforestry

Abstract - The nematodes are sensitive to changes in land cover and quickly respond to agricultural practices such as fertilization. The objective was to evaluate the impact of organic manure on soil nematode community in coffee agroforestry. Soil samples were collected in three crops of coffee and a forest fragment located near the crops. The nematodes were extracted from soil samples and identified at genus level. We calculated the total abundance, trophic, diversity (Shannon) and dominance (Simpson). There was no difference in the total abundance of the nematode communities of the four areas. In relation to trophic groups, the areas fertilized with cattle manure and poultry litter favored the trophic group of bacterivores and reduced populations of plant parasites, while in natural coffee and forest fragment the plant parasites nematodes were more abundant. Shannon Indices and Simpson found no differences in diversity. It can be concluded that organic manure did not interfere in the abundance and diversity of nematodes

communities, however, the fertilization with poultry and cattle manure favors bacteriophages nematodes and reduces the abundance of plant parasites.

Index terms: Agroecology, biodiversity, *Coffea arabica*, microfauna, agroforestry systems.

Introdução

As práticas intensivas de manejo do solo, como o revolvimento profundo, a incorporação de fertilizantes sintéticos e aplicação de agrotóxicos podem promover o desequilíbrio da biodiversidade e afetar negativamente a funcionalidade do agroecossistema (Wall et al., 2015). Uma alternativa para reduzir os impactos ambientais promovidos pela agricultura intensiva e para agregar valor ao café, alguns agricultores da região de Araponga, na Zona da Mata de Minas Gerais, passaram a manejar suas lavouras em sistemas agroflorestais (SAFs), com enfoque agroecológico e orgânico. A introdução de espécies arbóreas nas lavouras de café promovem benefícios sociais, econômicos e ambientais, ao contribuir com a diversificação da produção, aumento da renda familiar e aumento de matéria orgânica no solo (Souza et al., 2010).

As árvores nos sistemas agroflorestais contribuem para a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Favorecem o aporte de matéria orgânica, contribuem para a manutenção da umidade em períodos secos, protegem contra a ação das chuvas e do sol intenso, disponibilizam alimentos para a vida no solo e restaura a matéria orgânica. A complexidade destes sistemas contribui para a manutenção da biodiversidade e da qualidade do solo (Jose, 2009).

Em lavouras agroflorestais de café orgânico, quando necessário, o suprimento de nutrientes é realizado através da adubação orgânica, podendo ser utilizado esterco bovino, cama de aviário, resíduos de plantas. É permitido o uso de alguns fertilizantes minerais, a exemplo dos pós de rochas (Sánchez, 1995). A incorporação destes adubos de forma adequada favorece a qualidade do solo e a atividade microbiana (Jannoura et al., 2014) e pode alterar a dinâmica populacional de alguns organismos, como os nematoides (Renco e Kovacik, 2012; Jannoura et al., 2014).

Os nematoides do solo possuem diferentes estratégias de vida e são classificados em fitoparasitas e de vida livre (bacteriófagos, fungívoros, predadores e onívoros) (Yeates et al., 2009). Estes organismos desempenham um importante papel ecológico na regulação da microbiota, mineralização e ciclagem de nutrientes (Bongers e Ferris, 1999).

Os nematoides são sensíveis a alterações na cobertura do solo e respondem rapidamente as práticas agrícolas como a adubação (Yeates et al., 2009).

De acordo com a fonte do adubo utilizada ocorrem alterações na oferta de alimentos no solo, o que pode refletir na abundância e diversidade da comunidade de nematoides (Yeates et al., 2009; Hu et al., 2014). A adubação orgânica pode disponibilizar alimentos para o desenvolvimento de nematoides predadores de microrganismos e reduzir algumas espécies de fitoparasitas (Renco e Kovacik, 2012). Para determinar se a fonte de adubação orgânica interfere na abundância e diversidade de nematoides, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da adubação de cama de aviário, esterco bovino e resíduos vegetais nas comunidades de nematoides em solos de lavouras de café em sistemas agroflorestais. Avaliou-se ainda o efeito da adubação orgânica na abundância total, trófica, relativa de gêneros e na diversidade da comunidade dos nematoides.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado em uma propriedade rural no município de Araponga, Zona da Mata de Minas Gerais (20°38'39.76"S, 42°30'0.27"W), altitude 1315 m. O clima da região é mesotérmico e a precipitação anual varia de 1280 mm a 1800 mm. O relevo é montanhoso, a declividade está entre 20 a 45% e os Latossolos são predominantes (Ker, 1995). A propriedade possui três áreas de cultivo de café em sistemas agroflorestais (*Coffea arábica* L. cv. Catuaí Vermelho) e um fragmento remanescente de Mata Atlântica.

Na década de 80 a propriedade era destinada aos cultivos de milho, feijão e atividade pecuária e as práticas de queimadas eram frequentes. Entre os anos de 1999 a 2001, lavouras de café utilizando adubação química foram implantadas. A partir de 2001, a adubação química foi aos poucos substituída por adubação orgânica. No ano de 2003, as árvores foram introduzidas nos cafezais e iniciou-se a transição de cafezais a pleno sol para sistemas agroflorestais. O agricultor realizou o plantio, principalmente, de frutíferas, e deixou crescer árvores aleatoriamente nas lavouras de café. Outras mudanças de manejo ocorreram. O agricultor deixou de capinar as plantas espontâneas e passou a realizar preferencialmente a roçada e nestas áreas nunca utilizou-se agrotóxicos. Atualmente duas das lavouras de café são certificadas como orgânicas pela certificadora Alemã BCS Öko-Garantie. Uma das lavouras é adubada com cama de aviário curtida e outra com esterco bovino curtido. Uma terceira lavoura é certificada como natural pela organização japonesa de Agricultura Natural Shumei (Figura 1). De um modo geral a agricultura

natural tem uma abordagem mais ampla, não visa somente a produção de alimentos saudáveis, mas também valoriza o trabalho do agricultor e a preservação do ecossistema. A agricultura natural se difere da agricultura orgânica, segundo as normas da organização japonesa Shumei, por não permitir o uso de resíduos de animais no solo ou qualquer fonte de adubo que seja externa a propriedade. A adubação pode ser feita com folhas e troncos de árvores presentes na lavoura e serapilheira do fragmento de mata que se encontra próximo a área. O princípio da agricultura natural é que tudo que é necessário para o desenvolvimento da planta já está presente no solo (Merriam, 2007).

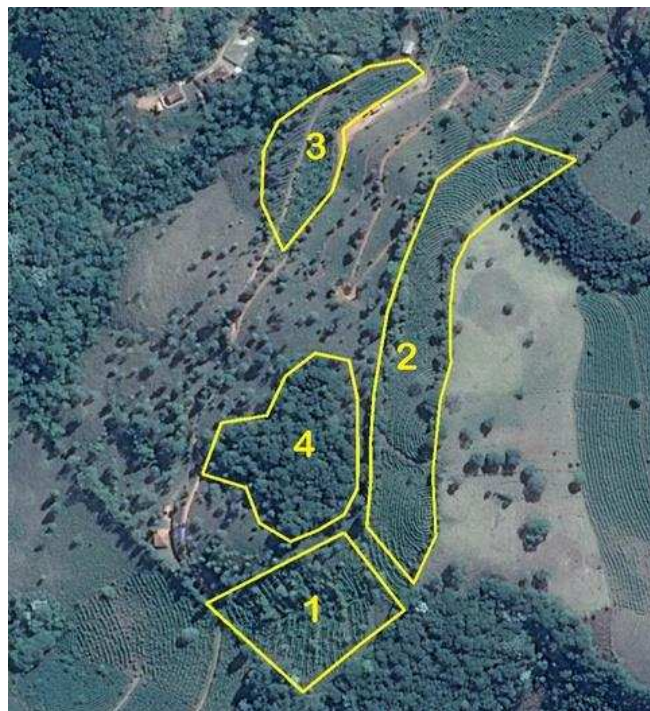


Figura 1. Visão aérea das quatro áreas de estudo. Área 1: café natural (CN); área 2: café adubado com cama de aviário curtida (CF); área 3: café adubado com esterco bovino curtido (CB) e área 4: fragmento de mata (FM).

O cafezal considerado natural ocupa uma área de 0,8 hectares, com espaçamento 2,3 x 1,2 m. Neste sistema as plantas de café foram recepdas no ano de 2011. O café está consorciado principalmente com espécies de bananeira (*Musa sp.*), densidade de 125 árvores/ha; capoeira branca (*Solanum argenteum*), densidade de 40 árvores/ha; palmeira real (*Archontophoenix cunninghamiana*, densidade de 20 árvores/ha e amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) em toda área. Como fontes de adubação são utilizados materiais vegetais presentes na lavoura, como pseudocaulhe de bananeira, troncos de

capoeira branca, amendoim forrageiro e serapilheira proveniente do fragmento de mata que se encontra no entorno da lavoura. As adubações são realizadas, em cobertura, amontoados na projeção da copa da planta de café, uma no mês de novembro e outra após 45 dias. No total, são utilizados aproximadamente 20 kg de material vegetal em cada planta de café por ano.

O cafezal adubado com cama de aviário curtida ocupa quatro hectares, com espaçamento de 3,0 x 1,5 m. As adubações são realizadas em cobertura, na projeção das copas das plantas de café, uma no mês de dezembro e outra após 45 dias. No total, são utilizados aproximadamente quatro quilogramas de cama de aviário curtida por planta/ano, adquirida em granjas vizinhas. Atualmente, as normas da agricultura orgânica permitem o uso de cama de aviário oriundas de granjas não certificadas como orgânicas, desde que o esterco seja curtido pelo processo de compostagem (IN nº 17 de 18/06/2014). Para a compostagem da cama de aviário, o material é montado em camadas intercaladas com esterco e casca de café da propriedade. O composto é umedecido pelo menos uma vez por semana e revirado a cada 30 dias, encerrando o processo com 90 dias. As espécies predominantes na área são guatambu (*Aspidosperma polyneurum*), densidade de 40 árvores/ha; capoeira branca (*Solanum argenteum*), densidade de 40 árvores/ha e bananeira (*Musa sp.*), densidade de 160 plantas/ha. Com exceção da bananeira que é utilizada nas bordas da lavoura com a função de quebra vento, as espécies de plantas estão distribuídas aleatoriamente na lavoura.

O cafezal adubado com esterco bovino curtido ocupa uma área de 1,5 hectares, com espaçamento de 3,0 x 1,5m. As adubações são realizadas em cobertura, na projeção das copas das plantas de café, uma no mês de dezembro e outra após 45 dias. No total, são utilizados aproximadamente seis quilogramas de esterco bovino curtido por planta/ano oriundo da propriedade. Para o processo de compostagem, o esterco é amontoadado em uma pilha, umedecido semanalmente, revirado a cada 30 dias e o processo se encerra com 90 dias. Nesta área encontra-se principalmente espécies de abacateiro (*Persea gratissima*), densidade de 5 plantas/ha e bananeira (*Musa sp.*), densidade de 20 plantas/ha.

O fragmento de mata secundária possui 2,5 hectares e é considerado como remanescente de Mata Atlântica, sem marcas recentes de perturbação antrópica, exceto por eventuais atividades de remoção de galhos e ramos caídos utilizados para a adubação do café natural.

Foram realizadas análises físicas e químicas do solo das quatro áreas estudadas. Os resultados podem ser observados na Tabela 1 e na Tabela 2 respectivamente. A

semelhança entre os atributos físicos dos solos estudados indica que as diferenças encontradas são devido ao uso e manejo e não devido a gênese do solo.

Tabela 1. Caracterização física dos solos na profundidade de 0-10 cm no fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB) em propriedade de agricultura familiar em Araponga, Minas Gerais.

Áreas	Atributo Físico (%)							
	Areia	Silte	Argila	Classe Textural	PT	Micro	Macro	Umid
FM	45	2	53	Argiloso	65	29	36	25,7
CN	42	9	49	Argiloso	51	27	24	24
CA	42	8	50	Argiloso	50	29	21	27,02
CB	54	3	43	Argiloso	50	30	21	30,36

PT, porosidade total; Micro, microporosidade; Macro, macroporosidade; Umid, umidade natural.

Tabela 2. Caracterização química dos solos na profundidade de 0-10 cm no fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB) em propriedade de agricultura familiar em Araponga, Minas Gerais.

	pH	N	P	K	Ca	Mg	MO	C	C:N
		dag/kg	mg/dm ³	mg/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	dag/kg	dag/kg	
FM	5,7	0,29	3,0	60	0,46	0,22	19,46	11,31	39,01
CN	5,8	0,27	15,4	319	7,3	3,79	11,93	6,93	25,65
CA	5,5	0,28	705,6	977	9,53	6,83	23,23	13,5	48,21
CB	5,6	0,27	46,7	329	5,92	2,26	14,44	8,39	31,01

MO, matéria orgânica; C, carbono orgânico total.

As populações de nematoides foram amostradas nas três áreas de café e no fragmento de mata. Para cada tratamento foram selecionadas ao acaso cinco plantas de café, amostradas em zigue-zague, em cada área coletou-se 5 amostras compostas de solo, na profundidade de 0-5 cm em setembro de 2015. As coletas foram feitas com auxílio de anel volumétrico de 2,5cm de diâmetro. Em cada planta de café selecionada foram coletadas 12 subamostras e homogeneizadas em uma amostra composta (Huising et al., 2008) (Figura 2). As amostras foram transferidas para sacos plásticos, lacradas, identificadas para posterior extração e identificação dos nematoides.

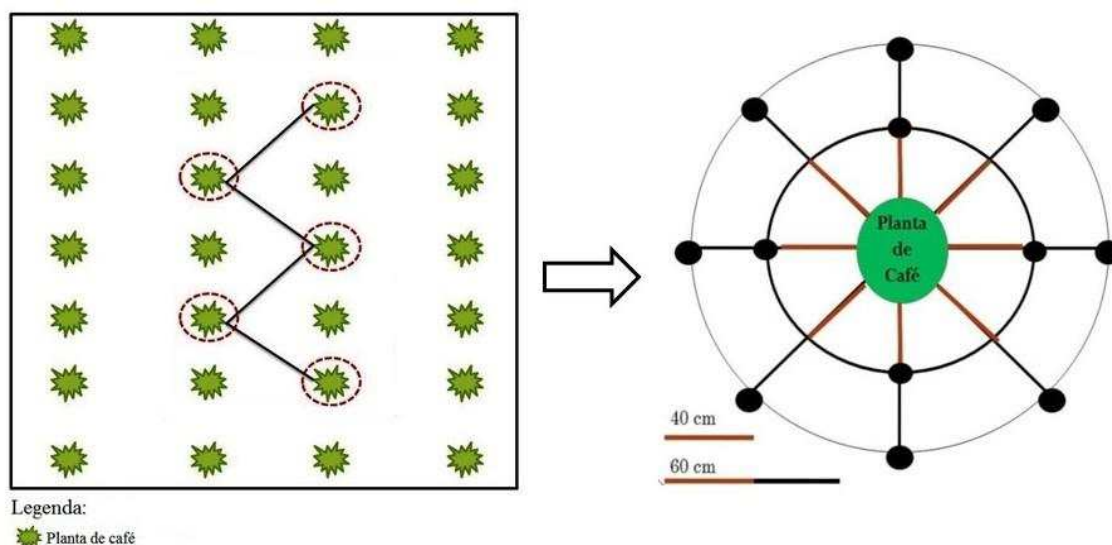


Figura 2. Esquema de amostragem dos nematoides no solo.

A extração dos nematoides foi realizada através do método de flotação em solução de sacarose (Jenkins, 1964). As amostras de solo (100 g de cada) foram passadas em peneira de um milímetro (1 mm). O solo peneirado foi colocado em becker com 1000 mL de água e a solução foi agitada manualmente por um minuto. Após 20 segundos deixou-se decantar as partículas mais grosseiras de solo e o sobrenadante foi transferido para peneira de malha de 400 mesh. O que ficou retido na peneira foi lavado e transferido para tubo falcon (50 mL). Os tubos foram centrifugados a 3000 rpm por cinco minutos e o sobrenadante foi descartado. Adicionou-se solução de sacarose (450 g de açúcar por litro de água) e os tubos foram levados novamente para centrífuga a 1000 rpm por um minuto. A solução foi peneirada em malha de 400 mesh e lavada em água corrente para retirar a sacarose. Transferiu-se os nematoides retidos na peneira para recipientes de plástico (50 mL) com 10 mL de água. Para evitar a deformação corporal dos nematoides, os recipientes plásticos foram mantidos por cinco minutos em estufa com temperatura estável de 64°C para a morte dos indivíduos. Após essa etapa foi feita a fixação dos nematoides com a aplicação de 1 mL de formaldeído 37% na solução e armazenados em refrigerador a 4°C.

Com auxílio de pipeta, transferiu-se a solução com os nematoides para placa de petri de vidro lisa (60x15 mm). As placas foram levadas para estereoscópio binocular (Bel Photonics®, modelo SZ) para possibilitar a visualização dos nematoides. Com agulha nematológica os nematoides foram recolhidos e transferidos para lâminas de

microscopia do tipo lapidada comum (Precision Glass®, 26x76 mm) contendo uma gota de solução de água com formaldeído 37% na proporção 10:1.

Em cada lâmina foi pincelada uma camada dupla de verniz vitral fosco (Acrilex®) para fixar a lamínula (Paiva, 2006). Para vedar os espaços entre a lâmina e a lamínula aplicou-se dupla camada de esmalte incolor (Risqué®). Os nematoides foram identificados em nível de gênero com auxílio de microscópio óptico de 1000x (Motic® - modelo A210) e guia de identificação (Mai e Lyon, 1975; Chaves et al., 1995).

Para avaliar a interferência da adubação na estrutura trófica das comunidades de nematoides, foram calculadas a abundância total, abundância trófica, abundância relativa e os índices de Shannon (H') e Simpson (D_s). A abundância total foi calculada para se obter o número de todos os indivíduos em uma determinada área em volume conhecido de solo (Cares e Huang, 2008).

Para o cálculo da abundância trófica, os nematoides são classificados em relação ao hábito alimentar e feita a contagem do número total. A abundância relativa é o valor percentual do número de gêneros pertencentes a um determinado táxon ou grupo trófico com relação ao total de indivíduos presentes em uma amostra. A abundância relativa é obtida através da equação: $p_i = (n/N) \times 100$, onde n é o número de indivíduos de cada gênero e N é o número total de nematoides na amostra (Cares e Huang, 2008).

Calculou-se o índice de Shannon para avaliar a diversidade de gêneros e o índice de Simpson para dominância. Shannon atribui peso igual para as espécies raras e as abundantes (Shannon, 1948) através da equação $H' = -\sum p_i \times \ln(p_i)$, onde p_i é abundância relativa e \ln é a função logarítmica. O índice de Simpson mede a probabilidade de dois indivíduos, selecionados ao acaso na amostra, pertencerem à mesma espécie. Este índice é expresso através da equação $D_s = \sum (p_i)^2$, onde, p_i é abundância relativa de indivíduos da amostra (Simpson, 1949).

Os dados calculados de abundância total, trófica, relativa de gêneros e do índice de Shannon foram submetidos à análise de variância e quando significativos comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) através do Sisvar 5.6. Os dados de dominância não seguiram distribuição normal, sendo realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Resultados e Discussão

Encontrou-se 2022 nematoides, classificados em cinco grupos tróficos: fitoparasitas, bacteriófagos, fungívoros, onívoros e predadores. Dentre as áreas avaliadas não foram constatadas diferenças na abundância total ($F_{3,19} = 0,60$; $p = 0,6234$). A

semelhança na abundância total entre as lavouras de café e a área de mata, indica que as funções ecológicas exercidas pelos sistemas agroflorestais são similares às que ocorrem em áreas de vegetação natural. Esta similaridade favorece o equilíbrio das comunidades de organismos presentes no solo e auxilia na manutenção da biodiversidade das lavouras (Pumariño et al., 2015).

Em relação aos grupos tróficos, a abundância de nematoides fitoparasitas foi superior no solo da lavoura do café natural e no fragmento de mata ($F_{3,19} = 5,59$; $p = 0,0081$). É possível que os fitoparasitas presentes no solo do cafezal natural seja originário da serapilheira do fragmento de mata. É comum a abundância de nematoides fitoparasitas em vegetações naturais, normalmente as espécies encontradas nestes ambientes são sensíveis a modificações no solo (Tomazini et al., 2008). Os nematoides bacteriófagos foram os mais abundantes nos solos das lavouras de café adubado com cama de aviário e esterco bovino ($F_{3,19} = 14,28$; $p = 0,0001$). Nematoides fitoparasitas e bacteriófagos geralmente são os grupos tróficos dominantes em agroecossistemas (Jiang et al., 2013; Hu et al., 2014). Por um lado, a liberação de compostos e ácidos orgânicos com elevados teores de nitrogênio presentes em adubos de origem animal inibem a abundância de fitoparasitas (Jiang et al., 2013). Por outro lado, nematoides bacteriófagos são favorecidos pela incorporação de esterco de animais devido ao aumento da atividade bacteriana e contribuem para o processo de decomposição destes materiais orgânicos.

No solo do fragmento de mata o grupo trófico dos nematoides fungívoros apresentou maiores valores de abundância, mas não diferiu das lavouras de café natural e adubada com esterco bovino ($F_{3,19} = 3,86$; $p = 0,0299$). A abundância trófica dos fungívoros é favorecida pela matéria orgânica com elevados teores de lignina e celulose (fontes de carbono orgânico) (Liu et al., 2016) (Tabela 3). Estes componentes são comumente encontrados em resíduos vegetais de serapilheira de mata, como os galhos e troncos. A serapilheira retirada da mata para adubar o café natural certamente contém menores teores de lignina e celulose, pois ou já foi parcialmente decomposta ou contém resíduos principalmente de folhas. Nematoides fungívoros são sensíveis a ácidos amoniacais liberados no solo por compostos com baixa relação C:N (Oka, 2010), o que justifica a menor abundância deste grupo trófico no solo da lavoura com cama de aviário.

Para os nematoides onívoros ($F_{3,19} = 0,30$; $p = 0,8248$) e predadores ($F_{3,19} = 0,54$; $p = 0,6601$) não foram observadas diferenças entre as áreas (Tabela 3). Estes dois grupos tróficos são os mais sensíveis às modificações na estrutura química e física do solo. Estes organismos possuem uma cutícula semipermeável que é sensível ao uso de adubos

químicos e agrotóxicos (Cares e Huang, 2008; Ritzinger et al., 2010) e a presença deles indica baixa perturbação natural ou antrópica dos agroecossistemas (Chen et al., 2014).

Tabela 3. Abundância total dos grupos tróficos de nematoides encontrados em 100 gramas de cada amostra de solo do fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB).

Hábito Alimentar	FM	CN	CA	CB	Total
Fitoparasita	269 a	314 a	81 b	139 b	803
Bacteriófago	125 b	90 b	407 a	299 a	921
Fungívoro	101 a	46 ab	24 b	59 ab	230
Onívoro	20 ^{ns}	11 ^{ns}	7 ^{ns}	9 ^{ns}	47
Predador	3 ^{ns}	4 ^{ns}	9 ^{ns}	5 ^{ns}	21
Total	518 ^{ns}	465 ^{ns}	528 ^{ns}	511 ^{ns}	2022

Valores seguidos pela mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); ^{ns} Não significativo pela análise de variância.

Identificou-se 30 famílias de nematoides, distribuídas em 43 gêneros (Tabela 4). Os maiores valores da abundância relativa encontrados foram dos gêneros Rabidhitis, Meloidogyne, Helicotylenchus e Criconema. Diferenças entre as áreas avaliadas foram constatadas para os nematoides bacteriófagos do gênero Rabidhitis ($F_{3,19} = 6,88$; $p = 0,0035$). Este gênero pertence à família Rhabditidae e apresenta o maior valor de abundância nos solos do café adubado com cama de aviário e esterco bovino. Nematoides da família Rhabditidae respondem rapidamente a incorporação de adubos orgânicos de origem animal e geralmente são mais abundantes em áreas agrícolas (Jiang et al., 2013). A abundância desta família contribui para a mineralização e regulação de nutrientes como o nitrogênio que estará disponível para as plantas (Ferris et al., 1998).

No grupo trófico dos fitoparasitas o gênero Aorolaimus apresentou maior abundância no solo do fragmento de mata ($F_{3,19} = 4,26$; $p = 0,0216$). No Brasil este gênero foi encontrado em áreas nativas da Caatinga e apresenta baixa abundância em áreas agrícolas (Caixeta et al., 2016). O Criconema apresentou-se mais abundante nos solos do fragmento de mata e na lavoura do café natural ($F_{3,19} = 3,54$; $p = 0,0387$) (Tabela 4). Nematoides da família Criconematidae são fitoparasitas muito sensíveis a distúrbios ambientais, suas populações são favorecidas em solos com cobertura vegetal e elevado teor de matéria orgânica como vegetações naturais e agroecossistemas com baixa perturbação antrópica (Goulart, 2007; Caixeta et al., 2016). O gênero Helicotylenchus,

abundante no solo do café natural e no fragmento de mata, é um fitoparasita que geralmente ocorre com muita frequência e com elevadas densidades populacionais em solos de cultivos anuais, perenes e ecossistemas naturais (Tomazini et al., 2008). Estes resultados indicam maior similaridade do café natural em relação ao fragmento de mata, o que era esperado devido a origem do resíduo utilizado para a adubação do cafezal.

O gênero *Meloidogyne* foi encontrado em abundância nas lavouras de café natural e adubado com esterco bovino ($F_{3,19} = 10,34$; $p = 0,0005$) e *Rothylenchus* no solo do fragmento de mata ($F_{3,19} = 6,66$; $p = 0,0040$) (Tabela 4). Estes gêneros geralmente são encontrados em solos de culturas perenes e são considerados como um dos principais parasitas radiculares de culturas perenes como o café (Sher, 1965; Siddiqi e Pinochet, 1975). A presença destes fitoparasitas, assim como outros grupos tróficos oportunistas, é favorecida pelo elevado teor de matéria orgânica e alta densidade de raízes (Ritzinger et al., 2010). Apesar da ocorrência destes fitoparasitas, em nenhuma das lavouras estudadas foram observados danos por ataque de nematoides e os agricultores não relatam perdas econômicas. Em sistemas agroecológicos, a dominância de fitoparasitas nem sempre representa danos às lavouras e em perdas na produtividade. Nestes sistemas, os organismos presentes na microbiota do solo disponibilizam gradualmente os nutrientes necessários para que as plantas suportem o parasitismo de nematoides em suas raízes (Khan e Kim, 2007; Mekete et al., 2008).

A maior abundância relativa do nematoide *Aphelenchus* foi encontrada no solo do fragmento de mata ($F_{3,19} = 4,99$; $p = 0,0125$) (Tabela 4). Este gênero pertence ao grupo trófico dos fungívoros e são abundantes em habitats com estágios avançados de sucessão ecológica (Bongers e Ferris, 1997). Normalmente, a maior densidade de nematoides fungívoros está associada a solos com elevados teores de matéria orgânica recalcitrante típicos de ecossistemas naturais (Niles e Freckman, 1998).

Tabela 4. Valores médios da abundância relativa dos gêneros de nematoides encontrados em 100 gramas de solo em cada amostra do fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB).

Gêneros / Hábito Alimentar	Famílias	Áreas			
		FM	CN	CA	CB
Bacteriófagos					
Acrobeles	Cephalobidae	0,03	0,01	0,01	0,04
Acrobelloides	Cephalobidae	0,04	0,04	0,05	0,04
Alaimus	Alaimidae	0,01	0,00	0,01	0,00
Belonolaimus	Diplogasteridae	0,00	0,00	0,00	0,00
Bunonema	Bunonematinae	0,00	0,00	0,00	0,00
Cephalobus	Cephalobidae	0,01	0,02	0,04	0,01
Diplogasteriana	Diplogasteridae	0,00	0,00	0,01	0,02
Diploscapter	Diplogasteridae	0,01	0,02	0,02	0,03
Eucephalobus	Cephalobidae	0,00	0,01	0,04	0,01
Panagrolaimus	Panagrolaimidae	0,00	0,00	0,01	0,03
Paraplectonema	Plectidae	0,00	0,01	0,01	0,00
Plectus	Plectidae	0,01	0,01	0,02	0,02
Prismatolaimus	Monhysteridae	0,01	0,00	0,01	0,01
Pristionchus	Diplogastridae	0,00	0,00	0,02	0,01
Rabidithis	Rhabditidae	0,04b	0,04b	0,28a	0,20a
Steinernema	Steinernematidae	0,00	0,00	0,01	0,01
Teratocephalus	Teratocephalidae	0,01	0,00	0,00	0,02
Tylocephalus	Plectidae	0,00	0,00	0,00	0,00
Wilsonema	Plectidae	0,00	0,00	0,01	0,00
Fitoparasitas					
Aorolaimus	Hoplolaimidae	0,04a	0,00b	0,01b	0,00b
Cacopaurus	Paratylenchidae	0,01	0,00	0,00	0,00
Criconema	Criconematinae	0,15a	0,26a	0,00b	0,00b
Helicothylenchus	Hoplolaimidae	0,11a	0,09a	0,05b	0,00b
Hemicycliophora	Hemicycliophoridae	0,02	0,00	0,01	0,02
Meloidogyne	Heteroderidae	0,02b	0,12a	0,02b	0,12a
Paratylenchus	Paratylenchidae	0,06	0,02	0,00	0,01
Pratylenchus	Pratylenchidae	0,02	0,04	0,01	0,06
Rothylenchus	Hoplolaimidae	0,08a	0,06b	0,03b	0,00b
Rothylenchulus	Hoplolaimidae	0,03	0,00	0,00	0,00
Trichodorus	Trichodoridae	0,01	0,00	0,00	0,00
Tylenchorhynchus	Belonolaimidae	0,00	0,00	0,00	0,00
Tylenchus	Tylenchidae	0,02	0,04	0,02	0,05
Xiphinema	Longidoridae	0,01	0,00	0,00	0,00
Fungívoros					
Aphelenchus	Aphelenchoididae	0,08a	0,01b	0,00b	0,01b
Aphelenchoides	Aphelenchoididae	0,03	0,03	0,02	0,05

Diphtherophora	Diphtherophoridae	0,02	0,00	0,00	0,00
Ditylenchus	Anguinidae	0,02	0,02	0,01	0,04
Dorylaimoides	Dorylaimidae	0,04	0,04	0,01	0,01
Seinura	Aphelenchidae	0,02	0,00	0,00	0,01
Tylencholaimellus	Leptonchidae	0,01	0,00	0,00	0,00
Onívoros		FM	CN	CA	CB
Dorylaimellus	Dorylaimidae	0,02	0,02	0,00	0,01
Mesodorylaimus	Dorylaimidae	0,01	0,00	0,00	0,00
Odontolaimus	Chromadoridae	0,00	0,00	0,00	0,00
Paralongidorus	Dorylaimidae	0,00	0,00	0,00	0,00
Pungentus	Dorylaimidae	0,01	0,00	0,01	0,00
Predadores		FM	CN	CA	CB
Mononchus	Mononchidae	0,01	0,01	0,02	0,01
Paractinolaimus	Panagrolaimidae	0,00	0,00	0,00	0,00

Os valores que não apresentam letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com o índice de Shannon a diversidade de gêneros não apresentou diferença entre as áreas ($F_{3,19} = 1,06$; $p = 0,3937$) (Tabela 5). Também não foi constatada diferença em relação à dominância de nematoides pelo índice de Simpson ($\chi^2 = 1,85$; g.l.= 3; $p = 0,6033$) (Tabela 5).

Tabela 5. Índices de Shannon e Simpson das comunidades de nematoides do solo no fragmento de mata (FM), café natural (CN), café com adubação de cama de aviário (CA) e café com adubação bovina (CB).

Índices de Diversidade	Áreas de Estudo			
	FM	CN	CA	CB
Shannon (H')	2,62 ^{ns}	2,62 ^{ns}	2,30 ^{ns}	2,39 ^{ns}
Simpson (D_s)	0,11 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,164 ^{ns}	0,14 ^{ns}

^{ns} Não significativo pela análise de variância.

A similaridade entre as comunidades de nematoides nas áreas estudadas pode indicar a semelhança dos solos de sistemas agroflorestais com os solos das áreas de vegetação nativa (Rocha et al., 2014). A biodiversidade presente nos sistemas agroflorestais desempenha funções ecológicas que são semelhantes as condições de um ambiente natural. Os SAFs podem ser utilizados como sistemas produtivos que imitam

ecossistemas naturais, tornando possível a preservação da natureza e ao mesmo tempo a produção de alimentos (Perfecto et al., 2009).

Conclusões

A adubação com cama de aviário, esterco bovino e resíduos de plantas não influenciam na diversidade e abundância total das comunidades de nematoides do solo de cafeeiros agroflorestais. A utilização do esterco bovino e cama de aviário favorecem o grupo trófico dos bacteriófagos e reduzem as populações dos fitoparasitas. Na lavoura do café natural os nematoides fitoparasitas e fungívoros são favorecidos, mas a biodiversidade presente e o manejo agroecológico promovem o equilíbrio das comunidades de nematoides do solo e garante a resistência das plantas ao parasitismo provocado por estes organismos.

Mesmo que os ambientes estudados sejam sistemas agroflorestais semelhantes, os nematoides demonstraram ser sensíveis ao tipo de adubação utilizado, isto demonstra que estes organismos são potenciais indicadores de qualidade do solo e conseguem detectar pequenas alterações nas práticas de manejo adotadas no agroecossistema.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e aos agricultores que cederam a propriedade para a execução da pesquisa.

Referências

- BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology and Evolution**, v.14, p.224-228. 1999.
- CAIXETA, L.B.; PEREIRA, T.J.; CASTAÑEDA, E.N.; CARES, J.E. Nematode communities as indicators of the status of a soil ecosystem influenced by mining practices in Brazil. **Nematology**, v.18, n.3, 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. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Universidade Federal de Lavras (UFLA), 2008. p.409-444.
- CHAVES, E.J., ECHEVERRIA, M.M., TORRES, M.S. **Clave para la determinar géneros de Nematodes del suelo de la República Argentina**, 1995. 91p. Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP).
- CHEN, Y.; MEKETE, T.; DABABAT, A.; DAUB, M.; CAO, Z.; SIKORA, R. Response of nematode communities to reclamation of agricultural soils following degradation through brown coal strip-mining processes. **Helminthologia**, v.51, p.53-62, 2014.

- FERRIS, H.R.C.; VENETTE, H.R.; VAN DER MEULEM, S.S.L. Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes: verification and measurement. **Plant and Soil**. 203: 159–171. 1998.
- GOULART, A.M.C. **Diversidade de nematoides em agroecossistemas e ecossistemas naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 71p, 2007.
- HU, C.; WANG, X. H.; QI, Y. C. Characteristics of soil nematode communities under two different land use systems. **Biological Agriculture e Horticulture**, v.30, p.119-130. 2014.
- HUISING, J.; COE, R.; CARES, J.E.; LOUZADA, J.; ZANETTI, R.; MOREIRA, F.M.S.; SUSILO, F.; KONATE, S.; VAN NOORDWIJK; M.; HUANG, S.P. Sampling strategy and design to evaluate below-ground biodiversity. In: MOREIRA, F.M.S.; HUISING E.J.; BIGNELL D.E. (eds) **Sampling and Characterization of Below-ground Biodiversity**. London: Earthscan, 2008. p.17-41.
- JANNOURA, R.; JOERGENSEN, R.G.; BRUNS, C. Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. **European Journal of Agronomy**, v.52, p.259–270, 2014.
- JENKINS, W.R.A. Rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v.4, p.462. 1964.
- JIANG, C.; SUN, B.; LI, H.; JIANG, Y. Determinants for seasonal change of nematode community composition under long-term application of organic manure in an acid soil in subtropical China. **European Journal of Soil Biology**, v.55, p.91–99. 2013.
- JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10, 2009.
- KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**. 1995. 181 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- KHAN, Z. e KIM, Y. H. A review on the role of predatory soil nematodes in the biological control of plant parasitic nematodes. **Applied Soil Ecology**. v.28, p.370-379. 2007.
- LIU, T.; JOANN K.W.; SHEN, Q.; LI, H. Increase in soil nematode abundance due to fertilization was consistent across moisture regimes in a paddy rice-upland wheat system. **European Journal of Soil Biology**, v.72, p.21-26. 2016.
- MAI, W.F.; LYON, H.H. **Pictorial key to genera of plant-parasitic nematodes**. London: Comstock Publishing Associate a division of Cornell University Press, p.219. 1975.
- MEKETE, T.; SIKORA, R.A.; KIEWNICK, S.; HALLMANN, J. Plant-parasitic nematodes associated with coffee (*Coffea arabica* L., Rubiaceae) in Ethiopia. **Nematropica**, v.38, p.177-186. 2008.
- MERRIAM, D. **The Message in a Seed: Guidelines For a Peaceful Living**. 2007,113p. Shumei International.
- 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.
- OKA, Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments - A review. **Applied Soil Ecology**, v.44, p.101-115. 2010.
- PAIVA, J.G.A.; CARVALHO, S.M.F.; MAGALHÃES, M.P.; RIBEIRO, D.G. Verniz vitral incolor 500: uma alternativa de meio de montagem economicamente viável. **Acta Botanica Brasilica**, v.20, p.257-264. 2006.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J.; WRIGHT, A. **Nature's Matrix. Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty**. Earthscan, London. 2009.

- PUMARIÑO, L.; SILESHI, G.W.; GRIPENBERG, S.; KAARTINENA, R.; BARRIOS, E.; MUCHANE, M.N.; MIDEGA, C.; JONSSON, M. Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis. **Basic and Applied Ecology**, v.16, p.573-582. 2015.
- RENCO, M.; KOVACIK, P. Response of Plant Parasitic and Free Living Soil Nematodes to Composted Animal Manure Soil Amendments. **Journal of Nematology**. v.44, p.329-336. 2012.
- RITZINGER, C.H.S.P.; FANCELLI, M.; RITZINGER, R. Nematoides: bioindicadores de sustentabilidade e mudanças edafoclimáticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.32, p.1289-1296. 2010.
- ROCHA, G.P.; FERNANDES, L.A.; CABACINHA, C.D.; LOPES, I.D.P.; RIBEIRO, J.M.; FRAZÃO, L.A.; SAMPAIO, R.A. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Ciência Rural**. v.44, p.1197-1203. 2014.
- SÁNCHEZ, P.A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, v.30, p.5-55, 1995.
- SHANNON, C.E. A mathematical theory of communication. Bell System. **Technical Journal**, v.27, p.379-423. 1948.
- SHER, S.A. Revision of the Hoplolaiminae (Nematoda) V. *Rotylenchus* Filipjev, 19361). v.11, p.173-198. 1965.
- SIDDIQI, M.R.; PINOCHET, J. *Helicotylenchus stylocercus* n. sp. and *Rotylenchus phaliurus* n. sp. (Nematoda: Hoplolaimidae) from Costa Rica. **The Journal of Nematology**. v.11, p.333-338. 1975.
- SIMPSON, E.H. Measurement of diversity. **Nature**, v.163, p.688. 1949.
- SOUZA, H.N.; CARDOSO, I.M.; FERNANDES, J.M.; GARCIA, F.C.P.; BONFIM, V.R.; SANTOS, A.C.; MENDONÇA, E.S. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agroforestry Systems**, v.80, p. 1-16. 2010.
- TOMAZINI, M.D; FERRAZ, L.C.C.B.; MONTEIRO, A.R. Abundância e diversidade de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. **Nematologia Brasileira**. v.32, p.185-193. 2008.
- WALL, D.H.; NIELSEN, U.N.; SIX, J. Soil Biodiversity and Human Health. **Nature**, v.528, p.69-76. 2015.
- YEATES, G.W.; FERRIS, H.; VAN DER PUTTEN, W.H. The role of nematodes in ecosystems. In: Wilson, M.J.T.; Kakouli, D. (Eds.), **Nematodes as Environmental Indicators**. Wallingford: CABI Publishing. 2009. p.1-45.

Artigo 2

Nematoides como indicadores de qualidade do solo em cafeeiros agroflorestais ²

²De acordo com as normas da revista *Biology and Fertility of Soils*

Resumo - A adubação orgânica utilizada em lavouras cafeeiras agroflorestais pode alterar as comunidades de nematoides e indicar o nível de perturbação nos agroecossistemas. Estas perturbações podem ser mensuradas através da caracterização das famílias de nematoides do solo e cálculo dos índices ecológicos específicos para nematoides, como o índice de maturidade (IM), índice de maturidade 2-5 (IM 2-5) e índice de parasitas de plantas (IPP). Por meio da utilização destes índices, o objetivo do trabalho foi determinar o nível de perturbação antrópica em cafeeiros agroflorestais sob diferentes adubações orgânicas e descrever a via de decomposição da matéria orgânica, através das relações entre os grupos tróficos de nematoides fungívoros/bacteriófagos (F/B) e fungívoros+bacteriófagos/fitoparasitas [(F+B)/Fp]. A pesquisa foi realizada em uma propriedade rural no município de Araponga, Zona da Mata de Minas Gerais. Foram coletadas amostras de solo em uma lavoura de café natural orgânico, adubada com resíduos de plantas; em duas lavouras de café orgânico, uma adubada com cama de aviário e outra com esterco bovino e em um fragmento de mata. Os nematoides foram extraídos das amostras de solo e identificados em nível de gênero. Para avaliar a perturbação antrópica foram calculados o IM, IPP e IM 2-5 e para descrever a via de decomposição da matéria orgânica, foram calculadas as relações F/B e [(F+B)/Fp]. Os valores de IM obtidos no fragmento de mata e no café natural não apresentaram diferenças entre as áreas. Nas lavouras do café adubado com esterco bovino e com cama de aviário os valores do IM foram semelhantes entre si e menores em relação ao fragmento de mata e café natural. Os valores do IM 2-5 e IPP não apresentaram diferenças entre as áreas. De acordo com os resultados pode-se concluir que a lavoura do café natural se assemelha ao fragmento de mata e apresenta estabilidade ecológica. E as lavouras cafeeiras em sistemas agroflorestais são estáveis e apresentam baixa perturbação antrópica.

Palavras-chave: agroecologia, adubação orgânica, índice de maturidade, sistemas agroflorestais.

Abstract - The organic fertilizer used in crops agroforestry coffee and organic can affect nematode communities and indicate the level of disturbance to agroecosystems. These disturbances can be measured by characterizing families of soil nematodes and calculation of specific index ecological for nematodes such as maturity index, maturity index 2-5 and plant parasites index. Through the use of these index, the objective was to determine the level of human disturbance in coffee agroforestry under different organic

fertilizers and describe the route of decomposition of organic matter, through the relationships between trophic groups of nematodes fungal feeders /bacterial feeders (F/B) and fungal feeders+bacterial feeders/plant parasites [(F+B)/Fp)]. The study was conducted on a farm in the city of Araponga, Zona da Mata of Minas Gerais. Soil samples were collected from in a crop natural coffee fertilized with plant residues; two crops organic coffee, one fertilized with poultry litter and other cattle manure and in a fragment of forest. The nematodes were extracted from soil samples and identified at genus level. To assess human disturbance were calculated maturity index (MI), plant parasite index (PPI) and maturity 2-5 (MI 2-5). And to describe the path of decomposition of organic matter were calculated (F/B) and [(F+B)/Fp)] The MI values obtained in the forest fragment and natural coffee showed no differences between the areas. In the coffee crops fertilized with cattle manure and poultry litter the MI values form similar and smaller in relation to the fragment of forest and natural coffee. The MI values 2-5 and PPI showed no differences between areas. According to the results it can be concluded that the crop of natural coffee resembles the forest fragment and presents ecological stability. And the coffee crops in agroforestry systems are stable have low human disturbance.

Keywords: agroecology, fertilizer organic, index maturity, agroforestry systems

Introdução

No Brasil, a intensificação da agricultura que ocorreu na década de 70 desencadeou diversos impactos no meio rural, principalmente para os agricultores familiares (Balsan, 2006). A incorporação de práticas preconizadas por essa intensificação da agricultura, como a utilização de fertilizantes sintéticos e aplicação de intensiva de agrotóxicos, impactaram negativamente na funcionalidade dos agroecossistemas (Wall et al., 2015).

Na busca por alternativas à agricultura intensiva, a agricultura agroecológica tem sido apontada internacionalmente como capaz de associar produtividade com a preservação ambiental dos agroecossistemas (De Schutter, 2012). Alguns tipos de sistemas agroflorestais estão entre as tecnologias da agricultura agroecológica capazes de aliar produção e sustentabilidade (Santos e Paiva, 2002).

Os sistemas agroflorestais podem ser definidos como uma forma de cultivo múltiplo, no qual pelo menos duas espécies de plantas interagem biologicamente e pelo menos uma é arbórea e a outra é manejada para a produção agrícola (Somarriba, 1992).

Tais sistemas aumentam a biodiversidade, no solo e acima do solo, dos agroecossistemas (Souza et al., 2010; Cardoso et al., 2003) e o aporte contínuo de resíduos vegetais, aliado a outras técnicas como adubação orgânica, pode promover melhorias nas estruturas química, física e biológica do solo.

Na adubação orgânica, o suprimento de nutrientes no solo é feito a partir do uso de resíduos vegetais e animais, principalmente esterco bovino e cama de aviário (Schowanek et al., 2004). A incorporação destes resíduos de forma equilibrada promove melhorias nas propriedades físicas, na fertilidade, atividade microbiana e alterações na comunidade de alguns organismos do solo como os nematoides (Jannoura et al., 2014). A adubação orgânica pode favorecer ou inibir alguns nematoides e conseqüentemente, alterar a condição natural do ecossistema (Nahar et al., 2006).

Os nematoides do solo são classificados de acordo com o hábito alimentar em fitoparasitas e vida livre (bacteriófagos, fungívoros, predadores e onívoros) (Yeates et al., 2009). Estes organismos desempenham importante papel ecológico na regulação da microbiota, na mineralização e ciclagem de nutrientes, além de serem sensíveis às modificações nos agroecossistemas (Bongers e Ferris, 1999). Tais características conferem aos nematoides a capacidade de indicar o nível de perturbação em ambientes naturais e agrícolas (Stirling et al., 2010; Baquero et al., 2012).

Baseados na estratégia de vida, as famílias dos nematoides foram ordenadas de colonizadoras a persistentes (valor c-p), através de uma escala que varia do grupo de valor c-p 1 (colonizadores primários de novos recursos) ao grupo de valor c-p 5 (persistentes em ambientes não perturbados) (Bongers, 1990). O grupo dos nematoides de valor c-p 1 é representado por organismos tolerantes as perturbações no solo, com curto ciclo de vida e rápido crescimento populacional. O grupo c-p 2 é composto por nematoides colonizadores, com curto ciclo de vida, alta taxa de reprodução e tolerantes a baixa fertilidade e perturbações no solo. O grupo c-p 3 apresenta características intermediárias entre os grupos 2 e 4. Possuem ciclo de vida longo e são relativamente sensíveis a perturbações. O grupo c-p 4 incluem nematoides de maior tamanho corporal, com longo período de vida e sensíveis a perturbações no solo. O grupo c-p 5 apresenta pouca mobilidade no solo, longo ciclo de vida, baixa taxa de reprodução e são muito sensíveis as perturbações no solo (Bongers, 1990).

Através do valor c-p, as alterações na estrutura trófica da comunidade de nematoides podem ser calculadas com a utilização de índices específicos para nematoides como o índice de maturidade (IM), o índice de parasitas de plantas (IPP) e o índice de

maturidade 2-5 (IM 2-5). Estes valores podem ser utilizados como indicadores da sucessão ecológica de um ambiente e mensurar o nível de perturbação. Para o cálculo, o IM considera apenas os nematoides de vida livre e incluem todos os valores c-p e o IPP leva em consideração apenas os nematoides parasitas de plantas (Bongers, 1990). Já o IM 2-5 considera as famílias de nematoides de valor c-p entre 2 a 5 e também exclui os parasitas de plantas (Bongers e Bongers, 1998).

Considerando o potencial dos nematoides como bioindicadores de distúrbios em agroecossistemas, trabalhamos com a hipótese que os nematoides podem indicar a condição ambiental de lavouras de café orgânicas em sistemas agroflorestais. O objetivo foi determinar o nível de perturbação antrópica em cafeeiros agroflorestais sob diferentes adubações orgânicas através do cálculo dos índices específicos para os nematoides, IM, IM2-5 e IPP.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil. O clima da região é mesotérmico e a precipitação anual varia de 1280 mm a 1800 mm. O relevo é montanhoso, a declividade está entre 20 a 45% e os Latossolos são predominantes (Ker, 1995). No passado a região foi submetida a intenso desmatamento e queimadas, que ainda ocorrem, para estabelecer lavouras de café e pastagens (Cardoso e Ferrari, 2006). Recentemente a região sofreu e ainda sofre com os impactos das tecnologias da revolução verde, utilizadas na intensificação da agricultura, com objetivo de aumentar a produtividade.

Na busca para minimizar os impactos causados pela agricultura intensiva na região da Zona da Mata, foram implantados os sistemas agroflorestais (SAFs) com enfoque agroecológico. O estabelecimento dos SAFs nas lavouras de café ocorreu no início da década de 90 em uma iniciativa do Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata de Minas Gerais, em parceria com as organizações dos agricultores/as da região e com a Universidade Federal de Viçosa (Cardoso et al., 2001). E para agregar valor ao café, alguns agricultores optaram pela certificação orgânica de suas lavouras.

As lavouras cafeeiras em sistemas agroflorestais demonstram maior rentabilidade ao serem comparados com lavouras convencionais. Algumas vantagens como a diversificação de produtos e a redução da bienalidade do café em SAF demonstra que esse sistema é mais viável economicamente para agricultores familiares da região (Souza

et al., 2010). O trabalho foi realizado em uma propriedade rural no município de Araponga, um dos municípios da Zona da Mata de Minas Gerais, onde esses SAFs foram estabelecidos. A propriedade fica a 20°38'39.76"S e 42°30'0.27"W e em uma altitude 1315 m. A propriedade possui áreas de cultivo de café em sistemas agroflorestais (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho) e um fragmento remanescente de Mata Atlântica.

Na década de 80 a propriedade era destinada aos cultivos de milho, feijão e atividade pecuária e as práticas de queimadas eram frequentes. Entre os anos de 1999 a 2001, lavouras de café utilizando adubação química foram implantadas. A partir de 2001, a adubação química foi aos poucos substituída por adubação orgânica. No ano de 2003, as árvores foram introduzidas nos cafezais e iniciou-se a transição de cafezais a pleno sol para sistemas agroflorestais. O agricultor realizou o plantio, principalmente, de frutíferas, e deixou crescer árvores aleatoriamente nas lavouras de café. Outras mudanças de manejo ocorreram. O agricultor deixou de capinar as plantas espontâneas e passou a realizar preferencialmente a roçada e nestas áreas nunca utilizou-se agrotóxicos. Atualmente duas das lavouras de café são certificadas como orgânicas pela certificadora Alemã BCS Öko-Garantie. Uma das lavouras é adubada com cama de aviário curtida e outra com esterco bovino curtido. Uma terceira lavoura é certificada como natural pela organização japonesa de Agricultura Natural Shumei (Figura 1). De um modo geral a agricultura natural tem uma abordagem mais ampla, não visa somente a produção de alimentos saudáveis, mas também valoriza o trabalho do agricultor e a preservação do ecossistema. A agricultura natural se difere da agricultura orgânica, segundo as normas da organização japonesa Shumei, por não permitir o uso de resíduos de animais no solo ou qualquer fonte de adubo que seja externa a propriedade. A adubação pode ser feita com folhas e troncos de árvores presentes na lavoura e serapilheira do fragmento de mata que se encontra próximo a área. O princípio da agricultura natural é que tudo que é necessário para o desenvolvimento da planta já está presente no solo (Merriam, 2007).

O cafezal considerado natural ocupa uma área de 0,8 hectares, com espaçamento 2,3 x 1,2 m. Neste sistema as plantas de café foram recepadas no ano de 2011. O café está consorciado principalmente com espécies de bananeira (*Musa* sp.), densidade de 125 árvores/ha; capoeira branca (*Solanum argenteum*), densidade de 40 árvores/ha; palmeira real (*Archontophoenix cunninghamiana*, densidade de 20 árvores/ha e amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) em toda área. Como fontes de adubação são utilizados materiais vegetais presentes na lavoura, como pseudocaulhe de bananeira, troncos de capoeira branca, amendoim forrageiro e serapilheira proveniente do fragmento de mata

que se encontra no entorno da lavoura. As adubações são realizadas, em cobertura, amontoados na projeção da copa da planta de café, uma no mês de novembro e outra após 45 dias. No total, são utilizados aproximadamente 20 kg de material vegetal em cada planta de café por ano.

O cafezal adubado com cama de aviário curtida ocupa quatro hectares, com espaçamento de 3,0 x 1,5 m. As adubações são realizadas em cobertura, na projeção das copas das plantas de café, uma no mês de dezembro e outra após 45 dias. No total, são utilizados aproximadamente quatro quilogramas de cama de aviário curtida por planta/ano, adquirida em granjas vizinhas. Atualmente, as normas da agricultura orgânica permitem o uso de cama de aviário oriundas de granjas não certificadas como orgânicas, desde que o esterco seja curtido pelo processo de compostagem (IN nº 17 de 18/06/2014). Para a compostagem da cama de aviário, o material é montado em camadas intercaladas com esterco e casca de café da propriedade. O composto é umedecido pelo menos uma vez por semana e revirado a cada 30 dias, encerrando o processo com 90 dias. As espécies predominantes na área são guatambu (*Aspidosperma polyneurum*), densidade de 40 árvores/ha; capoeira branca (*Solanum argenteum*), densidade de 40 árvores/ha e bananeira (*Musa sp.*), densidade de 160 plantas/ha. Com exceção da bananeira que é utilizada nas bordas da lavoura com a função de quebra vento, as espécies de plantas estão distribuídas aleatoriamente na lavoura.

O cafezal adubado com esterco bovino curtido ocupa uma área de 1,5 hectares, com espaçamento de 3,0 x 1,5m. As adubações são realizadas em cobertura, na projeção das copas das plantas de café, uma no mês de dezembro e outra após 45 dias. No total, são utilizados aproximadamente seis quilogramas de esterco bovino curtido por planta/ano oriundo da propriedade. Para o processo de compostagem, o esterco é amontoadado em uma pilha, umedecido semanalmente, revirado a cada 30 dias e o processo se encerra com 90 dias. Nesta área encontra-se principalmente espécies de abacateiro (*Persea gratissima*), densidade de 5 plantas/ha e bananeira (*Musa sp.*), densidade de 20 plantas/ha.

O fragmento de mata secundária possui 2,5 hectares e é considerado como remanescente de Mata Atlântica, sem marcas recentes de perturbação antrópica, exceto por eventuais atividades de remoção de galhos e ramos caídos utilizados para a adubação do café natural.

As populações de nematoides foram amostradas nas três áreas de café e no fragmento de mata. Para cada tratamento foram selecionadas ao acaso cinco plantas de café, amostradas em zigue-zague, em sequência coletou-se 20 amostras compostas de

solo, na profundidade de 0-5 cm em setembro de 2015. As coletas foram feitas com auxílio de anel volumétrico de 2,5 cm de diâmetro. Em cada planta foram coletadas 12 subamostras e homogeneizadas em uma amostra composta (Huisin et al., 2008) (Figura 1). As amostras foram transferidas para sacos plásticos, lacradas e identificadas para posterior extração e identificação dos nematoides.

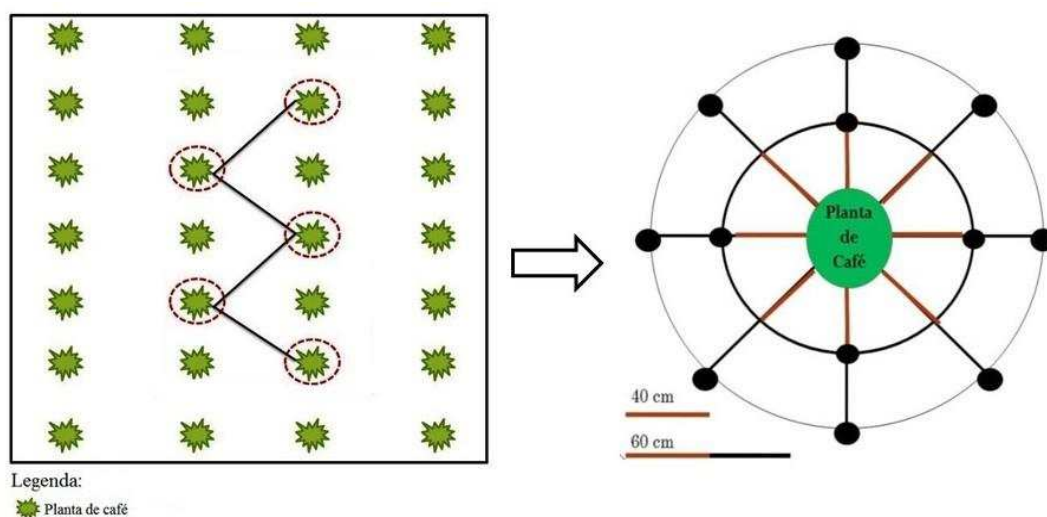


Figura 1. Esquema de amostragem dos nematoides no solo.

A extração dos nematoides foi realizada através do método de flotação em solução de sacarose (Jenkins, 1964). As amostras de solo (100 g de cada) foram passadas em peneira de um milímetro (1 mm). O solo peneirado foi colocado em becker com 1000 mL de água e a solução foi agitada manualmente por um minuto. Após 20 segundos deixou-se decantar as partículas mais grosseiras de solo e o sobrenadante foi transferido para peneira de malha de 400 mesh. O que ficou retido na peneira foi lavado e transferido para tubo falcon (50 mL). Os tubos foram centrifugados a 3000 rpm por cinco minutos e o sobrenadante foi descartado. Adicionou-se solução de sacarose (450 g de açúcar por litro de água) e os tubos foram levados novamente para centrífuga a 1000 rpm por um minuto. A solução foi peneirada em malha de 400 mesh e lavada em água corrente para retirar a sacarose. Transferiu-se os nematoides retidos na peneira para recipientes de plástico (50 mL) com 10 mL de água. Para evitar a deformação corporal dos nematoides, os recipientes plásticos foram mantidos por cinco minutos em estufa com temperatura estável de 64°C para a morte dos indivíduos. Após essa etapa foi feita a fixação dos nematoides com a aplicação de 1 mL de formaldeído 37% na solução e armazenados em refrigerador a 4°C.

Com auxílio de pipeta, transferiu-se 10 mL da solução com os nematoides para placa de petri de vidro lisa (60x15 mm). As placas foram levadas para estereoscópio binocular (Bel Photonics®, modelo SZ) para possibilitar a visualização dos nematoides. Com agulha nematológica os nematoides foram recolhidos e transferidos para lâminas de microscopia do tipo lapidada comum (Precision Glass®, 26x76 mm) contendo uma gota de solução de água com formaldeído 37% na proporção 10:1.

Em cada lâmina foi pincelada uma camada dupla de verniz vitral fosco (Acrilex®) para fixar a lamínula (Paiva, 2006). Para vedar os espaços entre a lâmina e a lamínula aplicou-se dupla camada de esmalte incolor (Risqué®). Os nematoides foram identificados em nível de família com auxílio de microscópio óptico de 1000x (Motic® - modelo A210) e guias de identificação (Mai e Lyon, 1975; Chaves et al., 1995).

Foram feitas análises químicas e físicas do solo das quatro áreas estudadas. As amostras foram coletadas na profundidade de 0-5 cm com auxílio de anel volumétrico e castelo.

Para determinar o nível de perturbação antrópica no solo das áreas estudadas foram calculados o índice de maturidade (IM), índice de parasita de planta (IPP) e o índice de maturidade 2-5 (IM2-5). Para o cálculo destes índices, as famílias de nematoides são ordenadas de colonizadores a persistentes. Essa representação é feita através da escala de valor c-p, que varia do valor um (colonizadores primários de novos recursos) a cinco (persistentes em ambientes não perturbados). O índice de Maturidade leva em consideração todos os nematoides do solo, exceto os fitoparasitas e pode ser calculado através da equação $IM = \sum [v(i) \times p_i]$, onde $v(i)$ corresponde ao valor c-p da família do nematoide e p_i a abundância relativa da família na amostra (Bongers, 1990). O IM 2-5 baseia-se no cálculo dos grupos de nematoides que possuem valor c-p entre 2 e 5. São excluídos os fitoparasitas e nematoides colonizadores de valor c-p 1. Devido à funcionalidade dos nematoides fitoparasitas no agroecossistema, esse grupo é utilizado para calcular o nível de perturbação antrópica por meio do IPP (Bongers, 1990). Para calcular a razão entre nematoides fungívoros e bacteriófagos foram avaliadas as relações de grupos tróficos fungívoros/bacteriófagos (M/B) e fungívoros+bacteriófagos/fitoparasitas (F+B/Fp) (Gomes et al., 2003).

A estatística do índice de maturidade, índice de maturidade 2-5 e índice de parasitas de plantas foi realizada análise de variância, e quando significativa, as médias foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) pelo programa estatístico Sisvar 5.6.

Resultados

A semelhança entre os atributos físicos dos solos estudados, indica que as diferenças encontradas são devido ao uso e manejo do solo e não devido a gênese do solo. Esta similaridade demonstra que as áreas são passíveis de realizar comparações entre as comunidades de nematoides (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização física dos solos na profundidade de 0-10 cm no fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB) em propriedade de agricultura familiar em Araponga, Minas Gerais.

Áreas	Atributo Físico (%)							
	Areia	Silte	Argila	Classe Textural	PT	Micro	Macro	Umid
FM	45	2	53	Argiloso	65	29	36	25,7
CN	42	9	49	Argiloso	51	27	24	24
CA	42	8	50	Argiloso	50	29	21	27,02
CB	54	3	43	Argiloso	50	30	21	30,36

PT, porosidade total; Micro, microporosidade; Macro, macroporosidade; Umid, umidade natural.

De acordo com o resultado das análises químicas, as áreas estudadas apresentaram pH entre 5,5 e 5,8 e teores de matéria orgânica entre 11,93 dag/kg e 23,23 dag/kg. As três lavouras apresentaram também elevados teores de K, Ca e Mg e relação C:N ideal para cultivos agrícolas nas lavouras do café natural (1:25) e adubado com esterco bovino (1:30) (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química dos solos na profundidade de 0-10 cm no fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB) em propriedade de agricultura familiar em Araponga, Minas Gerais.

	pH	N	P	K	Ca	Mg	MO	C	C:N
		dag/kg	mg/dm ³	mg/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	dag/kg	dag/kg	
FM	5,7	0,29	3,0	60	0,46	0,22	19,46	11,31	39,01
CN	5,8	0,27	15,4	319	7,3	3,79	11,93	6,93	25,65
CA	5,5	0,28	705,6	977	9,53	6,83	23,23	13,5	48,21
CB	5,6	0,27	46,7	329	5,92	2,26	14,44	8,39	31,01

MO, matéria orgânica; C, carbono orgânico total.

Nos solos de todas as áreas, encontraram-se 30 famílias de nematoides, as quais foram classificadas de acordo com o grupo trófico em bacteriófagos, fitoparasitas, fungívoros, onívoros e predadores e o valor colonizador persistente (valor c-p) correspondente para cada família (Tabela 3).

Tabela 3. Abundância relativa média das famílias de nematoides encontrados em 100 gramas de solo de cada amostra do fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB), distribuídos de acordo com o valor c-p.

Grupo Trófico / Família	Valor c-p	Áreas			
		FM	CN	CA	CB
Bacteriófagos		Abundância Relativa (%)			
Alaimidae	4	0,01	0,00	0,01	0,00
Bunonematinae	1	0,00	0,00	0,00	0,00
Cephalobidae	2	0,08	0,08	0,14	0,10
Diplogasteridae	1	0,01	0,02	0,03	0,05
Diplogastridae	1	0,00	0,00	0,02	0,01
Monhysteridae	1	0,01	0,00	0,01	0,01
Panagrolaimidae	1	0,00	0,00	0,01	0,03
Plectidae	1	0,01	0,02	0,04	0,02
Rhabditidae	1	0,04	0,10	0,49	0,35
Steinernematidae	1	0,00	0,00	0,01	0,01
Teratocephalidae	2	0,01	0,00	0,00	0,02
Fitoparasita		FM	CN	CA	CB
Belonolaimidae	3	0,00	0,00	0,00	0,00
Criconematinae	3	0,15	0,26	0,00	0,00
Hemicycliophoridae	3	0,02	0,00	0,01	0,02
Heteroderidae	3	0,02	0,12	0,02	0,12
Hoplolaimidae	3	0,26	0,15	0,09	0,00
Longidoridae	5	0,01	0,00	0,00	0,00
Paratylenchidae	3	0,08	0,02	0,00	0,01
Pratylenchidae	2	0,02	0,04	0,01	0,06
Trichodoridae	4	0,01	0,00	0,00	0,00
Tylenchidae	2	0,02	0,04	0,02	0,05
Fungívoros		FM	CN	CA	CB
Aphelenchoididae	2	0,11	0,04	0,02	0,06
Diphtherophoridae	3	0,02	0,00	0,00	0,00
Anguinidae	2	0,02	0,02	0,01	0,04
Dorylaimidae	4	0,04	0,04	0,01	0,01
Aphelenchidae	2	0,02	0,00	0,00	0,01

Leptonchidae	4	0,01	0,00	0,00	0,00
Onívoros		FM	CN	CA	CB
Dorylaimidae	4	0,04	0,02	0,01	0,01
Chromadoridae	3	0,00	0,00	0,00	0,00
Predadores		FM	CN	CA	CB
Mononchidae	4	0,01	0,01	0,02	0,01
Panagrolaimidae	1	0,00	0,00	0,00	0,00

Os valores do índice de maturidade (IM) apresentaram diferenças significativas entre as áreas ($F_{3,19} = 10,50$; $p = 0,0005$), com maiores valores no fragmento de mata (2,24) e na lavoura de café natural (1,89) e menores valores na lavoura com esterco bovino (1,54) e com cama de aviário (1,45). Em relação ao índice de parasitas de plantas ($F_{3,19} = 3,09$; $p = 0,0570$) e índice de maturidade 2-5 ($F_{3,19} = 1,00$; $p = 0,4202$) não foram observadas diferenças entre as áreas (Tabela 4).

Tabela 4. Índices ecológicos de nematoides encontrados nas amostras de solo do fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB).

Índices	Áreas			
	FM	CN	CA	CB
Índice de Maturidade	2,34 a	1,89 a	1,45 b	1,55 b
Índice de Parasitas de Plantas	2,95 ^{ns}	2,94 ^{ns}	2,89 ^{ns}	2,75 ^{ns}
Índice de Maturidade 2-5	2,35 ^{ns}	2,57 ^{ns}	2,60 ^{ns}	2,37 ^{ns}

Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).^{ns} Não significativo pela análise de variância.

A distribuição dos nematoides de acordo com o valor c-p nos solos do fragmento de mata e dos cafezais adubados de diferentes formas encontram-se na Figura 2. Os nematoides de valor c-p 1 foram mais encontrados nos solos das lavouras de café adubado com cama de aviário e esterco bovino (valores entre 60 e 70%) e menos encontrados nos solos do café natural (~40 %) e do fragmento de mata (~14%). Os nematoides de valor c-p 2 foram mais encontrados no fragmento de mata e café natural (valores variando de 58 a 43%) e menos encontrados nos cafezais adubado com esterco bovino e cama de aviário (valores variando de 32 a 25%). Os nematoides de valor c-p 3 foram mais encontrados nos solos de mata e café natural (variando de 4 a 7%) e menos encontrados nos solos dos cafezais adubados com esterco animal (valores variando de 2 a 3%). Os nematoides de

valor c-p 4 foram mais encontrados nos solos do fragmento de mata e café natural (valores em torno de 20%) e menos encontrados nos solos das lavouras adubadas com cama de aviário e esterco bovino (valores variando de 5,50 a 3,50%).

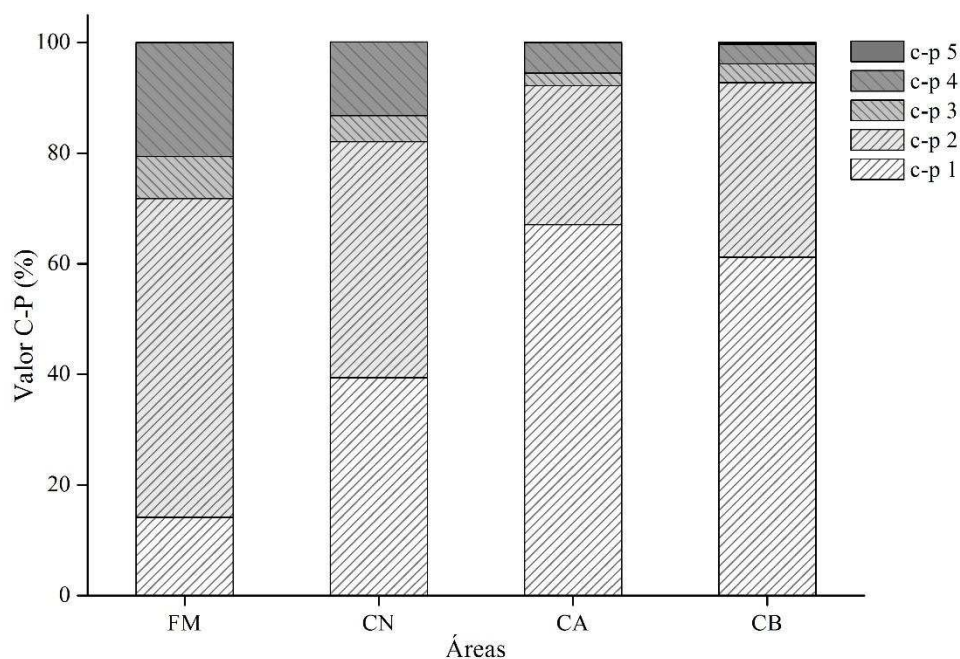


Figura 2. Distribuição dos nematoides de acordo com o valor c-p no fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino.

Em relação a distribuição dos nematoides fitoparasitas de acordo com a escala de valor c-p nos solos do fragmento de mata e dos cafezais adubados de diferentes formas encontram-se na Figura 3. Os nematoides fitoparasitas (c-p 3) dominaram em todos os solos dos sistemas estudados (variando de 79 a 94%).

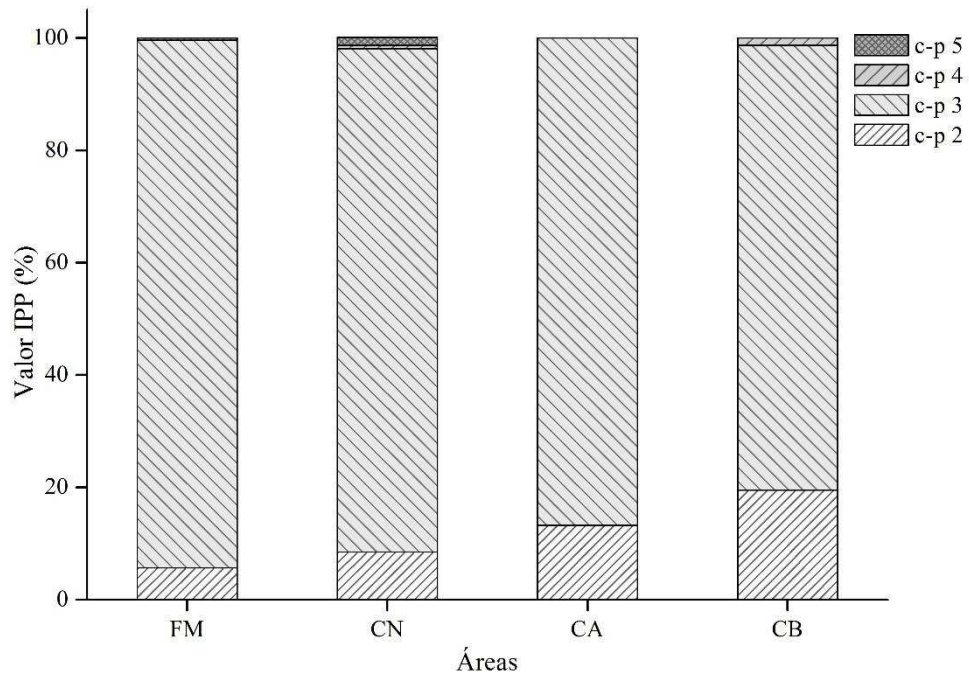


Figura 3. Distribuição dos nematoides pela escala de parasitas de plantas no fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB).

As relações entre os diferentes grupos de nematoides encontram-se na Figura 3. A maior relação F/B foi encontrada no solo do fragmento de mata (2,23); nos solos dos cafezais adubados com esterco bovino e resíduos vegetais (CN), a relação F/B foi de aproximadamente 0,35 e a menor relação (0,06) foi encontrada no solo do cafezal adubado com cama de aviário.

As maiores relações $[(F+B)/Fp]$ foram encontrados nos solos nas áreas de café adubados com cama de aviário e esterco bovino (~11). Portanto, houve nestas áreas, predominância de grupos de predadores de microrganismos em comparação com os fitoparasitas. As menores relações foram encontradas nos solos das áreas do café natural e fragmento de mata (variando de 0,88 a 0,80) (Figura 4).

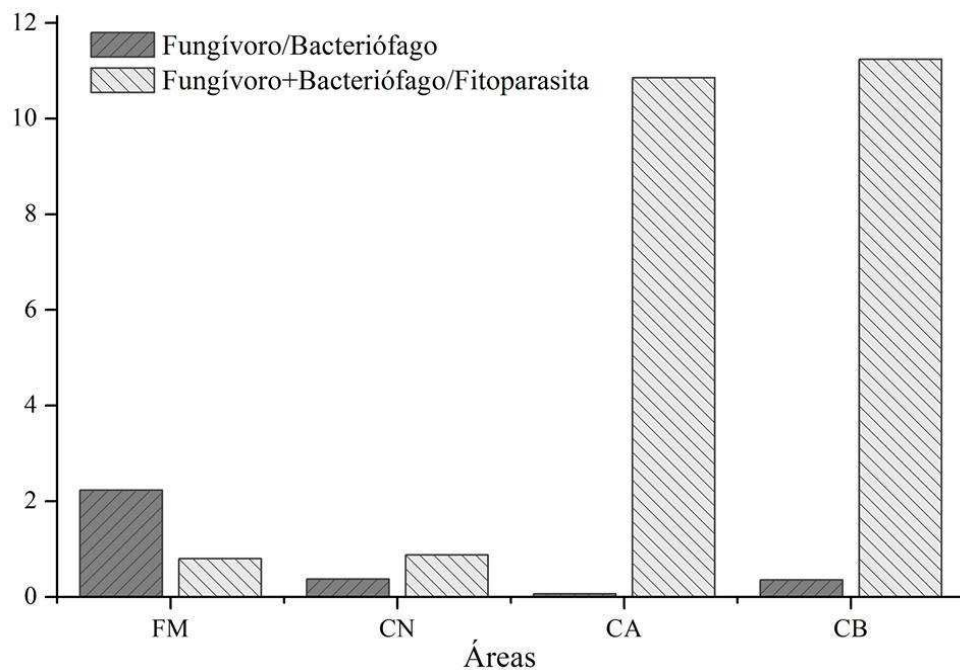


Figura 4. Relação fungívoros/bacteriófagos e fungívoros+bacteriófagos/fitoparasitas no fragmento de mata (FM), café natural (CN), café adubado com cama de aviário (CA) e café adubado com esterco bovino (CB).

Discussão

O teor de alguns nutrientes presentes nestes adubos podem alterar a estrutura da comunidade de nematoides (Jannoura et al., 2014). Assim, os elevados teores encontrados de cálcio, magnésio e fósforo nos solos das lavouras com adubação com cama de aviário e esterco bovino (Tabela 2) justificam a dominância de nematoides bacteriófagos da família Rhabditidae nestas áreas (Zhao e Neher, 2013). A família Rhabditidae está entre os principais nematoides colonizadores (valor c-p 1) e está associada a solos com maiores teores de nutrientes (Porazinska et al., 1999; Jiang et al., 2013).

Valores de IM acima de dois, como os encontrados nos solos de fragmentos de matas (Tabela 4) indicam ambientes com estágio avançado de estabilidade ecológica e valores entre um e dois, como os encontrados nos solos dos cafezais indicam baixa atividade antrópica (Bongers, 1990). Desta forma, os resultados demonstram que as lavouras cafeeiras apresentam baixa atividade antrópica, característico de áreas manejadas sob sistemas agroflorestais (Huang et al., 1998) e orgânicos (Mondino et al., 2009). O valor IM dos solos do café natural e fragmento de mata foram similares, portanto, o café adubado sob manejo natural é o que mais se aproxima das condições de vegetação nativa. Estes resultados sugerem ainda que a condição do solo das lavouras

está associada a forma de manejo das mesmas. O manejo agroecológico sem uso de insumos químicos (adubos e agrotóxicos), não revolvimento do solo, constantes entradas de resíduos orgânicos provenientes das árvores e do manejo da vegetação espontânea herbácea e adubação orgânica, vegetal ou animal, favoreceram a qualidade dos solos dos agroecossistemas (Mulder et al., 2003). Portanto, é possível produzir sem degradar o ambiente com recursos oferecidos pela natureza e promover o equilíbrio do agroecossistema.

A predominância de nematoides colonizadores de valor c-p 1 nos solos das lavouras de café adubado com cama de aviário e esterco bovino (Figura 2) está associada com a abundância da família Rhabditidae (Tabela 3). A incorporação de esterco animal curtido no solo estimula a atividade bacteriana, o que favorece nematoides colonizadores da família Rhabditidae (Bongers e Ferris, 1999).

Nematoides de valor c-p2 foram predominantes em todas as áreas estudadas (Figura 2). Essa predominância pode estar relacionada com os nematoides da família Cephalobidae (Tabela 3) que são favorecidos em solos com baixas oscilações de temperatura e com alta umidade (Porazinska et al. 1999), condições estas que são promovidas pela cobertura do solo em sistemas agroflorestais (Udawatta et al., 2008).

A predominância de nematoides da família Dorylaimidae de valor c-p 4 no café natural e no fragmento de mata (Figura 2) foi o principal fator para elevar o IM nestas áreas. Os nematoides desta família são caracterizados por possuir maior ciclo biológico, cutícula permeável e estar entre os grupos de nematoides mais sensíveis aos agrotóxicos e as modificações na cobertura do solo (Yeates e Boag, 2003). Os fitoparasitas de valor c-p 3 foram predominantes em todas as áreas estudadas, com abundância de nematoides da família Criconematidae no fragmento de mata e na lavoura do café natural (Figura 3). Esta família de nematoides é raramente encontrada em áreas agrícolas por serem sensíveis a perturbações no solo destes ambientes (Tomazini et al., 2008). Portanto, a presença das famílias Dorylaimide e Criconematidae no solo do café natural indicam a qualidade do solo e a estabilidade do agroecossistemas e demonstra que o cafezal natural possui maior proximidade com o ecossistema natural.

Os nematoides da família Hoplolaimidae nos solos das lavouras adubadas com cama de aviário e esterco bovino foram predominantes (Figura 3). A elevada densidade populacional destes fitoparasitas indica áreas com alto teor de nutrientes específicos (Mondino et al., 2011), como aqueles presentes nos adubos de origem animal, a exemplo do P e K (Tabela 2).

A baixa relação fungívoros/bacteriófagos no solo da lavoura de café adubado com cama de aviário (Figura 3) indica que a decomposição da matéria orgânica é feita em sua maioria por bactérias. O maior número de bacteriófagos em relação a fungívoros é característica predominante em áreas agrícolas e está associado com compostos que possuem baixa relação C:N (Mattos et al., 2008). A abundância de fungívoros nos solos do fragmento de mata, no café natural e no café com esterco bovino (Tabela 3) pode ter sido favorecida pelo elevado teor de matéria orgânica nestes agroecossistemas (Liu et al., 2016). Os fungívoros são sensíveis aos ácidos amoniacais liberados pela decomposição da cama de aviário no solo (Oka, 2010), este pode ser a razão da menor predominância deste grupo trófico no solo desta lavoura.

As maiores médias da relação fungívoros+bacteriófagos/fitoparasitas observadas nos solos das lavouras de café com cama de aviário e esterco bovino, elucidam a baixa dominância de nematoides fitoparasitas nestas áreas. A incorporação de compostos orgânicos de origem animal no solo promove o aumento populacional de nematoides bacteriófagos em curto prazo. Estes compostos possuem elevados teores de nutrientes como N e P, o solo reage com o aumento da atividade bacteriana que posteriormente servirá de alimento para os nematoides bacteriófagos. Já os fitoparasitas apresentam um comportamento inverso, após a incorporação de compostos orgânicos de origem animal são suprimidos devido a sensibilidade deste grupo aos ácidos liberado pela decomposição no solo e a medida que os componentes destes resíduos são decompostos ou volatilizados, a população de fitoparasitas volta a se estabilizar (Oka, 2010; Steel et al., 2012). Já a incorporação de adubo orgânico de origem vegetal pode ou não suprimir os fitoparasitas, isto irá depender da relação C:N que será a fonte de resíduo vegetal.

Conclusões

Os índices de maturidade (IM, IM2-5 e o IPP) foram eficientes em indicar a perturbação antrópica dos cafeeiros em sistemas agroflorestais. O fragmento de mata e a lavoura do café natural são ambientes que apresentaram maior estabilidade ecológica. Entretanto, os solos das lavouras cafeeiras adubadas com cama de aviário e esterco bovino apresentaram baixa perturbação antrópica e também se aproximaram da estabilidade ecológica presente no fragmento de mata.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e aos agricultores que cederam a propriedade para a execução da pesquisa.

Referências

- Balsan R. (2006) Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. *Campo-território: Revista de geografia agrária* 1:123-151
- Baquero JE, Ralisch R, Medina CC, Tavares Filho J, Guimarães MF (2012) Soil physical properties and sugarcane root growth in Red Oxisol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:63-70
- Bongers T (1990) The maturity index, an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83:14-19
- Bongers T, Bongers M (1998) Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10:239-251
- Bongers T, Ferris H (1999) Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology and Evolution* 14:224-228
- Cardoso IM, Ferrari EA (2006) Construindo o conhecimento agroecológico: trajetória de interação entre ONG, universidade e organizações de agricultores. *Revista Agrícolas* 3:28-32
- Cardoso IM, Boddington C, Janssen B, Oenema O, Kuyper T (2003) Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agrofor Syst* 58:33-43
- Cardoso IM, Guijt I, Franco FS, Carvalho AF, Ferreira Neto PS (2001) Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. *Agric Sys* 69:235-257
- Chaves EJ, Echeverria MM, Torres MS (1995) Clave para la determinar géneros de Nematodes del suelo de la República Argentina. *Balcarce: UNMdP*, pp91
- De Shutter, O (2012) Agroecology, a Tool for the Realization of the Right to Food. *Sustainable Agriculture Reviews* 8:1-16
- Gomes CB (2003) Doenças causadas por nematóides. In: Fortes JF, Osório VA (eds) *Pêssego: fitossanidade*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, pp23-28
- Huang SP, Cares JE, Vivas JP (1998) Nematode biodiversity of five different land use systems in two Brazilian tropical states, Rondônia and Acre. *Fitopatologia Brasileira* 23:305
- Huising J, Coe R, Cares JE, Louzada J, Zanetti R, Moreira FMS, Susilo F, Konate ES, Van Noodwijk M, Huang SP (2008) Sampling strategy and design to evaluate below-ground biodiversity. In: Moreira, FMS, Huising EJ, Bignell DE (eds) *Sampling and Characterization of Below-ground Biodiversity*. pp17-41
- Jannoura R, Joergensen RG, Bruns C (2014) Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. *European Journal Agronomy* 52:259-270
- Jenkins WRA (1964) Rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter* 4:462

- Jiang C, Sun B, Li H, Jiang Y (2013) Determinants for seasonal change of nematode community composition under long-term application of organic manure in an acid soil in subtropical China. *European Journal of Soil Biology* 55:91–99
- Ker JC (1995) Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa pp.181
- Liu T, Joann KW, Shen Q, Li H (2016) Increase in soil nematode abundance due to fertilization was consistent across moisture regimes in a paddy rice-upland wheat system. *European Journal of Soil Biology* 72:21-26
- Mai WF e Lyon HH (1975) Pictorial key to genera of plant-parasitic nematodes. London: Comstock Publishing Associate a division of Cornell University Press, pp219
- Mattos JKA, Andrade EP, Teixeira MA, Castro APG, Huang SP (2008) Grupos-chave de onze diferentes comunidades de nematoides do solo na região dos Cerrados do Brasil Central. *Nematologia Brasileira* 32:142-14
- Merriam D (2007) *The Message in a Seed: Guidelines For a Peaceful Living*. Shumei International, pp.113
- Mondino EA, Tavares OCH, Ebeling AG, Figueira AF, Quintero EI, Berbara RLL (2009) Avaliação das comunidades de nematoides do solo em agroecossistemas orgânicos. *Acta scientiarum agronomy* 31:509-515
- Mondino EA, Tavares OCH, Figueira AF, Souza, NB, Berbara RLL (2011) Comunidade de nematoides em diferentes formações vegetais em um ecossistema costeiro de Restinga no Brasil. *Nematropica* 41:229-239.
- Mulder CH, Zwart DD, Van Wijnen HJ, Schouten AJ, Breure AM (2003) Observational and simulated evidence of ecological shifts within the soil nematode community of agroecosystems under conventional and organic farming, *Functional Ecology* 17:516-525
- Nahar MS, Grewal PS, Miller SA, Stinner D, Stinner BR, Kleinhenz MD, Wszelaki A, Doohan D (2006) Differential effects of raw and composted manure on nematode community, and its indicative value for soil microbial, physical and chemical properties. *Appl Soil Ecol* 34:140-151
- Oka Y (2010) Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments - A review. *Applied Soil Ecology* 44-101-115
- Paiva JGA, Carvalho SMF, Magalhães MP, Ribeiro DG (2006) Verniz vitral incolor 500: uma alternativa de meio de montagem economicamente viável. *Acta Botanica Brasilica* 20:257-264
- Porazinska DL, Duncan LW, Mcsorley R, Graham JH (1999) Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Applied Soil Ecology* 13:69-86
- Santos MJC, Paiva SN (2002) Os sistemas agroflorestais como alternativa econômica em pequenas propriedades rurais: estudo de caso. *Ciência Florestal* 12:135-141
- Schowaneck D, Carr R, David H, Douben P, Hall J, Kirchmann H, Patria L, Sequi P, Smith S, Webb S (2004) A risk-based methodology for deriving quality standards for organic contaminants in sewage sludge for use in agriculture—conceptual framework. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 40:227–251
- Somarriba E (1992) Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agrofor Syst* 19:233-240
- Souza HN, Cardoso IM, Fernandes JM, Garcia FCP, Bonfim VR, Santos AC, Carvalho AF, Sá Mendonça E (2010) Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. *Agroforestry Systems* 80:1–16

- Steel H, Vandecasteele B, Willekens K, Bert W (2012) Nematode communities and macronutrients in composts and compost-amended soils as affected by feedstock composition. *Applied Soil Ecology* 61:100– 112
- Stirling GR, Moody PW, Stirling AM (2010) The impact of an improved sugarcane farming system on chemical, biochemical and biological properties associated with soil health. *Applied Soil Ecology* 46:470-477
- Tomazini MD, Ferraz LCCB, Monteiro AR (2008) Abundância e diversidade de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. *Nematologia Brasileira* 32:185-193
- Udawatta RP, Kremer RJ, Adamson BW, Anderson SH (2008) Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. *Applied Soil Ecology* 39:153-160
- Wall DH, Nielsen UN, Six J (2015) Soil Biodiversity and Human Health. *Nature* 528:69-76
- Yeates GW, Ferris H, Van der Putten, WH (2009) The role of nematodes in ecosystems. In: Wilson MJT, Kakouli D. (ed) *Nematodes as Environmental Indicators*. Wallingford: CABI Publishing. pp1-45
- Yeates GW, Boag B (2003) Growth and life histories in Nematoda, with particular reference to environmental factors. *Nematology* 5:653-664
- Zhao J, Neher DA (2013) Soil nematode genera that predict specific types of disturbance. *Applied Soil Ecology* 64:135–141

CONCLUSÕES FINAIS

A adubação de origem animal favorece a abundância de nematoides bacteriófagos e a incorporação de resíduos de plantas no solo favorece os grupos tróficos dos fitoparasitas e fungívoros. A lavoura do café natural apresenta estabilidade ecológica e os valores dos índices de maturidade demonstram semelhança entre esta lavoura e o fragmento de mata. As lavouras sob adubação de cama de aviário e esterco bovino apresentam baixa atividade antrópica. Os resultados demonstraram que é possível utilizar as comunidades de nematoides como indicadores do impacto do manejo do solo. Estes organismos foram eficientes indicadores do grau de perturbação antrópica em lavouras cafeeiras, conseguiram detectar as diferenças em ambientes semelhantes que variavam somente pelo tipo de adubação. De modo geral, os nematoides presentes no solo das áreas estudadas evidenciaram a similaridade dos sistemas agroflorestais com o ecossistema natural (mata) e que, portanto, é possível produzir sem degradar o solo.