

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PATRÍCIA ÂNGELO DE BARROS**

**DINÂMICA DE NEMATÓIDES EM COLUNAS DE SOLO**

**Recife**  
**2016**

PATRÍCIA ÂNGELO DE BARROS

DINÂMICA DE NEMATÓIDES EM COLUNAS DE SOLO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elvira Maria Régis Pedrosa

Coorientadores: Prof<sup>o</sup>. Dr. Ênio Farias de França e  
Silva

Prof<sup>o</sup>. Dr. Jarbas Honório de Miranda

Recife  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

B277d Barros, Patrícia Ângelo de  
Dinâmica de nematóides em colunas de solo / Patrícia Ângelo  
de Barros. – 2016.  
86 f. : il.

Orientadora: Elvira Maria Régis Pedrosa..  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola, Recife, BR-PE, 2016.

Inclui referências e apêndice(s).

1. *Meloidogyne enterolobii* M. incógnita 2. *Pratylenchus*  
*coffea* 3. Movimento no solo I. Pedrosa, Elvira Maria Régis,  
orient. II. Título

CDD 631

PATRÍCIA ÂNGELO DE BARROS

DINÂMICA DE NEMATÓIDES EM COLUNAS DE SOLO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Aprovada em

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Elvira Maria Régis Pedrosa  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. Ênio Farias de França e Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Andrea Chaves Fiuza Porto  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. Jarbas Honório de Miranda  
Universidade de São Paulo

---

Dr<sup>ª</sup>. Mércia Soares de Oliveira Cardoso  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

## DEDICO

Aos meus pais, Diógenes e Maria, pelo exemplo de vida, amor, carinho, conselhos, força e dedicação, em todos os momentos da minha vida, os quais foram imprescindíveis nas horas difíceis. Amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, por ter realizado mais uma conquista em mais uma etapa da minha, a Ele toda honra e glória.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de cursar o Doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes/Reuni), pela concessão da bolsa de estudos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento do presente trabalho;

A professora Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa, pela orientação, atenção, conselho, compreensão, amizade, paciência, sempre muito atenciosa nas horas que precisei de ajuda. A ela a minha admiração.

Aos professores Dr. Ênio Farias de França e Silva e Dr. Jarbas Honório de Miranda (ESALQ-USP) e ao coordenador Prof<sup>o</sup>. Dr. Mário Monteiro Rolim, pelos conselhos e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos que conquistei na Pós-graduação e aos amigos da graduação que ingressaram comigo.

Aos amigos do laboratório de Fitonematologia, pela amizade e agradável convívio, Alain, Ana, Carmem, Carol, Diego, Douglas, Karina, Lhi, Luana, Marcela, Matheus Quintela, Matheus Silva, Maurício, Rayssene, Rezanio, Stan e Thaís.

A Mariana estagiaria de todas às horas, pelo seu companheirismo nos momentos alegres e difíceis e pela grande ajuda na execução deste trabalho.

A profa. Dra. Lilian Guimarães, Dra. Sandra Maranhão e Dra. Mercia Cardoso pelo apoio na realização desse trabalho.

Ao Secretário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Manuel, pela amizade e carinho em todos os momentos dessa longa jornada.

Aos meus queridos irmãos Luiz e Janaina pelo incentivo, amor, amizade, conselhos e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Enfim, a todos aqueles que estiveram do meu lado não só nas horas de alegria, mas quando os problemas se fizeram presentes e os desafios se tornaram grandes demais para uma única pessoa. A todos devo minha gratidão e grande parte da felicidade que conquistei ao ter finalizado este trabalho.

“Entrega o teu caminho ao SENHOR; confia Nele, e Ele o fará.”  
(Salmos 37:5)

## RESUMO

Os nematoides parasitos de plantas causam sérios prejuízos agrícolas em todo o mundo. Embora os danos e as densidades populacionais desses parasitos sejam maiores em solos arenosos não encharcados, existe pouca informação de como a textura e a hidrodinâmica do solo afetam a movimentação do nematoide. Considerando que sucesso do parasitismo e a movimentação do nematoide do solo são afetados pelos diversos ambientes e que a textura do solo é altamente relevante para a mobilidade e eficiência na infecção o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do fluxo de água na migração dos nematoides *Meloidogyne enterolobii*, *M. incognita* e *Pratylenchus coffeae* em solo com diferentes densidades, textura e vazão, utilizando colunas de solo (em acrílico, constituídas por um cilindro com diâmetro interior de 1,95 cm, secção transversal de 3,0 cm<sup>2</sup>, com 11,0 cm de comprimento) e uma bomba peristáltica, a temperatura de aproximadamente 27 ° C, em condições de laboratório. Os experimentos foram realizados em duas etapas. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Fitonematologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e no Laboratório de Física do Solo e Qualidade de Água do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). Na primeira etapa os estudos foram conduzidos em colunas não segmentadas em condição de saturação com fluxo constante. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial cruzado e aninhado constituído por 3 (espécie de nematoide: *M. enterolobii*, *M. incognita*, *P. coffeae*) × 2 (condição do nematoide: vivo, morto) × 3 (solos: Latossolo Vermelho, série “Sertãozinho” (S1); Nitossolo Vermelho, série “Sertãozinho” (S2); Areia lavada (S3)) × 3 (densidades: densidade real do solo, densidade acima e abaixo da mesma) × 4 (vazões: 5, 15, 25 e 40 mL/min) com três repetições. Na segunda etapa, o movimento foi analisado em ensaios com coluna segmentada com e sem fluxo de água. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial cruzado e aninhado constituído por 3 (espécie de nematoide: *M. enterolobii*, *M. incognita*, *P. coffeae*) × 3 (solos: Latossolo Vermelho, série “Sertãozinho” (S1); Nitossolo Vermelho, série “Sertãozinho” (S2); Areia lavada (S3)) × 3 (densidades: densidade real do solo, densidade acima e abaixo da mesma) × 3 (Períodos após a incubação: 1, 3 e 5 dias) com três repetições. Os nematoides apresentaram diferenças em mobilidade, principalmente quando vivos. O tipo de solo (areia, textura media e argiloso) afetou a mobilidade do nematoide, contudo, quanto mais areia presente na composição do solo e quanto menor a densidade do solo, maior o número de nematoides lixiviados. Dentre as espécies estudadas, *M. incognita* foi a menos lixiviada, indicando uma possível maior resistência ao fluxo.

Palavras-chave: *Meloidogyne enterolobii*. *M. incognita*. *Pratylenchus coffeae*. Movimento no solo.

## ABSTRACT

The plant-parasitic nematodes cause serious agricultural losses worldwide. Although the damage and the population densities of these parasites are larger in sandy soils not soggy, there is little information on how the texture and soil hydrodynamics affect the nematode movement. Because successful nematode parasitism and movement in soil is affected by different environments and soil texture, studies on nematode mobility and infection efficiency is highly relevant, This study evaluates the influence of water flow in the migration of the nematodes *Meloidogyne enterolobii*, *M. incognita* and *Pratylenchus coffeae* in different soil density, texture and flow, using soil columns (acrylic, consisting of a cylinder with inner diameter of 1.95 cm, cross-section of 3.0 cm<sup>2</sup>, with 11 . 0 cm length) and a peristaltic pump, at a temperature of about 27 ° C under laboratory conditions. The experiments were carried out in two stages. The tests were performed in Laboratory of Plant Nematology of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE) and Laboratory of Soil Physics and Water Quality of the Department of Biosystems Engineering Laboratory of the São Paulo University (ESALQ/USP). In the first step studies were carried out in non-segmented columns in saturation condition with constant flow. The experimental design was completely randomized in a crossed and nested factorial design 3 (nematode species: *M. enterolobii*, *M. incognita*, *P. coffeae*) × 2 (nematode condition: alive, dead) × 3 (soil: Latossolo red series "Sertaozinho" (S1); Alfisol series "Sertaozinho" (S2); washed sand (S3)) × 3 (thickness: real bulk density, density above and below it) × 4 (flow rates: 5, 15, 25 and 40 mL/min) with three replications. In the second stage, the nematode movement was analyzed in assays with and without segmented column with water flow. The experimental design was completely randomized in a crossed and nested factorial design 3 (nematode species: *M. enterolobii*, *M. incognita*, *P. coffeae*) × 3 (soil Rhodic series "Sertaozinho" (S1); Nitosol red series "Sertaozinho" (S2), washed sand (S3)) × 3 (thickness: actual density of the soil, density above and below the same) × 3 (Incubation periods: 1, 3 and 5 days) with three replications. The nematodes showed differences in mobility, especially when alive. The type of soil (sand, clay and medium texture) affected nematode mobility, however, the more the sand content and the lower the bulk density, the greater the number of nematodes leached. Among the species studied, *M. incognita* was the less leached, indicating a possible higher flow resistance.

Keywords: *Meloidogyne enterolobii*. *M. incognita*. *Pratylenchus coffeae*. Movement in soil.

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
2.1	DANOS E CARACTERÍSTICAS DOS FITONEMATOIDES.....	13
2.2	NEMATOIDES PARASITOS DE PLANTA E O CICLO DE VIDA.....	14
2.3	FATORES QUE AFETAM O MOVIMENTO DOS NEMATOIDES PARASITOS DE PLANTA.....	16
2.3.1	<b>Textura do solo</b> .....	16
2.3.2	<b>Umidade</b> .....	17
2.3.3	<b>Temperatura</b> .....	19
2.4	RELAÇÃO ENTRE O TAMANHO DO NEMATOIDE E A TEXTURA DO SOLO SOBRE A MOVIMENTAÇÃO DO NEMATOIDE NO SOLO.....	20
2.5	MECANISMO DE ORIENTAÇÃO DE FITONEMATOIDES.....	21
2.6	MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO.....	21
2.6.1	<b>Fluxo saturado e a equação de Darcy</b> .....	22
2.6.2	<b>Fluxo não saturado e a equação de Richards</b> .....	23
2.6.3	<b>Determinação da condutividade hidráulica</b> .....	26
3	<b>OBJETIVOS</b> .....	28
3.1	OBJETIVO GERAL.....	28
3.2	OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	28
4	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	29
4.1	OBTENÇÃO DOS SOLOS.....	29
4.2	OBTENÇÃO DOS NEMATOIDES.....	30
4.3	ESTUDO 1: EXPERIMENTO EM COLUNAS NÃO SEGMENTADAS EM CONDIÇÃO DE SATURAÇÃO COM FLUXO CONSTANTE.....	31
4.3.1	<b>Dispositivo experimental</b> .....	31
4.3.2	<b>Condução do experimento</b> .....	33
4.3.3	<b>Análises estatísticas</b> .....	34
4.4	ESTUDO 2: EXPERIMENTO EM COLUNAS SEGMENTADAS COM OU SEM FLUXO DE ÁGUA.....	35
4.4.1	<b>Dispositivo experimental</b> .....	35
4.4.2	<b>Condução do experimento</b> .....	37

4.4.3	<b>Ensaio com percolação</b> .....	37
4.4.4	<b>Ensaio sem percolação</b> .....	38
4.4.5	<b>Análises estatísticas</b> .....	38
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	40
5.1	ESTUDO 1: EXPERIMENTO EM COLUNAS NÃO SEGMENTADAS EM CONDIÇÃO DE SATURAÇÃO COM FLUXO CONSTANTE.....	40
5.2	ESTUDO 2: EXPERIMENTO EM COLUNAS SEGMENTADAS COM OU SEM FLUXO DE ÁGUA.....	56
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	78
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	79

## 1 INTRODUÇÃO

Os nematoides parasitas de plantas representam um dos principais problemas fitossanitários para diversas culturas de importância agrícola no mundo. Também chamados fitonematoides, atacam as culturas causando importantes doenças, severos danos e perdas significativas à produtividade agrícola, prejudicando a agricultura não somente por reduzir as colheitas, mas por causar perdas quantitativas e qualitativas. No Brasil, os principais fitonematoides responsáveis por perdas expressivas às culturas são as espécies do gênero *Meloidogyne* e *Pratylenchus* que, embora responsáveis por grandes prejuízos econômicos à agricultura em todo o mundo, ocorrem com maior frequência em países tropicais e subtropicais, pois encontram condições ideais de temperatura que favorece o parasitismo.

Movendo-se em pequenas distâncias, a forma infectante migra no solo até encontrar a extremidade do sistema radicular para realizar o parasitismo. O sucesso do parasitismo depende de que as condições do solo sejam favoráveis à mobilidade e infectividade do nematoide (CANESIN, 2011). Fatores como tamanho das partículas, diâmetro dos poros do solo, diâmetro dos nematoides e a espessura do filme de água do solo interferem no movimento desses invertebrados (FUJIMOTO et al., 2009; FAJARDO et al. 2011), podendo impossibilitar que completem o ciclo biológico (LAUGHLIN; LORDELLO, 1977).

No solo, o movimento dos nematoides é influenciado pela textura, arejamento e umidade do meio. Quando o solo está saturado, quase todo o espaço poroso é preenchido com água. Na medida em que o solo seca, parte dos seus poros é preenchida com ar, diminuindo o fluxo e o movimento dos nematoides. Segundo Neher (2010), tanto a saturação como a seca causam impacto na composição das comunidades de nematoides do solo.

Considerando que apenas um filme de água é necessário para a movimentação do nematoide no solo, alguns questionamentos permanecem sem resposta. Por exemplo: Seriam os nematoides capazes resistir ao fluxo de água do solo? O que poderia contribuir para a disseminação do nematoide em áreas contrária ao fluxo? Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo elucidar a influência do fluxo de água em diferentes níveis de densidade e textura do solo no movimento dos nematoides *M. enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae*, espécies de grande importância econômica para as principais culturas agrícolas do Brasil.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 DANOS E CARACTERÍSTICAS DOS FITONEMATOIDES

As perdas econômicas decorrentes do parasitismo das plantas por nematoides são elevadas. Dentre as perdas em áreas agricultáveis, ressaltam-se aquelas decorrentes do parasitismo de fitonematoides, em que os danos variam de suaves a severos, dependendo da suscetibilidade da planta hospedeira, espécie de nematoide, nível de infestação no solo, interação com outros microrganismos, tipo de solo e condições ambientais (GRECO; DIVITO, 2009; FREITAS et al., 2012). Sob condições desfavoráveis à cultura, as perdas causadas pelos fitonematoides podem comprometer até 100% da produção (FERRAZ; MONTEIRO, 2011), esses organismos representam um dos maiores obstáculos à produção de alimentos no mundo, pois promovem a destruição do sistema radicular, prejudicam o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, o potencial produtivo da cultura (SASSER, 1980, FERRAZ et al., 2010; MOREIRA e FERREIRA, 2015).

Os fitonematoides mais importantes, que causam perdas significativas em áreas agricultáveis, pertencem ao gênero *Meloidogyne* (RICH et al., 2008; FREITAS et al., 2009). Conhecidos como nematoide das galhas radiculares, o gênero é considerado o mais nocivo à agricultura, tendo sido motivo de pesquisas constantes no Brasil e no mundo. O segundo gênero de maior importância econômica é representado pelos fitonematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.) (LORDELLO, 1981). Caracterizam-se pela presença de extensas necroses em raízes e radículas e pela alta frequência e agressividade a um grande número de espécies de plantas cultivadas.

Segundo Carneiro (1992) e Ferraz (1985), esses nematoides se destacam como os mais importantes devido às diferenças biológicas ligadas ao parasitismo entre populações da mesma espécie. Para Andrade e Ponte (1999), a importância dos nematoides, no contexto da agricultura mundial, fundamenta-se na larga dispersão geográfica. No entanto para Inomoto et al. (2008), o alto grau de polifagia aumenta sua importância econômica, porque dificulta o manejo em áreas infestadas. De acordo com Ferraz (2006), além da alta capacidade reprodutiva, que leva a um rápido crescimento das populações do nematoide no campo, a alta virulência a diversas espécies botânicas também aumentam a importância e ação pronunciada desses organismos em várias culturas, anuais e perenes, de interesse agrônomo.

Salienta-se que, além das plantas de importância econômica, os fitonematoides possuem a capacidade de se multiplicar em plantas daninhas presentes na área de cultivo, aumentando os prejuízos, uma vez que muitas são hospedeiras naturais desses parasitos (DJIAN-CAPORALINO et al., 2007; DIAS et al., 2012).

Tais fatores são agravantes no controle destes patógenos, os quais após terem se estabelecido em uma área, são de erradicação muito difícil (TORRES et al., 2008). Pela sua alta severidade e fácil disseminação, uma vez estabelecido nas áreas agricultáveis, a erradicação dos fitonematoides é praticamente impossível.

## 2.2 NEMATOIDES PARASITOS DE PLANTA E O CICLO DE VIDA

Os nematoides que parasitam as plantas são vermes microscópicos e translúcidos e formam o grupo mais abundante de pluricelulares no planeta (KIMPINSKI; STURZ, 2003). Reproduzindo e alimentando-se de plantas vivas, os fitonematoides, podem migrar na região rizosférica ou dentro das raízes (NUNES et al., 2010).

O ciclo de vida dos nematoides parasitos de planta é constituído de seis estádios: ovo, quatro estádios juvenis (J1 a J4) e a forma adulta. A duração do ciclo biológico é função de uma série de fatores, destacando-se a temperatura e hospedabilidade da planta. Para o gênero *Meloidogyne*, em condições favoráveis, o ciclo completa-se entre 22 a 35 dias e para *Pratylenchus*, em média, entre três e oito semanas (FREIRE et al., 2011).

Classificados como migratórios ou sedentários (FOSU-NYARKO; JONES, 2016), para o sucesso do parasitismo nas plantas, estes organismos devem ter capacidade natural de movimentar-se livremente pelas partículas do solo através da água. Classificadas como endoparasitas sedentários, após a eclosão do ovo o juvenil de segundo estágio (J2) das espécies do gênero *Meloidogyne* se movimenta no solo até encontrar uma fonte de alimentação adequada, quando então permanece nesse local até o final de sua vida ou da vida do hospedeiro (BEHN, 2012; SGRIGNOLI et al., 2014).

Em média, 500 a 700 ovos são produzidos por uma fêmea adulta de *Meloidogyne*. O primeiro estágio de desenvolvimento e a primeira ecdise ocorrem dentro do ovo, originando o juvenil do segundo estágio (J2), que é a forma infectiva e a única migrante, excetuando-se o macho adulto. Em condições de temperatura e umidade adequadas, ocorre a eclosão do J2 que, atraído por exudatos radiculares, migram no solo em direção às raízes de alimentação das plantas hospedeiras. Embora estimulem a eclosão, os exudatos não são rigorosamente

necessários para que o nematoide complete o ciclo de vida (PERRY; MOENS, 2013), mas a percepção do estímulo é decisiva na manutenção das reservas alimentares do juvenil e pode afetar a infectividade. Antes de estabelecer sua alimentação o J2 é capaz de se mover livremente podendo viver no solo num estado quiescente por um longo período. A prolongada ausência de hospedeiro no campo leva o J2 a consumir gradativamente suas reservas nutricionais na movimentação pelo solo reduzindo sua infectividade. Segundo Van Gundy et al. (1967), se o J2 gastar mais de 50% das reservas lipídicas corporais para movimentação pelo solo, não terá mais capacidade de infectar a planta.

Após a penetração, o juvenil migra intercelularmente na região do córtex da raiz até induzir a formação da estrutura de alimentação por secreções produzidas pelo parasito em células específicas do protoxilema (HUSSEY, 1992). O desenvolvimento pós-infectivo do juvenil inicia-se com um aumento rápido na largura do corpo e desintegração das células musculares, tornando o parasito imóvel. A segunda e terceira ecdises, que originam os juvenis do terceiro (J3) e quarto (J4) estádios, respectivamente, ocorrem rapidamente sem que o nematoide se alimente. O J4 macho sofre metamorfose tornando-se vermiforme, ainda envolto pela terceira cutícula. Após a quarta ecdise, os machos migram para o solo, mas as fêmeas permanecem sedentárias e iniciam a produção de ovos. Ao completar o ciclo a fêmea morre e a estrutura de alimentação se degenera (BIRD, 1962).

Ao contrário, as espécies do gênero *Pratylenchus* são endoparasitas migradores, movem-se frequentemente, alimentando-se de várias áreas do sistema radicular, causando de necroses nas raízes (MUDAWI; IDRIS, 2015). O desenvolvimento embrionário de *Pratylenchus* dá origem ao juvenil de primeiro estádio (J1) que, ainda dentro do ovo, sofre a primeira ecdise originando o J2. Após a eclosão, o J2 encontra-se na fase infectiva e passa a migrar no solo à procura de um hospedeiro. A segunda, terceira e quarta ecdises, que originam os juvenis do terceiro (J3) e quarto (J4) estádios e as formas adultas, respectivamente, pode ocorrer no solo ou no interior dos tecidos da planta. A exceção do J1, todas as formas juvenis e adultas podem migrar no solo (PERRY; MOENS, 2013).

Apesar do comportamento parasitário, ambas as espécies de nematoides gastam uma parte considerável do ciclo de vida no solo (FAJARDO et al., 2011). Além do mais, como organismos invertebrados que se movem através do espaço poroso do solo, o movimento dos nematoides e o dano que produzem são influenciados pelas propriedades físicas e morfológicas do solo (NEHER et al., 1999).

## 2.3 FATORES QUE AFETAM O MOVIMENTO DOS NEMATOIDES PARASITOS DE PLANTA

Movendo-se apenas em pequenas distâncias, a forma infectante movimenta-se pelo solo até encontrar uma extremidade do sistema radicular para realizar o parasitismo. O sucesso do parasitismo depende de que as condições do solo sejam favoráveis à mobilidade e infectividade do nematoide (CANESIN, 2011). Fatores como tamanho das partículas, diâmetro dos poros do solo, diâmetro dos nematoides e a espessura do filme de água do solo interferem no movimento desses invertebrados (FUJIMOTO et al., 2009; FAJARDO et al. 2011), podendo impossibilitar que completem o ciclo biológico (LAUGHLIN; LORDELLO, 1977).

Dentre os principais fatores que afetam o movimento dos fitonematoides no solo destacam-se a textura, umidade e temperatura do solo.

### 2.3.1 Textura do solo

A movimentação dos nematoides no solo é afetada pelos diversos ambientes que influenciam sua sobrevivência. Assim, a sobrevivência e parasitismo não dependem somente do hospedeiro, mas também, do sucesso de sua movimentação no solo. Por outro lado, essa migração é influenciada pelo tamanho dos poros entre as partículas, textura do solo e espessura do filme de água existente nos espaços (PROT; VAN GUNDY, 1981; FERRIS; FERRIS, 1998; RINALDI, et al., 2014). Contudo, de acordo com Laughin, Lordello (1977), a textura do solo é um fator abiótico mais importante do que a estrutura para o desenvolvimento dos nematoides, pois as mais altas populações são encontradas na rizosfera.

Segundo Goulart (2008), a textura do solo interfere na distribuição das espécies de *Pratylenchus*. Por exemplo, *P. brachyurus* apresenta discreta preferência por solos com textura média (15 a 25% de argila) (ASMUS; INOMOTO, 2007), contrapondo com Dias et al (2010), em que solos mais arenosos com textura com menos de 15% de argila favorecem *P. brachyurus*.

Brodie (1976), encontrou maior migração e densidades populacionais de *P. brachyurus* em solo composto por 79% de areia, 6% de silte e 15% de argila. Similarmente, Arévalo et al. (2007) observaram que em solos com mais do que 50% de areia, *Meloidogyne* spp. apresentaram maior mobilidade, corroborando outros estudos (VAN GUNDY, 1981; DABIRE; MATEILLE, 2004; PROT; CADET et al., 2004; JARABA et al., 2007) que

relataram maior frequência e abundância de *Meloidogyne* spp. em solos arenosos do que em solos argilosos.

Endo (1959) e Basu (1968), observaram que nematoides do gênero *Pratylenchus* multiplicaram-se e locomoveram-se mais rapidamente em solo franco arenoso do que em franco ou franco argiloso. Esquivel (1996) e Van Gundy (1985), apontaram que a capacidade de migração de J2 de *M. incognita* é inversamente relacionada com o percentual de silte mais argila no solo, sugerindo que as partículas mais finas são obstáculos para a movimentação do nematoide. Enquanto Jordan et al. (1989), relacionaram positivamente a incidência de *P. penetrans* com a porcentagem de areia do solo e a quantidade de chuva.

Solos bem drenados e macroporosidade tem uma maior influência sobre a população de fitonematoides (BOUWMAN; ARTES, 2001; AVENDAÑO et al., 2004;. ABALLAY, 2007). Solos bem estruturados condicionam a ocorrência de poros grandes, pelos quais a água e o ar podem se mover livremente, aumentando o movimento e infectividade dos nematoides parasitas de planta (GARCÍA; DEL PINO, 1994).

Solos argilosos, por se arranjam melhor e se encharcarem mais facilmente, dificultam a movimentação do nematoide (TIHOHOD, 1993). Além do mais, em solos saturados, a eclosão é reduzida e o movimento do nematoide é lento devido à falta de oxigênio (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2001). Por outro lado, por apresentarem uma maior porosidade, os solos arenosos são bem mais drenados, embora provoquem grandes oscilações no teor médio de umidade (TIHOHOD, 1993).

Van Gundy (1985) e Prot; Van Gundy (1981), observaram que o percentual de J2 que se migrou 20 cm até a raiz de tomateiro aumentou 31% quando se reduziu 19 % da porcentagem de argila e silte, demonstrando que a maior capacidade de migração de J2 de *M. incognita* está associada a solos arenosos. Na areia silicatada não houve migração, mas quando foi adicionado porcentagens de argila, 36% dos J2 migraram 20 cm, sugerindo que as partículas de argila ajudam na migração dos J2 a longas distâncias por absorverem e reterem exsudados radiculares formando um gradiente de concentração na solução do solo, orientando os nematoides a se moverem em direção à raiz.

### 2.3.2 Umidade

No solo, o movimento dos nematoides é influenciado pela textura, arejamento e umidade do meio. Quando o solo está saturado, quase todo o espaço poroso é preenchido com

água. Na medida em que o solo seca, parte dos seus poros é preenchida com ar, diminuindo o fluxo e o movimento dos nematoides.

Para solos saturados a componente matricial é considerada nula, por não haver no solo os fenômenos de adsorção e capilaridade (REICHARDT, 1985). Com a saída de água do solo e a entrada de ar nos poros, o potencial matricial começa a ser considerado (REICHARDT, 1985). Segundo Neher (2010), tanto a saturação como a seca causam impacto na composição das comunidades de nematoides do solo, porque estas condições resultam em anaerobiose e desidratação. Para solos com teor de água alto a capilaridade é o principal fenômeno que determina o potencial matricial, e com teor de água mais baixo a adsorção se torna mais relevante (AVI, 2011).

Nos solos saturados de água o movimento do nematoide é dificultado. A eclosão é reduzida e o nematoide movimenta-se lentamente devido à falta de oxigênio (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2001). À medida que o solo drena, os poros vão esvaziando, o arejamento vai aumentando e, até certa altura, também aumenta a atividade dos nematoides.

Os nematoides são mais ativos numa faixa 40 a 60% da capacidade de campo do solo (TIHOHOD, 1993). A partir de uma determinada pressão de sucção, à medida que aumenta a força que retém a água nas partículas, a atividade dos nematoides é diminuída (SANTOS; LIMA, 1985).

Durante o secamento, os primeiros espaços do solo a perderem água são os maiores, pois apresentam menor resistência à sucção (LIMA, 2010), impossibilitando assim o movimento dos nematoides, pois os poros pequenos dificultam a passagem dos nematoides. O tamanho dos poros permite uma movimentação mais dinâmica, quando eles são de diâmetro maior que o corpo do nematoide, transformam-se, com auxílio da umidade, em canais por onde este invertebrado se movimenta no solo (TIHOHOD, 1993).

Os nematoides são organismos aquáticos e, conseqüentemente, precisam de uma película de água que envolva o seu corpo, para serem capaz de se mover (NORTON, 1978). Portanto, condições secas prejudicam a mobilidade e sobrevivência dos nematoides (ALEKSEEV et al., 2006; AGRIOS, 2008).

Em solo seco a sobrevivência dos nematoides diminui, muitos morrem, enquanto outros têm a capacidade de sobreviver na ausência total de água, no estado de dessecação (LUC et al., 1990). Segundo Laughin, Lordello (1977), condições de *secura* podem reduzir as populações de nematoides e sua atividade. Souza et al. (1998), observaram que baixo teor de água inibe a eclosão e dificulta o deslocamento dos juvenis, podendo o movimento ser nulo se

a umidade não for suficiente. Nematoides parasitas de plantas são organismos essencialmente aquáticos, portanto o teor de água no solo é um fator muito importante e influencia a sobrevivência destes organismos (ESQUIVEL, 1996).

### 2.3.3 Temperatura

A temperatura afeta o crescimento, reprodução, distribuição e sobrevivência dos nematoides, sendo um fator crítico no movimento e na infecção do patógeno (VAN GUNDY, 1985; TIHOHOD, 1993; SOUZA et al., 1998). Os nematoides são sensíveis a temperaturas extremas, especialmente em solos úmidos onde se movimentam (DARBY, 2008). A migração no solo ocorre quando a umidade, a textura e a temperatura do solo são favoráveis (WALLACE, 1973; CASTILLO; VOVLAS, 2007; DIAS et al., 2010). Pois são animais aquáticos que vivem no solo e dependem de fonte externa de calor e água para o seu desenvolvimento, eclosão e movimento.

Para mobilidade no solo e sobrevivência, antes de obter alimento, os juvenis infectantes têm limitado reservas armazenadas para sobrevivência, traz consigo 30% do seu peso corporal em lipídios, que constituem a principal fonte energética até o parasitismo (LEE; ATKINSON, 1977; VAN GUNDY, 1985). A duração de sobrevivência é determinada pela temperatura e umidade, uma vez que o sucesso do parasitismo nas plantas demanda em gasto de energia e condições fisiológicas adequadas (CHRISTOPHERS et al., 1997).

Temperaturas mais elevadas podem levar a exaustão mais rápida das reservas dos juvenis (VAN GUNDY et al., 1967). No solo, os nematoides passam por condições variáveis de temperatura e umidade (VAN GUNDY, 1985) e tais variações alteram a velocidade de processos fisiológicos dos nematoides, a exemplo da movimentação (FRECKMAN; CASWELL, 1985).

Para a maioria dos nematoides a faixa de temperatura ótima do solo vai de 15 a 30°C, podendo tornar-se inativos ou exibirem atividade reduzida entre 5 a 10°C e 30 e 40°C. Abaixo ou acima desses limites, as temperaturas podem ser letais, dependendo do tempo de exposição (LAUGHLIN; LORDELLO, 1977). Em geral, temperaturas acima de 40 °C levam os nematoides à morte (CAMPOS, 1999).

#### 2.4 RELAÇÃO ENTRE O TAMANHO DO NEMATOIDE E A TEXTURA DO SOLO SOBRE A MOVIMENTAÇÃO DO NEMATOIDE NO SOLO.

O sucesso do parasitismo dos juvenis depende das condições do solo serem favoráveis à mobilidade e infectividade (CANESIN, 2011). Medindo respectivamente de 360 a 393, 390 a 530 e 224 a 407  $\mu\text{m}$  de comprimento e 10,9 a 13,6; 10,3 a 15,2 e 11,3 a 19,9  $\mu\text{m}$  de diâmetro (CHITWOOD, 1949; RAMMAH; HIRSCHMANN, 1988; CASTILLO; VOVLAS, 2007), as espécies *M. incognita*, *M. enterolobii* e *P. coffeae* movem-se apenas em pequenas distâncias.

Wallace (1958), sugeriu que havia um tamanho de partícula ideal para o movimento de cada uma das espécies de nematoides no solo. O tamanho das partículas relaciona-se ao tamanho do poro, partículas de maiores tamanhos determinam aumento do poro (KLINGER; HAUKELAND, 2006). Segundo Young (1992), o tamanho das partículas do solo é o principal determinante na movimentação dos nematoides, devido à sua influência no tamanho dos poros.

De acordo com Wallace (1971), o tamanho das partículas ou agregados afeta o movimento dos nematoides, que é diretamente influenciado pelo tamanho dos poros. Poros pequenos impossibilitam a passagem dos nematoides e poros muito grandes limitam o movimento lateral. O tamanho dos poros permite uma movimentação mais dinâmica, quando eles são de diâmetro maior que o corpo do nematoide, transformam-se, com auxílio da umidade, em canais por onde o nematoide se movimenta no solo (TIHOHOD, 1993). Entretanto, o nematoide não pode mover-se entre as partículas do solo quando o diâmetro do poro é menor que a largura do nematoide (GEORGIS e POINAR, 1983).

A despeito do solo ser composto por partículas de diferentes tamanhos e proporções, areia (2,0 a 0,05 mm de diâmetro), silte (0,05 a 0,002 mm de diâmetro), argila (<0,002 mm) que interfere no movimento dos nematoides, a mobilidade máxima é conseguida quando o tamanho médio de partícula é cerca de um terço do comprimento do corpo do nematoide (WALLACE, 1958). Trabalhando com espaços porosos habitáveis da biota do solo, Hassink et al. (1993), encontraram maior número de nematoides parasitas de plantas e de vida livre em solos com diâmetro de poros de 50 a 200  $\mu\text{m}$ . Segundo Neher (2010), os nematoides vivem e se movimentam em caminhos existentes de poros com diâmetro de 25-100  $\mu\text{m}$ , corroborando Fujimoto et al. (2009), que verificaram que *Meloidogyne* spp. movem se dentro diâmetros de poros de cerca de 20-130  $\mu\text{m}$ .

## 2.5 MECANISMO DE ORIENTAÇÃO DE FITONEMATOIDES

Com movimento de modo serpentiforme, os nematoides geralmente são lentos orientando-se através de estímulos químicos e mecânicos, recebidos por órgãos sensoriais e terminações nervosas (PERRY; MOENS, 2013).

Os órgãos sensoriais mais importantes dos nematoides são as papilas labiais e os anfídios, localizados na região labial, os fasmídeos na cauda ou próximo dela e os receptores químicos e/ou tácteis (WRIGHT, 1981; FERRAZ; MONTEIRO, 1995; MAI E MULLIN, 1996; PERRY; AUMANN, 1998; CLASSES, 2007; PHYLUM, 2007). As estruturas sensoriais são responsáveis pelas diferentes respostas e pelo envio de informações que modificam o comportamento do nematoide para sua sobrevivência, pois estão ligadas diretamente ao sistema nervoso (HUETTEL, 1986).

Os movimentos laterais repetitivos do nematoide indicam uma exploração do espaço, importante no papel de orientação. Estímulos alternados nas musculaturas dos nematoides contraem alternadamente, de uma forma geral, os músculos dorsais ou ventrais, movendo assim o corpo de forma sinusoidal (ROLL, 1967; WALLACE, 1968). Orientando-se de acordo com a direção de um estímulo externo, tactismo, esses organismos podem alterar a atividade e frequência do movimento quando próximo à fonte de estímulo.

Os órgãos sensoriais do nematoide são responsáveis pelas diferentes reações aos diferentes estímulos bióticos e abióticos (VIRGLIERCHIO, 1961). Segundo Zuckerman et al. (1971), substâncias atrativas exsudadas pela raiz da planta hospedeira formam um gradiente de concentração na solução do solo, orientando a migração dos nematoides em direção à raiz (VIRGLIERCHIO, 1961; LAVALLEE; ROHDE, 1962), entretanto, esses estímulos externos podem desaparecer por adsorção e absorção em partículas de argilas pela degradação de microrganismos ou pela temperatura produzida durante o metabolismo (DROPKIN, 1976; PERRY; AUMANN, 1998). Dentre as fontes de estímulos a nematoides, apenas os químicos, temperatura, dióxido de carbono e estímulo tátil podem ser reconhecidos no solo (GREEN, 1971).

## 2.6 MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO

A água no solo se encontra geralmente em movimento. Assim através da chuva ou irrigação quando uma determinada quantidade de água é adicionada no solo, a água penetra e

redistribuiu-se no seu interior (LIBARDI, 1978). A dinâmica da água no solo é um processo contínuo, que controla o movimento dos elementos químicos que intervêm nos processos de formação e evolução dos solos, na disponibilidade de nutrientes para as plantas e na satisfação da demanda hídrica (BEZERRA et.al., 2012).

Reichardt (1990) relata que o processo de infiltração é realizado pela execução de uma sequência de fazes que inicia com a entrada de água no solo pela superfície, posteriormente sua transmissão através do perfil e finalmente a depleção da capacidade de armazenamento da água no solo. Modelos são utilizados para representar esses fenômenos que controlam o movimento da água no solo e o conseqüente transporte de espécies físicas, químicas ou biológicas (PREVEDELLO, 1996).

### 2.6.1 Fluxo saturado e a equação de Darcy

Os primeiros estudos para a quantificação da densidade de fluxo laminar de água num meio poroso saturado foram realizados por Henry Darcy, em Dijon, na França, em 1856. De um conduto preenchido de material granular, Darcy simulou o transporte da água no meio poroso, realizando medições do volume de água transportado. Desses estudos Darcy concluiu que a vazão  $Q$ , através da coluna comportava-se de maneira inversamente proporcional ao comprimento da coluna e diretamente proporcional à área da secção transversal e à diferença entre os potenciais hidráulicos. A partir dos resultados ele formulou seguinte equação:

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{(h_1 - h_2)}{L} \quad (1.0)$$

Em que

$Q$  – vazão [ $L^3/T$ ];

$K$  – constante de proporcionalidade ou condutividade hidráulica [ $L/T$ ];

$A$  – área da seção transversal [ $L^2$ ];

$(h_1 - h_2)$  – diferença de pressão entre os pontos 1 e 2 [ $L$ ]; e

$L$  – comprimento [ $L$ ].

A densidade de fluxo “ $q$ ”, também conhecida como fluxo de Darcy ou velocidade de Darcy (BEAR, 1979; FREEZE; CHERRY, 1979; BEAR e BACHMAT, 1990; FETTER, 2001), é o volume de água a  $V_a$  que passa por unidade de tempo  $t$  e pela unidade de área da

seção transversal (REICHARDT e TIMM, 2004), que representa o fluxo volumétrico por unidade de área, sendo definida como:

$$q = \frac{V_a}{A \cdot t} = \frac{Q}{A} \quad [L/T] \quad (1.1)$$

Em que

$$Q = \frac{V_a}{t} \text{ é a vazão } [L^3/T]$$

A densidade de fluxo refere-se à velocidade média da água através da matriz do solo, não devendo confundir com a velocidade da água nos poros, tendo em vista que o fluxo de fato não ocorre através de toda a área da secção transversal (ARRAES, 2014), pois parte dessa área está ligada por partículas e apenas a porosidade permite a fração fluir (HILLEL, 1998; LAL; SHUKLA, 2004; REICHARDT; TIMM, 2004). Além de que a área real de poros, através da qual ocorre o fluxo, é menor do que a área total (ARRAES, 2014).

Comparando (1.0) e (1.1), obtém-se a quantificação do movimento de água em materiais porosos saturados (REICHARDT; TIMM, 2004) dada por:

$$q = -K \cdot \text{grad}H \quad [L/T] \quad (1.2)$$

Em que

*grad H* - gradiente do potencial hidráulico [L/ L]; e

*K* - condutividade hidráulica do solo saturado [L/ T].

O sinal negativo da equação (1.2) é devido ao sentido do fluxo ser inverso ao do gradiente (REICHARDT e TIMM, 2004), ou seja, indica que a água flui do ponto de maior potencial para o ponto de menor potencial hidráulico. O gradiente hidráulico  $\text{grad} H = \partial H / \partial z$  representa a inclinação da superfície potencio métrica, sendo *H*, o potencial hidráulico (seção 1.1) e *z*, o comprimento na direção vertical.

## 2.6.2 Fluxo não saturado e a equação de Richards

O escoamento em meios porosos ocorre em condições de não saturação na maioria das vezes. Assim solos não saturados são compostos por três fases: sólida, líquida e gasosa. Essas fases interagem entre si originando os fenômenos de capilaridade e adsorção, que irão

produzir pressões sub-atmosféricas ou sucções, equivalendo a um potencial negativo de pressão, também chamado de potencial matricial (BIASSUSI, 2001). Nesta condição o potencial total da água do solo é representado pelo somatório dos potenciais gravitacional e matricial (BIASSUSI, 2001; JIMÉNEZ- MARTÍNEZA et al., 2009; GHIBERTO et al., 2011).

Considerando o potencial total ou potencial hidráulico, como sendo o somatório dos potenciais de pressão ( $\Psi_p$ ), matricial ( $\Psi_m$ ) e gravitacional ( $\Psi_g$ ), desconsiderando o potencial osmótico,

$$H = \Psi_p + \Psi_g + \Psi_m \quad (2.0)$$

As pressões  $\Psi_p$  e  $\Psi_m$ , potencial de pressão e mátrico, podem ser agrupadas em uma única componente ( $\Psi$ ) e a componente gravitacional ( $\Psi_g$ ) pode ser expressa em termos da altura  $z$  (Elevação em relação a um nível de referência). Portanto, o potencial hidráulico é expresso por:

$$H = \Psi + z \quad (2.1)$$

A Lei de Darcy foi adaptada para solos não saturados (REICHARDT & TIMM, 2004), com a denominação de Lei de Buckingham-Darcy ou Lei de Darcy-Buckingham, introduzindo a dependência da umidade na equação (PIZARRO, 2009). Richards formulou as bases teóricas, em 1928, para descrever a percolação de água em um meio poroso não saturado (RICHARDS, 1931).

$$q = -K(\theta).gradH \quad (2.2)$$

Em que

$$K(\theta) - \text{Condutividade hidráulica do solo não-saturado [LT}^{-1}\text{]}.$$

Substituindo-se a equação (2.1) na (2.2),

$$q_z = -K(\theta). \frac{\partial(\Psi + z)}{\partial z}$$

$$q_z = -K(\theta) \cdot \left( \frac{\partial(\Psi)}{\partial z} + 1 \right)$$

$$q_z = -K(\theta) - K(\theta) \cdot \frac{\partial\Psi}{\partial z} \quad (2.3)$$

Combinando-se a equação (2.4) com a Equação da Continuidade e a forma mista da Equação de Richards, unidimensional (WENDLAND, 2004; HE; REN, 2009; PIZARRO, 2009)

$$-\frac{\partial q_z}{\partial z} = \frac{\partial\theta}{\partial t} \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial K}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K \cdot \frac{\partial\Psi}{\partial z} \right] \quad (2.5)$$

Obtém-se a equação de Richards que governa o escoamento vertical unidimensional, transiente em solos não saturados,

Sabe-se que

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial\theta}{\partial\Psi} \cdot \frac{\partial\Psi}{\partial t} = c_s(\Psi) \cdot \frac{\partial\Psi}{\partial t} \quad (2.6)$$

Em que,

$c_s(\Psi)$  - capacidade hídrica específica [1/ L].

Substituindo-se (2.6) em (2.5), obtém-se a Equação de Richards, formulada em termos de potencial  $\Psi$ , unidimensional (PIZARRO, 2009),

$$c_s(\Psi) \cdot \frac{\partial\Psi}{\partial t} = \frac{\partial K}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K \frac{\partial\Psi}{\partial z} \right] \quad (2.7)$$

Tem-se que

$$\frac{\partial\Psi}{\partial z} = \frac{\partial\Psi}{\partial\theta} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial z} = \frac{1}{c_s(\Psi)} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial z} \quad (2.8)$$

Substituindo-se (2.8) em (2.5), obtém-se a Equação de Richards, formulada em termos de umidade  $\theta$ , unidimensional (PIZARRO, 2009),

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial K}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ D(\theta) \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] \quad (2.9)$$

Em que

$$D(\theta) = \frac{K(\theta)}{c_s(\theta)} - \text{Difusividade hidráulica não-saturada [L.L /T]}.$$

A equação do movimento de água em um meio poroso não saturado, baseada no Princípio da Conservação da Massa, e na equação de Buckingham-Darcy, recebeu o nome de Equação de Richards. Essa equação pode ser escrita, unidimensionalmente, em três formas equivalentes: a forma mista, a baseada na umidade volumétrica  $\theta$  do solo e a com base no potencial matricial  $\psi$  (PIZARRO, 2009), equações (2.5), (2.7) e (2.9).

Essa equação, conhecida como equação de Richards, descreve o fluxo de água em solos não saturados, demonstrando que a variação do teor de água com o tempo é igual à variação do fluxo de água ao longo de uma distância (JIMÉNEZ- MARTÍNEZA et al., 2009; GHIBERTO et al., 2011).

### 2.6.3 Determinação da condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica é a medida da habilidade de um meio poroso de conduzir um líquido (KUTILEK; NIELSEN, 1994). A sua determinação pode ser feita em laboratório ou a campo. Em condições de laboratório os resultados são mais precisos em relação ao campo, devido ao maior controle das condições experimentais (MELO FILHO; LIBARDI, 2009). Alguns métodos de laboratório e campo têm sido desenvolvidos para a determinação da condutividade hidráulica do solo.

Alguns fatores influenciam a condutividade hidráulica no solo, como por exemplo, o tamanho e a forma das partículas, espaços vazios, composição, textura, grau de saturação, geometria dos poros e propriedades do fluido (viscosidade e massa específica) (HILLEL, 1980). Existem ainda métodos para estimar teoricamente a condutividade hidráulica a partir de outras propriedades do meio poroso de mais fácil medida, como a textura, quantidade de

matéria orgânica e densidade do solo (GUPTA; LARSON, 1979; WÖSTEN et al., 1988; HACK-TEN BROEKE et al., 1996).

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a influência do fluxo diferentes vazões de água do solo sobre o movimento dos nematoides *M. enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae* em diferentes níveis de densidade e textura de solo.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência do fluxo de água em solo com diferentes texturas sobre o movimento do *M. enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae* em colunas de solo;
- Avaliar a influência do fluxo de água em solo com diferentes densidades sobre o movimento do *M. enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae* em colunas de solo;
- Avaliar a influência do fluxo de água do solo, sob diferentes vazões, no movimento dos nematoides *M. enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae*.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Fitonematologia da UFRPE e no Laboratório de Física do Solo e Qualidade de Água da ESALQ/USP, utilizando colunas de solo e uma bomba peristáltica, sob condição de saturação com fluxo constante e com colunas segmentadas com ou sem fluxo de água (com ou sem percolação).

### 4.1 OBTENÇÃO DOS SOLOS

Para o enchimento das colunas foram utilizados amostras de três tipos de materiais de solo: Latossolo Vermelho, série “Sertãozinho” (S1); Nitossolo Vermelho, série “Sertãozinho” (S2); Areia lavada (S3).

Os materiais de solo foram coletados no município de Piracicaba, SP. As coletas foram realizadas em perfis característicos para cada tipo de solo a profundidade de 0,20 a 0,40 m, exceto areia lavada. Depois de coletado, o material foi seco, destorroado, peneirado em malha de 0,002 m para obtenção de TFSA (terra fina seca ao ar) e submetido a análises granulométricas.

As características físicas dos solos estudados são apresentadas na Tabela 1. De acordo com a classificação da EMBRAPA (2006), S1 é classificado como de textura média, S2 de textura argilosa e S3 areia. Observa-se que S1 possui quantidade de areia superior a S2, e que S2 possui quantidade de silte relativamente elevada.

Para os estudos, os solos foram esterilizados por autoclavagem sob temperatura de 111 °C, à pressão de 0,5 atmosfera, durante 2 horas.

Tabela 1 - Características físicas dos solos estudados

Características	Solo 1	Solo 2	Solo 3
Argila (<0,002 mm)	198	402	-
Silte (0,053 - 0,002 mm)	32	138	-
Areia Total	770	460	-
Areia grossa (2,00 – 0,210 mm)	320	210	-
Areia fina (0,210 - 0,053 mm)	550	250	-
Classe textural	Média	Argilosa	Areia
Densidade do solo (Kg.dm <sup>-3</sup> )	1,39	1,23	1,52

Fonte; Barros (2016) \*Classificação segundo EMBRAPA (2006)

## 4.2 OBTENÇÃO DOS NEMATÓIDES

Para o estudo de movimentação foram utilizados três espécies de nematoide: *Meloidogyne enterolobii*, *Meloidogyne incognita*, *P. coffeae*.

As espécies de *Meloidogyne* foram coletadas de raízes e solo de áreas cultivadas com goiabeiras (*M. enterolobii*) e cana-de-açúcar (*M. incognita*) e as populações foram mantidas em condição de casa de vegetação, parasitando o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) cultivar Santa Cruz. A identificação dos nematoides foi realizada com base no fenótipo das esterases (CARNEIRO & ALMEIDA, 2001). Os ovos dos nematoides foram extraídos de raízes de tomateiro, seguindo a metodologia de Hussey; Barker (1973) modificada por Bonetti; Ferraz (1981). A suspensão de ovos foi submetida à desinfestação superficial em solução de pentabiótico. As suspensões de ovos desinfetados foram colocadas em lâmina para contagem de nematoides e levadas para microscópio óptico para contagem. Para tanto, foram utilizadas câmaras de eclosão preparadas em Funil de Baermann modificado.

As câmaras foram mantidas em incubadoras B.O.D à temperatura constante de 28° C no escuro e, após três horas, as suspensões de juvenis eram retiradas das câmaras e descartadas, sendo repostos iguais volumes de água nas câmara. Este procedimento foi necessário para remoção dos juvenis que já haviam eclodido na suspensão. As câmaras eram mantidas por cinco dias com coletas diárias dos juvenis e adições de volumes de água. Para o estudo foi utilizado juvenis de segundo estágio (J2), que é a fase migrante e infectante deste nematoide.

Para *P. coffeae*, os nematoides foram extraídos de cascas trituradas de inhame (*Dioscorea alata* L.) colocadas em Funil de Baermann (1917). A suspensão em água contendo *P. Coffeae*, foi passada pela peneira de 200 sobre 500 mesh para que o maior número de adultos ficasse retido na peneira de 200, obtendo assim um maior número de juvenis na peneira de 500 mesh.

As contagens dos nematoides foram realizadas com o auxílio de lâminas de Peters. Como nesse estudo foram utilizados nematoides vivos e mortos, os espécimes mortos foram obtidos submetendo-se parte dos espécimes vivos a “banho Maria”.

Os experimentos foram realizados em duas etapas. Na primeira etapa os estudos foram conduzidos em colunas não segmentadas em condição de saturação com fluxo constante e, na segunda etapa, em colunas segmentadas com ou sem fluxo de água.

### 4.3 ESTUDO 1: EXPERIMENTO EM COLUNAS NÃO SEGMENTADAS EM CONDIÇÃO DE SATURAÇÃO COM FLUXO CONSTANTE

#### 4.3.1 Dispositivo experimental

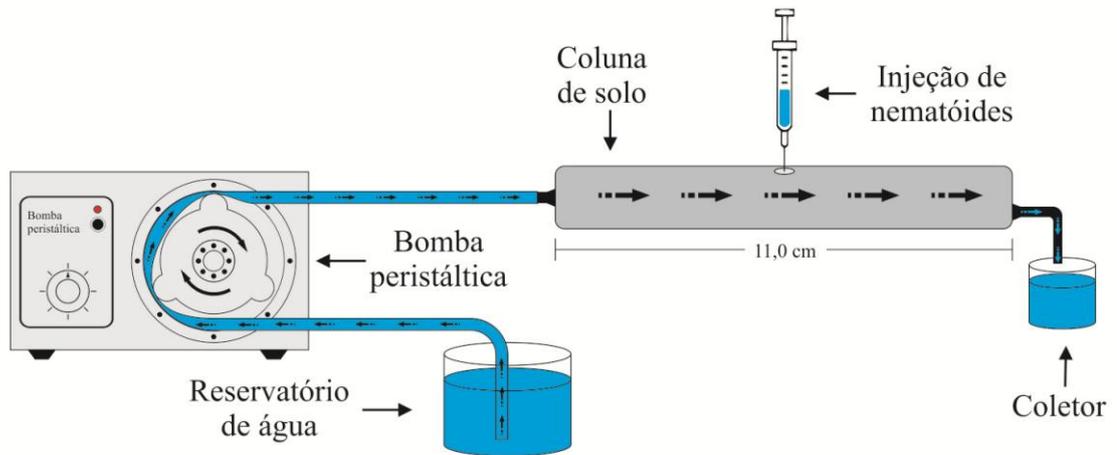
O dispositivo experimental utilizado para o estudo da movimentação das três espécies de nematoide em condição de saturação foi composto por colunas em acrílico, constituídas por um cilindro com diâmetro interior de 1,95 cm, secção transversal de 3,0 cm<sup>2</sup>, com 11,0 cm de comprimento. A movimentação dos nematoides nas colunas com solo foi avaliada segundo a metodologia de Fujimoto et al. (2009).

Os estudos foram conduzidos utilizando os três tipos de solo (S1, S2 e S3), cada submetido a três densidades (além da densidade real do solo, foram utilizadas densidades acima e abaixo da mesma): S1 (1,3; 1,4 e 1,5 g/cm<sup>3</sup>), S2 (1,1; 1,2 e 1,3 g/cm<sup>3</sup>) e S3 (1,4; 1,5 e 1,6 g/cm<sup>3</sup>). A fim de avaliar a influência do fluxo de água na mobilidade dos nematoides nesses diferentes níveis de densidade e textura foram utilizados 4 tipos de vazão: 5, 15, 25 e 40 mL/min. Dessa forma o delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial cruzado e aninhado constituído por 3 (espécie de nematoide: *M. enterolobii*, *M. incognita*, *P. coffeae*) × 2 (condição do nematoide: vivo, morto) × 3 (solos: S1, S2, S3) × 3 (densidades: densidade real do solo, densidade acima e abaixo da mesma) × 4 (vazões: 5, 15, 25 e 40 mL/min) com três repetições, sob condições de saturação e fluxo em regime estacionário e temperatura de 27 °C.

Para manter a mesma vazão nos diferentes tipos de solo, uma bomba peristáltica de doze canais de marca Ismaltec que cria um fluxo de água mais uniforme foi ligado à extremidade no ponto de entrada da coluna. O dispositivo experimental encontra-se esquematizado na Figura 1.

Os volumes da solução que atravessavam a coluna de solo foram coletados a intervalos de 0,1 VP até um total de 2,0 VP (volume de poros) em frascos coletores que possuíam 15 ml de volume. Cada frasco representava aproximadamente 0,1 volumes de poros. Valores de volumes de poros foram calculados em função do volume da coluna e da porosidade do solo.

Figura 1 - Dispositivo experimental.



Fonte: Adaptado de Fujimoto et al. (2009)

Para cada coluna foram determinados volume de poros, densidade de fluxo e velocidade de avanço. O volume de poros de cada coluna (VP) foi determinado pela relação (Eq. 1):

$$V_p = \pi \cdot r^2 \cdot h \left( 1 - \frac{D_s}{D_p} \right) \quad (1)$$

em que

r – raio da coluna, cm

h – comprimento da coluna, cm

D<sub>s</sub> – densidade do solo, g. cm<sup>-3</sup>

D<sub>p</sub> – densidade das partículas, g. cm<sup>-3</sup>

A densidade de fluxo para cada coluna foi obtida pela Eq, 2

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{V_s}{At} \quad (2)$$

em que

q – densidade de fluxo, cm. h<sup>-1</sup>

Q – vazão, cm<sup>3</sup>. h<sup>-1</sup>

A – seção transversal da coluna, cm<sup>2</sup>

Ve – volume total de efluente, cm<sup>3</sup>

t – intervalo de tempo para coletar o volume Ve, h

A velocidade de avanço da solução percolante para cada solo foi definida da Eq. 3:

$$V_f = \frac{q}{\alpha} \quad (3)$$

em que

V<sub>f</sub> – velocidade de avanço, cm. h<sup>-1</sup>

α – porosidade total, cm<sup>3</sup>. cm<sup>-3</sup>

Os nematoides presentes na água de drenagem dos frascos coletores foram contados com um auxílio de um microscópio óptico. O número total de nematoides encontrados foi dividido pelo número inicial injetado (C/C<sub>0</sub>), para calcular uma taxa de detecção.

#### 4.3.2 Condução do experimento

O preenchimento das colunas deformadas com os solos foi executado de forma a proporcionar uniformidade e homogeneidade em toda coluna, sendo que o solo foi previamente mensurado, utilizando aproximadamente uma massa específica para cada tipo de densidade e textura para as colunas. Adicionou o solo em camadas e cada camada sobreposta foi compactada por leve pressão com um disco de madeira de diâmetro inferior ao diâmetro interno da coluna.

Após o preenchimento da coluna com cada tipo de solo, a extremidade da coluna foi tampada com uma malha que permitia a passagem dos nematoides.

Para o início do teste, saturou-se a coluna com água autoclavada de maneira lenta, utilizando um dosador semelhante àqueles utilizados em hospitais para soro, com o objetivo de regular a vazão e, desta forma, expulsar o ar contido nos microporos, por um período mínimo de 24 horas para a completa saturação. Após 24 horas de repouso (saturação), uma bomba peristáltica, foi ligada ao ponto de entrada da coluna.

Após a saturação completa, verificou-se, em cada unidade experimental, se o fluxo estava em condição de regime permanente. Comprovada a condição de fluxo constante, era

dado início à passagem da suspensão contendo os nematoides. 1 ml da suspensão, contendo  $1000 \pm 100$  nematoides vivos ou  $1000 \pm 100$  nematoides mortos, eram inseridos no centro da coluna com auxílio de uma seringa.

A partir desse ponto era iniciada a coleta dos volumes da solução que atravessam a coluna de solo. Os efluentes foram coletados sequencialmente em frascos coletores, com numeração sequenciada.

Os volumes da solução que atravessavam a coluna de solo foram coletados a intervalos de 0,1 VP até um total de 2,0 VP (volume de poros) em frascos coletores que possuíam 15 ml de volume. Cada frasco representava aproximadamente 0,1 volumes de poros. O volume coletado era definido em função do volume de poros, cujos valores estão em função do volume da coluna ( $41,79 \text{ cm}^3$ ) e da porosidade do solo em questão.

Os nematoides presentes na água de drenagem foram contados com o auxílio de um microscópio óptico. O número total de nematoides encontrados era dividido pelo número inicial injetado ( $C/C_0$ ), para calcular uma taxa de detecção. O nematoide encontrado no ponto de saída foi contado como "C". Não foram encontrados nematoides aderidos na coluna, nem presentes nas telas nos pontos de entrada e de saída após o término de cada experimento.

#### 4.3.3 Análises estatísticas

Os dados utilizados nas análises foram previamente testados com relação à normalidade utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Além disso, foi executada a análise de melhor potência de transformação dos dados de Box-Cox.

A escolha do modelo para análise de variância com suas interações foi feita considerando a parcimônia e a estatística de ajuste Akaike information criterion-AIC (AKAIKE, 1974). O modelo escolhido foi o mais parcimonioso e com menor valor de AIC, ou seja, o que obteve o melhor ajuste.

Assim, no modelo adotado temos:

$$y_{ijklm} = \mu + N_i + S_j + C_k + V_l + (NS)_{ij} + (NC)_{ik} + (NV)_{il} + (SC)_{jk} + (NSC)_{ijk} + D_{(j)} + \varepsilon_{ijklm}$$

Em que:

$y_{ijklm}$  é o efeito do  $i$ -ésimo nível do nematoide,  $j$ -ésimo nível do solo,  $k$ -ésima condição (nematoide vivo ou morto),  $l$ -ésima vazão e  $m$ -ésima repetição.

$\mu$  é uma constante (média geral);  $N_i$  é efeito do  $i$ -ésimo nível do nematoide,  $S_j$  é o efeito do  $j$ -ésimo nível do solo,  $C_k$  é o efeito da  $k$ -ésima condição (nematoide vivo ou morto),  $V_l$  é o efeito da  $l$ -ésima vazão;  $(NS)_{ij}$  é o efeito da interação entre  $N_i$  e  $S_j$ ;  $(NV)_{il}$  é o efeito da interação entre  $N_i$  e  $V_l$ ;  $(SC)_{jk}$  é o efeito da interação entre  $S_j$  e  $C_k$ ;  $(NSC)_{ijk}$  é o efeito da interação entre  $N_i$ ,  $S_j$  e  $C_k$ ;  $D_{(j)}$  é o efeito do aninhamento da densidade em  $S_j$  e  $\varepsilon_{ijklm} \stackrel{ind}{\sim} N(0, \sigma^2)$  é o componente do erro aleatório associado a cada observação. Com:  $i=1,2,\dots,a$ ;  $j=1,2,\dots,b$ ;  $k=1,2,\dots,c$ ;  $l=1,2,\dots,d$ ;  $m=1,2,\dots,n$ .

Após a análise de variância foram calculadas médias para cada fator avaliado (nematoide, solo, condição e vazão) e desdobradas às interações significativas, sendo estas comparadas pelo teste de Tukey considerando o limite de significância entre os níveis dos fatores com p-valor de  $<0.05$  na distribuição F de Fisher-Snedecor.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no SAS 9.4 (SAS INSTITUTE INC, 2013).

#### 4.4 ESTUDO 2: EXPERIMENTO EM COLUNAS SEGMENTADAS COM OU SEM FLUXO DE ÁGUA

##### 4.4.1 Dispositivo experimental

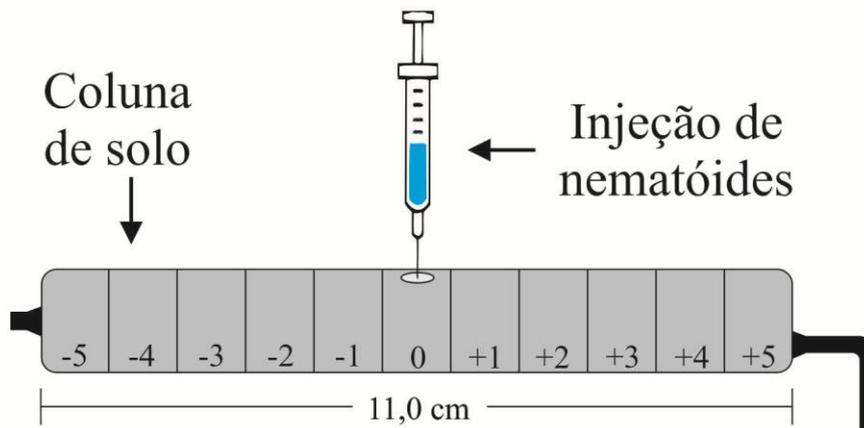
O dispositivo experimental utilizado para o estudo da movimentação das três espécies de nematoide foi composto de colunas em acrílico, um cilindro com diâmetro interior, secção transversal e comprimento de 1,95 cm, 3 cm<sup>2</sup> e 11 cm, respectivamente. O movimento foi analisado em ensaios com coluna segmentada com e sem fluxo de água, a temperatura de aproximadamente 27 ° C. A movimentação dos nematoides nas colunas com solo foi avaliada segundo a metodologia de Fujimoto et al. (2010).

Os tipos e densidades de solo foram os mesmos utilizados na Etapa 1. A distância do movimento do nematoide foi avaliada 1, 3 e 5 dias após a incubação. A direção do movimento foi descrito como positivo ou negativo, quando corresponde à direção de saída (sem percolação) ou na direção de fluxo (com percolação).

Dessa forma o delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial cruzado e aninhado constituído por 3 (espécie de nematoide: *M. enterolobii*, *M. incognita*, *P. coffeae*)  $\times$  3 (solos: S1, S2, S3)  $\times$  3 (densidades: densidade real do solo, densidade acima e abaixo da mesma)  $\times$  3 (Períodos após a incubação: 1, 3 e 5 dias) com três

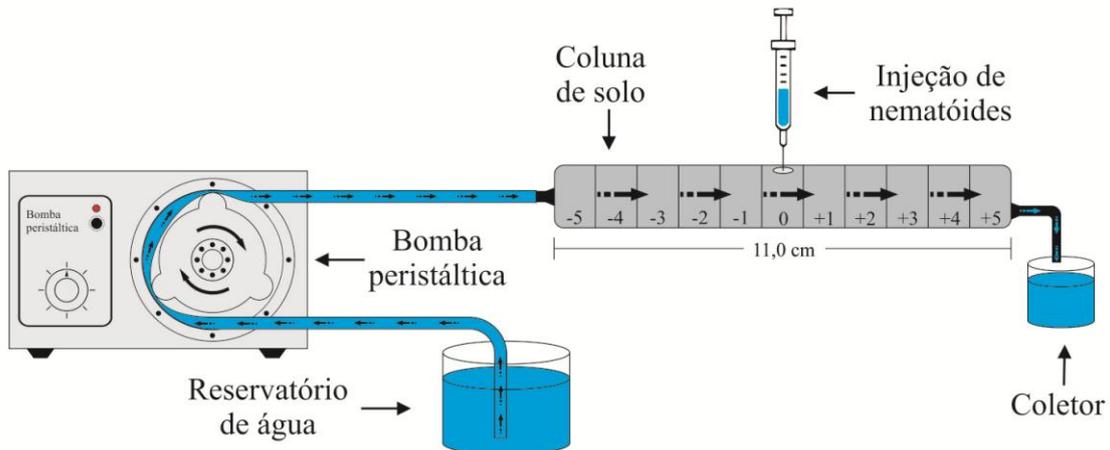
repetições. O esquema do dispositivo experimental para o ensaio a direção de saída (sem percolação) é apresentado na Figura 2 e para a direção do fluxo (Com percolação) é apresentado na Figura 3.

Figura 2 – Esquema do dispositivo experimental sem percolação.



Fonte: Adaptado de Fujimoto et al. (2010)

Figura 3 - Esquema do dispositivo experimental com percolação.



Fonte: Adaptado de Fujimoto et al. (2010)

Para cada ensaio 1 ml de suspensão de água, contendo  $1000 \pm 100$  nematoides, foi injetado no centro da coluna e incubadas com ou sem fluxo de água. Após 1, 3 e 5 dias, a coluna foi desmontada em 11 seções onde foi considerada a distância do ponto de injeção à

direção de entrada foi expressa como um valor negativo e a distância a partir do ponto de injeção à direção de saída foi expressa como um valor positivo. Cada coluna foi monitorada durante os dias de ensaio. Os nematoides foram extraídos utilizando funis de Baermann e contados sob um microscópio estereoscópico. A distribuição foi determinada através do cálculo da razão dos nematoides encontrados em cada secção pela soma dos nematoides encontrados em toda a coluna.

#### **4.4.2 Condução do experimento**

O preenchimento das colunas deformadas com os solos foi executado de forma a proporcionar uniformidade e homogeneidade em toda coluna, sendo que o solo foi previamente mensurado, utilizando aproximadamente uma massa específica para cada tipo de densidade e textura para as colunas. Adicionou-se o solo em camadas e cada camada sobreposta foi compactada por leve pressão com um disco de madeira de diâmetro inferior ao diâmetro interno da coluna.

Após o preenchimento da coluna com cada tipo de solo, a extremidade da coluna foi tampada com uma malha. Para o início do teste, saturou-se a coluna com água autoclavada de maneira lenta, utilizando um dosador, destes utilizados em hospitais para soro, com o objetivo de regular a vazão e desta forma expulsar o ar contido nos microporos, por um período mínimo de 24 horas para a completa saturação.

#### **4.4.3 Ensaio com percolação**

Após 24 horas de repouso (saturação), uma bomba peristáltica, que cria um fluxo de água mais uniforme, foi ligada à extremidade no ponto de entrada da coluna. Após a saturação completa, verificou se em cada unidade experimental, se o fluxo estava em condição de regime permanente. Comprovada a condição de fluxo constante, dava-se início ao ensaio inserindo à injeção da suspensão contendo nematoide. 1 ml de suspensão de água, contendo  $1000 \pm 100$  nematoides, foi injetado no centro da coluna. Cada coluna foi monitorada durante os dias de ensaios.

#### 4.4.4 Ensaio sem percolação

Após 24 horas de repouso (saturação), dava-se início ao ensaio inserindo a injeção da suspensão contendo nematoide. Para cada ensaio 1 ml de suspensão de água, contendo  $1000 \pm 100$  nematoides foi injetado no centro da coluna.

Cada coluna foi monitorada durante os dias de ensaios. Após 1, 3 e 5 dias, cada coluna era desmontada em 11 secções, das quais os nematoides foram extraídos utilizando funis de Baermann modificados. Os nematoides foram contados sob um microscópio estereoscópico.

#### 4.4.5 Análises estatísticas

Os dados utilizados nas análises foram previamente testados com relação à normalidade utilizando o teste de Anderson-Darling. Além disso, foi executada a análise de melhor potência de transformação dos dados para distribuição normal de Box-Cox. Quando os dados, mesmo transformados, não atenderam à normalidade ou quando a variável resposta apresentou muitos zeros, em virtude da ausência de nematoides nas extremidades da coluna, aderiu-se a abordagem dos modelos lineares generalizados (GLM) (NELDER; WEDDERBURN, 1972).

Diferentes modelos foram simulados verificando sempre as estatísticas de ajuste. A escolha do modelo fundamentou-se nos menores valores para as estatísticas AIC (critério de informação de Akaike) (AKAIKE, 1974), AICc (critério de informação de Akaike corrigido) e BIC (critério de informação Bayesiano), conforme Littell, Stroup, Freund (2002). Análise de deviance (ANODEV) via teste da razão da verossimilhança (LRT) foi realizada.

No caso de uma grande presença de zeros e de variância dos dados maior que a média, o modelo escolhido deveria apresentar os menores valores de AIC, AICc e BIC, o que corresponde à distribuição binomial negativa com ligação log com relação média e variância  $V(\mu) = \mu + k\mu^2$  e parâmetro k estimado pela máxima verossimilhança, conforme apresentado a seguir:

$$\log(y_{ijklm}) = \mu + N_i + S_j + P_k + A_l + (SA)_{jl} + (PS)_{jk} + (PA)_{kl} + (PSA)_{jkl} + (NS)_{ij} + (NA)_{il} + (SNA)_{ijl} + (PN)_{ik} + (PSN)_{ijk} + (PNA)_{ikl} + (PSNA)_{ijkl} + D_{(j)} + \varepsilon_{ijklm}$$

Em que:

$y_{ijklm}$  é o efeito do  $i$ -ésimo nível do nematoide,  $j$ -ésimo nível do solo,  $k$ -ésima percolação,  $l$ -ésimo dia e  $m$ -ésima repetição.

$\mu$  é uma constante (média geral);  $N_i$  é efeito do  $i$ -ésimo nível do nematoide,  $S_j$  é o efeito do  $j$ -ésimo nível do solo,  $P_k$  é o efeito da  $k$ -ésima percolação,  $A_l$  é o efeito do  $l$ -ésimo dia;  $(SA)_{jl}$  é o efeito da interação entre  $S_j$  e  $A_l$ ;  $(PS)_{jk}$  é o efeito da interação entre  $P_k$  e  $S_j$ ;  $(PA)_{kl}$  é o efeito da interação entre  $P_k$  e  $A_l$ ;  $(PSA)_{jkl}$  é o efeito da interação entre  $P_j$ ,  $S_k$  e  $A_l$ ;  $(NS)_{ij}$  é o efeito da interação entre  $N_i$  e  $S_j$ ;  $(NA)_{il}$  é o efeito da interação entre  $N_i$  e  $A_l$ ;  $(SNA)_{ijl}$  é o efeito da interação entre  $S_j$ ,  $N_i$  e  $A_l$ ;  $(PN)_{ik}$  é o efeito da interação entre  $P_k$  e  $N_i$ ;  $(PSN)_{ijk}$  é o efeito da interação entre  $P_k$ ,  $S_j$  e  $N_i$ ;  $(PNA)_{ikl}$  é o efeito da interação entre  $P_k$ ,  $N_i$  e  $A_l$ ;  $(PSNA)_{ijkl}$  é o efeito da interação entre  $P_k$ ,  $S_j$ ,  $N_i$  e  $A_l$ ;  $D_{(j)}$  é o efeito do aninhamento da densidade em  $S_j$  e  $\varepsilon_{ijklm}$  é o componente do erro aleatório associado a cada observação. Com:  $i=1,2,\dots,a$ ;  $j=1,2,\dots,b$ ;  $k=1,2,\dots,c$ ;  $l=1,2,\dots,d$ ;  $m=1,2,\dots,n$ .

Após a análise de deviance foram calculadas médias dentro de cada fator avaliado (nematoide, solo, percolação, dia e densidade aninhado em solo), sendo estas comparadas pelo teste z padronizado considerando o limite de significância entre os níveis dos fatores com p-valor de  $<0.05$ .

Todas as análises estatísticas foram realizadas no SAS 9.4 utilizando o PROC GENMOD, específico para modelos lineares generalizados (SAS INSTITUTE INC, 2013).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ESTUDO 1: EXPERIMENTO EM COLUNAS NÃO SEGMENTADAS EM CONDIÇÃO DE SATURAÇÃO COM FLUXO CONSTANTE

Considerando todas as fontes de variação com suas respectivas interações para o movimento do nematoide, foram significativos os efeitos de solo, condição, vazão, interação nematoide  $\times$  condição, interação solo  $\times$  condição e o aninhamento de densidade nos tipos de solo. O efeito global dos três tipos de nematoides não foram significativos. O experimento apresentou ainda 84,02% da variação experimental do  $R^2$  devido aos efeitos dos tratamentos. O coeficiente de variação experimental ou dos efeitos do ambiente foi de 66,09% sendo este considerado dentro do padrão de experimentos com nematoide (Tabela 1).

Considerando as quatro vazões avaliadas, todas diferiram entre si com relação ao movimento do nematoide, em que a vazão 5 mL/min proporcionou a condição de menos movimento que a vazão 40 mL/min, ou seja, quanto maior a vazão maior o número de nematoides lixiviados (Tabela 2).

Em colunas preenchidas com areia, o número de J2 vivos que estavam presentes no vaso coletor mostrou grande alteração com um aumento da densidade e do fluxo em 2,0 VP para cada espécie de nematoide (Figura 4 a 12). Em 2,0 VP para densidade de 1,4 g/cm<sup>3</sup> um total de 64 (6,4%) a 496 (49,6%) de J2 de *M. enterolobii* (Figura 4), 41 (4,1%) a 348 (34,8%) de *M. incognita* (Figura 5) e 83 (8,3%) a 537 (53,7%) (vazão de 5 a 40 mL/min) de *P. coffeae* (Figura 6) estavam presentes na água de drenagem.

Tabela 1 - Análise de variância do experimento avaliado, considerando o movimento do Nematóide

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	Valor F	Pr > F
Nematoide	2	9815,085	1,63	0,1975
Solo	2	4977163,710	824,66	<0,0001 **
Condição	1	2653696,025	439,69	<0,0001 **
Vazão	3	452255,782	74,93	<0,0001 **
Nematoide*Solo	4	5566,258	0,92	0,4505
Nematoide*Condição	2	18475,733	3,06	0,0475 *
Nematoide*Vazão	6	5553,219	0,92	0,4798

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	Valor F	Pr > F
Solo*Condição	2	1803566,673	298,83	<0,0001 **
Nematoide*Solo*Condição	4	6350,680	1,05	0,3794
Densidade(Solo)	6	300834,372	49,84	<0,0001 **
Resíduo	615	6035,40		
R <sup>2</sup> (%)		84,02		
C.V. (%)		66,09		
Média		117,54		

Fonte: Barros (2016)

\*\* : Significativo a 1%; \* : Significativo a 5%.

Tabela 2 - Movimento do nematoide em quatro diferentes vazões

Vazão (mL/min)	Movimento*
5	62,83 D
15	88,71 C
25	136,28 B
40	182,35 A

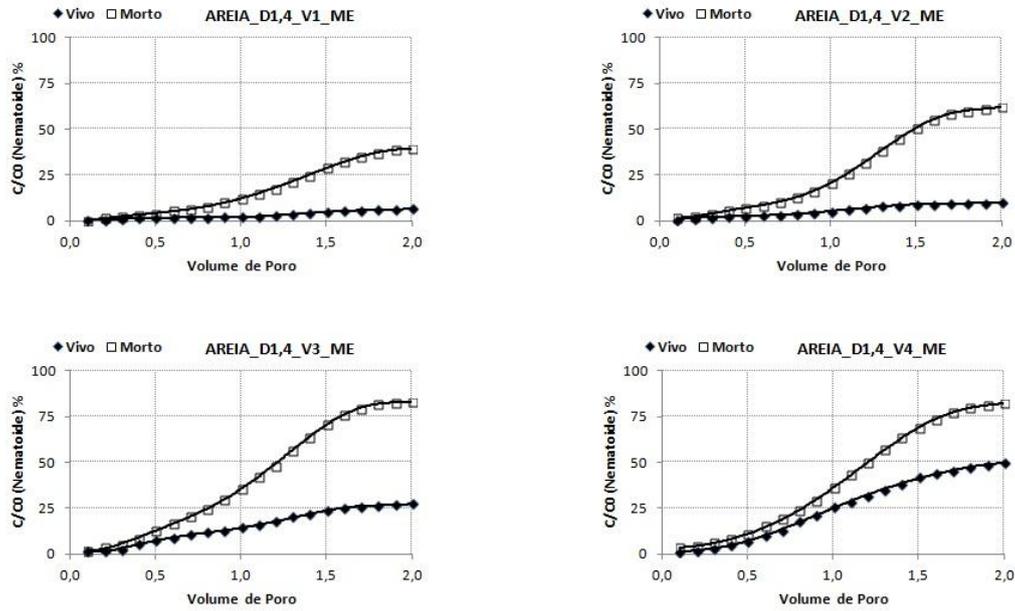
Fonte: Barros (2016)

\*Erro padrão da média:  $\pm 6.1037$

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey com p-valor <0.05.

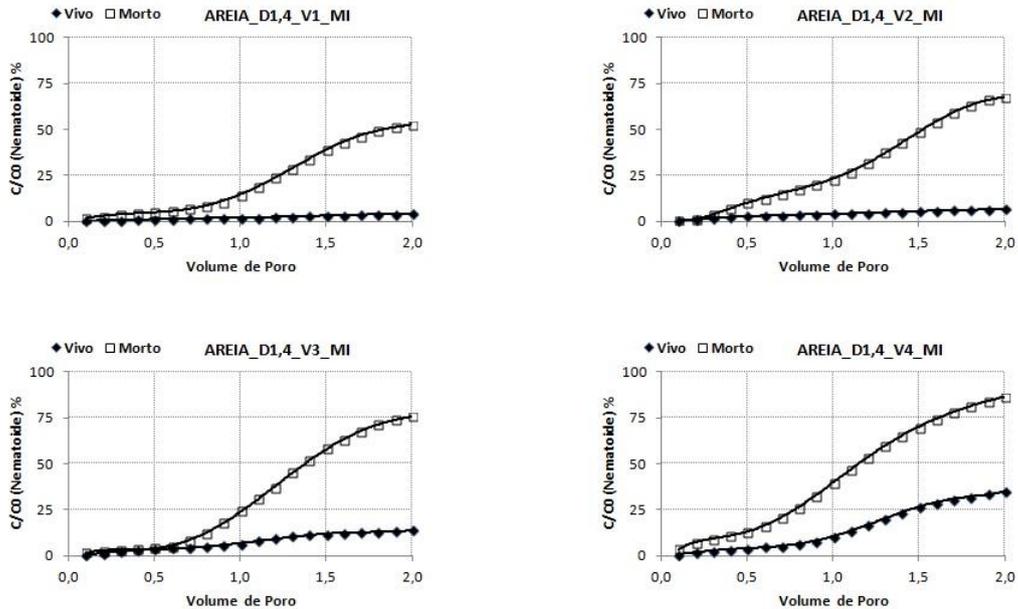
Na densidade de 1,5 g/cm<sup>3</sup> um total de 55 (5,5%) a 284 (28,4%) de J2 de *M. enterolobii* (Figura 7), 38 (3,8%) a 159 (15,9%) de *M. incognita* (Figura 8) e 77 (7,7%) a 366 (36,6%) (vazão de 5 a 40 mL/min) de *P. coffeae* (Figura 9) e na densidade de 1,6 g/cm<sup>3</sup> um total de 53(5,3%) a 176 (%) de J2 de *M. enterolobii* (Figura 10), 33 (3,3%) a 106 (10,6%) de MI (Figura 11) e 74 (7,4%) a 247 (24,7%) (vazão de 5 a 40 mL/min) de *P. coffeae* (Figura 12) estavam presentes na água de drenagem, logo, observa-se que com o aumento da vazão houve um aumento do número de nematoides no vaso coletor e o inverso acontecia quando a densidade aumentava. Assim o número de nematoide lixiviados foi inversamente proporcional à densidade do solo, independente do fluxo. Na vazão de 5 mL/min, para as três densidades, o número de *M. incognita* lixiviados foi duas vezes menor que o número de *P. coffeae* (Figura 4 a 12).

Figura 4 - Taxa de detecção de *Meloidogyne enterolobii* (vivo e morto), na densidade de  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com areia.



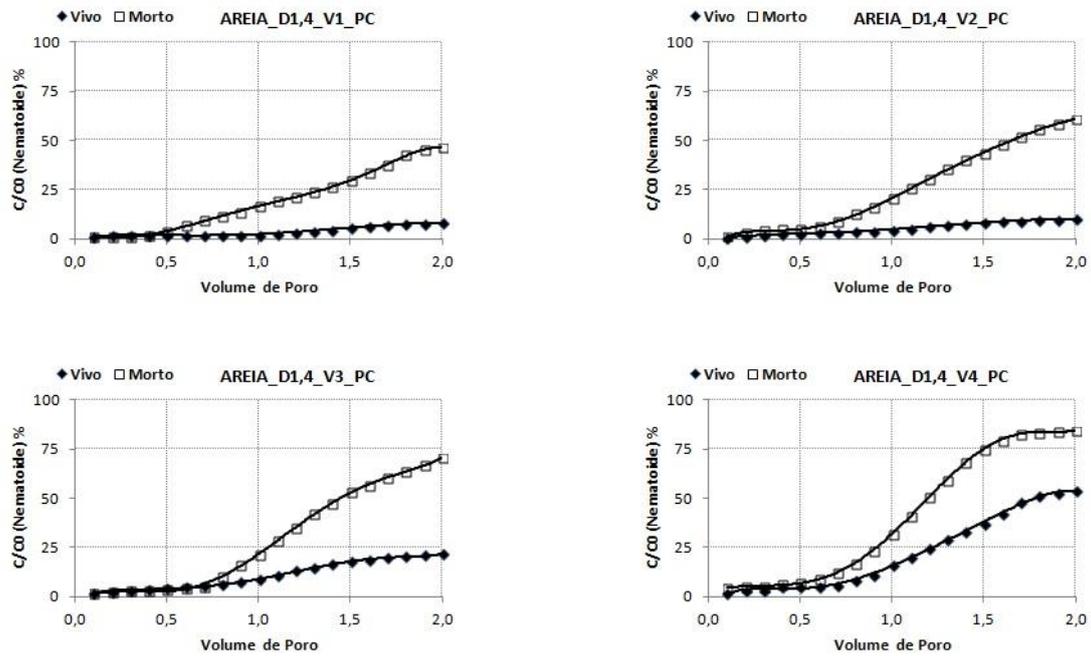
Fonte: Barros (2016)

Figura 5 - Taxa de detecção de *Meloidogyne incógnita* (vivo e morto), na densidade de  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com areia.



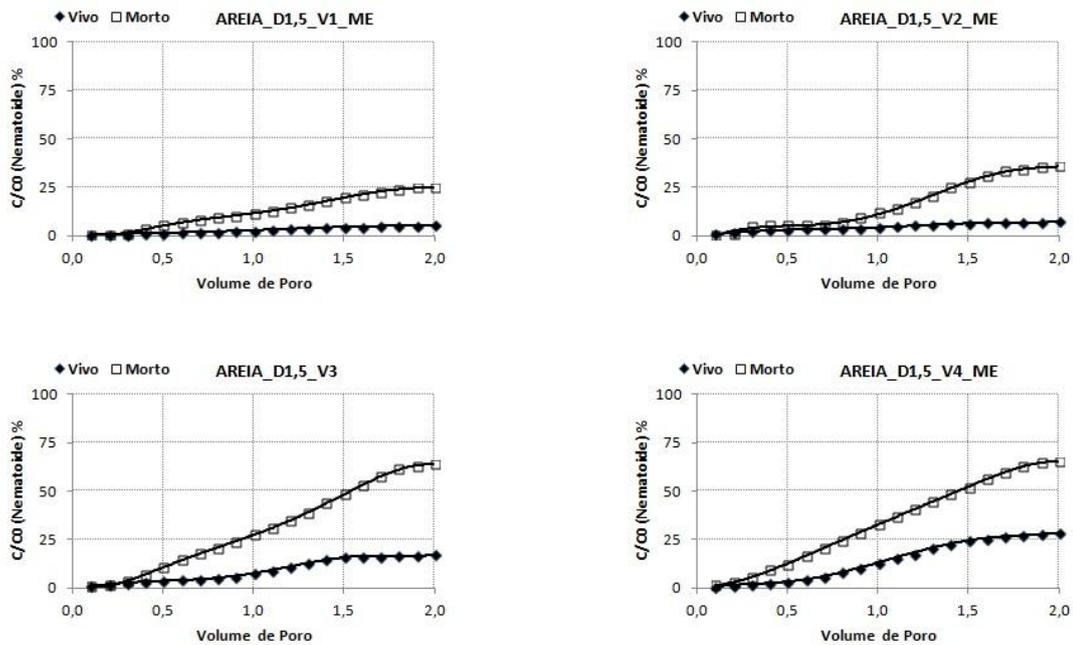
Fonte: Barros (2016)

Figura 6 - Taxa de detecção de *Pratylenchus coffeae* (vivo e morto), na densidade de  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com areia.



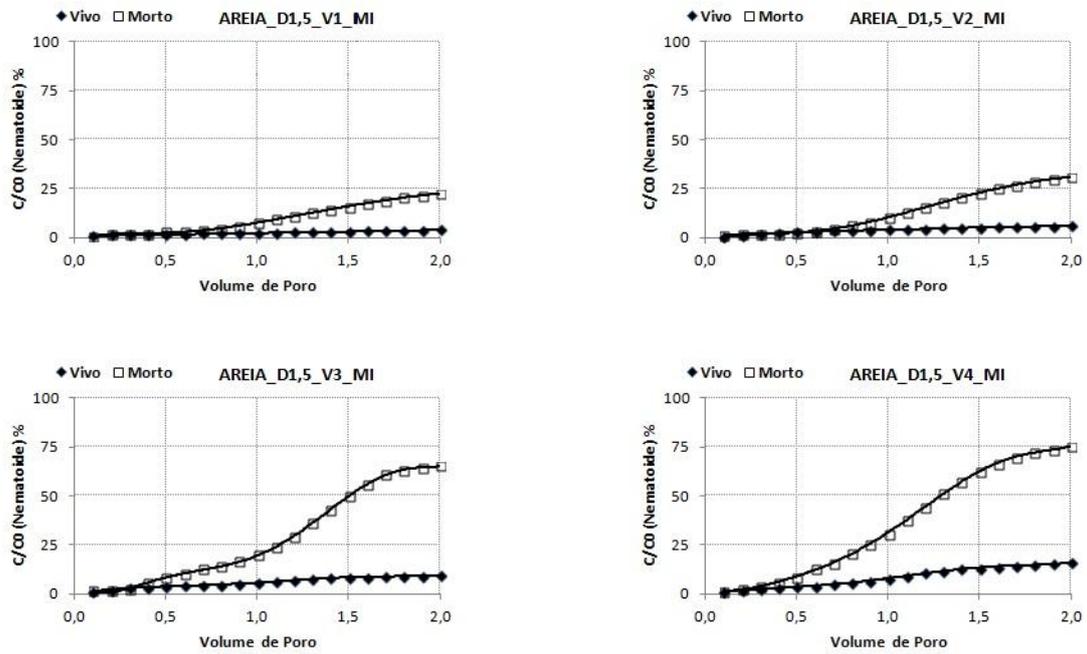
Fonte: Barros (2016)

Figura 7 - Taxa de detecção de *Meloidogyne enterolobii* (vivo e morto), na densidade de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com areia.



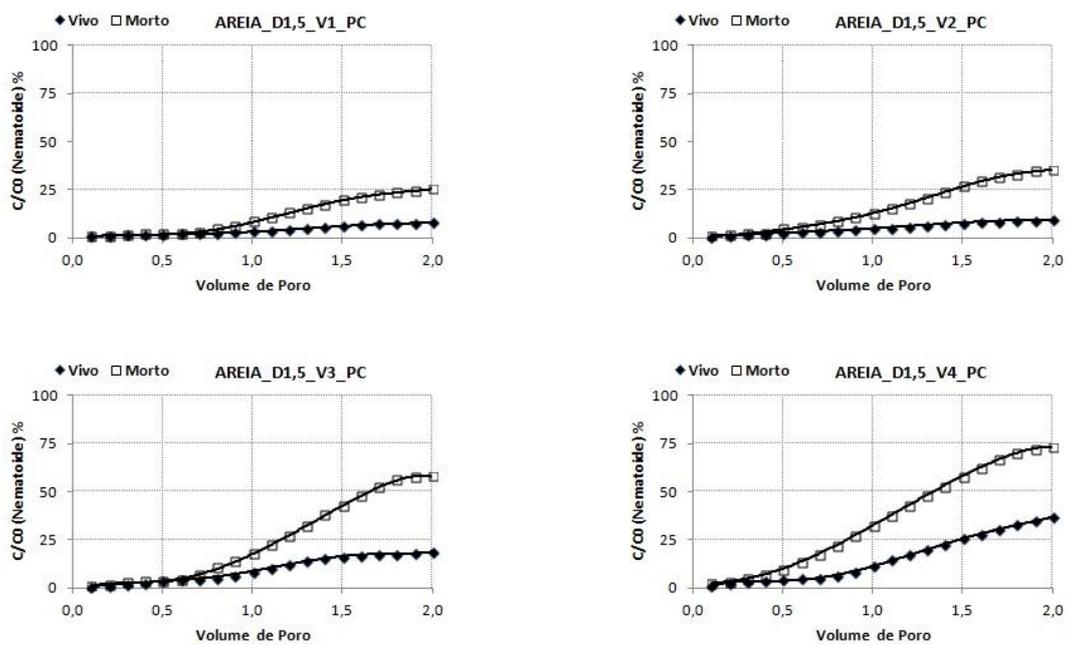
Fonte: Barros (2016)

Figura 8 - Taxa de detecção de *Meloidogyne incognita* (vivo e morto), na densidade de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com areia.



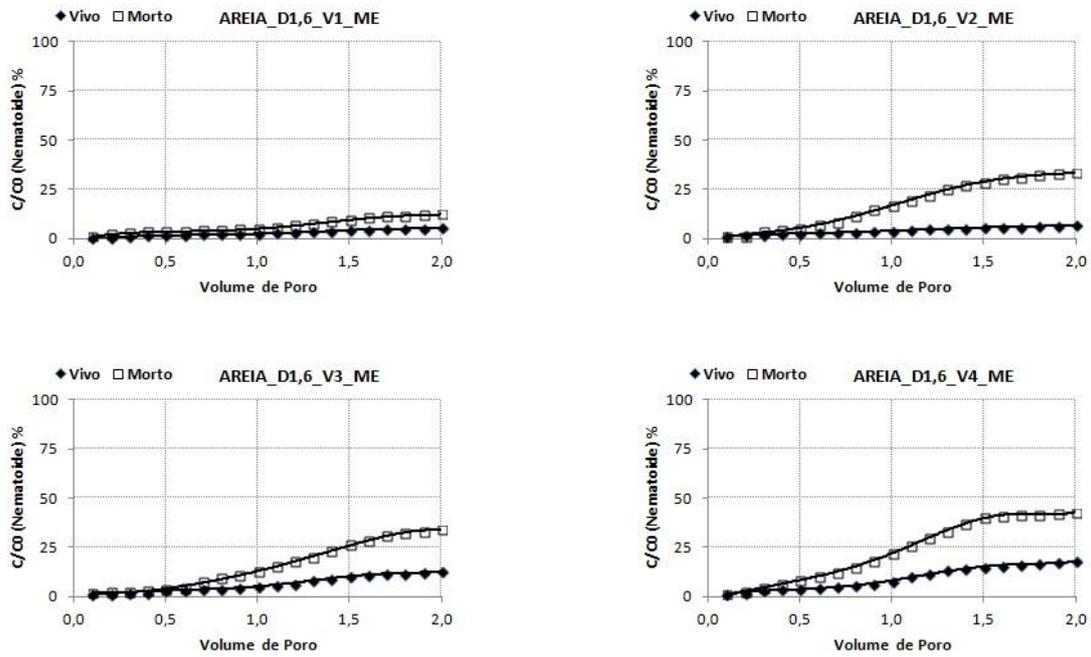
Fonte: Barros (2016)

Figura 9 - Taxa de detecção de *Pratylenchus coffeae* (vivo e morto), na densidade de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com areia.



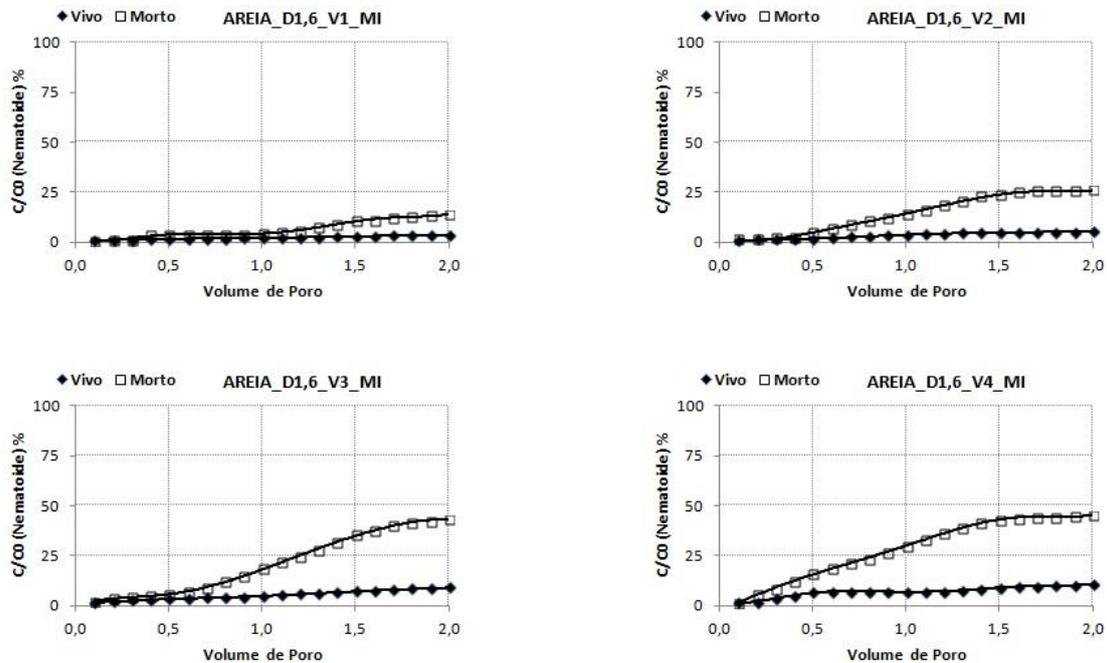
Fonte: Barros (2016)

Figura 10 - Taxa de detecção de *Meloidogyne enterolobii* (vivo e morto), na densidade de  $1,6 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com areia.



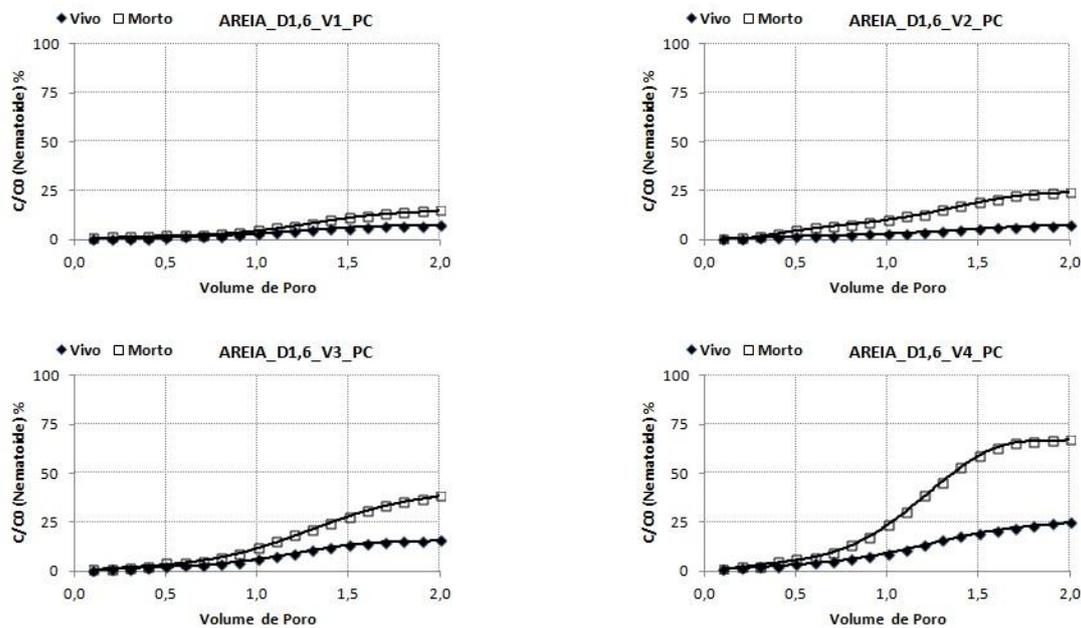
Fonte: Barros (2016)

Figura 11 - Taxa de detecção de *Meloidogyne incognita* (vivo e morto), na densidade de  $1,6 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com areia.



Fonte: Barros (2016)

Figura 12 - Taxa de detecção de *Pratylenchus coffeae* (vivo e morto), na densidade de 1,6 g/cm<sup>3</sup>, em colunas preenchidas com areia.



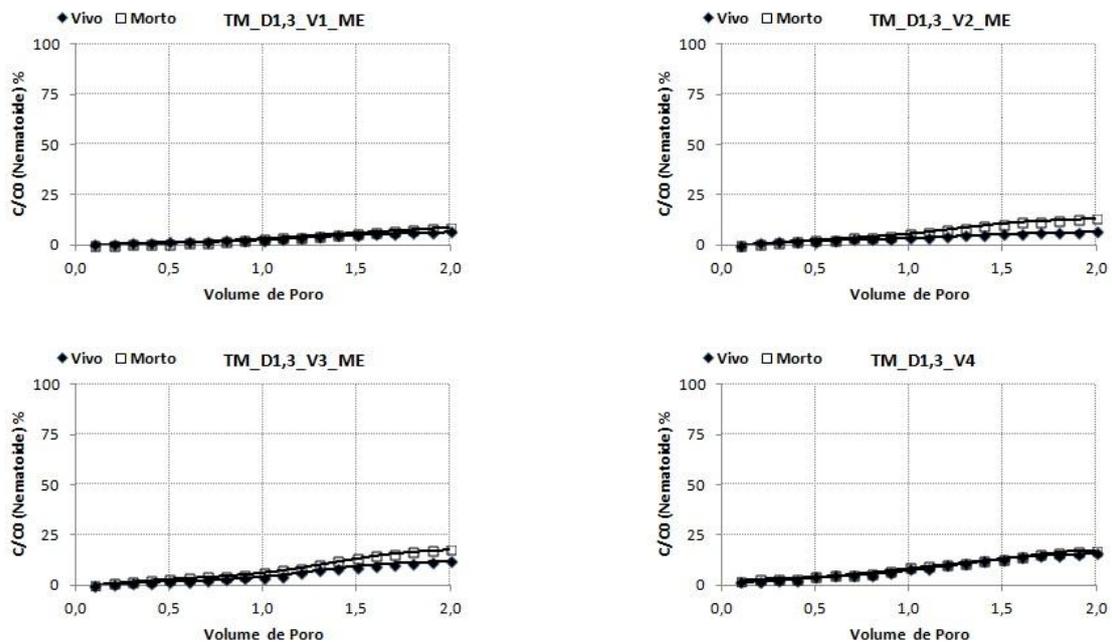
Fonte: Barros (2016)

Quando os J2 mortos foram introduzidos na coluna, eles começaram a aparecer com maior frequência que os J2 vivos no vaso coletor até atingir 2,0 VP. Em 2,0 VP para densidade de 1,4 g/cm<sup>3</sup> um total de 392 (39,2%) a 821 (82,1%) de *M. enterolobii* (Figura 4), 524 (52,4%) a 863 (86,3%) de *M. incognita* (Figura 5) e 463 (46,3%) a 843 (84,3%) (vazão de 5 a 40 mL/min) de *P. coffeae* (Figura 6) estavam presentes na água de drenagem. Na densidade de 1,5 g/cm<sup>3</sup> um total de 248 (24,8%) a 651 (65,1%) de *M. enterolobii* (Figura 7), 224 (22,4 %) a 753 (75,3%) de *M. incognita* (Figura 8) e 253 (25,3%) a 734 (73,4%) (v5 a v40) de *P. coffeae* (Figura 9) e na densidade de 1,6 g/cm<sup>3</sup> um total de 126 (12,6%) a 427 (42,7%) de *M. enterolobii* (Figura 10), 139 (13,9%) a 452 (45,2 %) de *M. incognita* (Figura 11) e 148 (14,8%) a 671 (67,1%) (vazão de 5 a 40 mL/min) de *P. coffeae* (Figura 12) estavam presentes na água de drenagem. Portanto, mais de 80%, 60% e 40% da quantidade inicial de J2 mortos passaram através da coluna cheia de areia na vazão de 40 mL/min nas densidades de 1,4; 1,5 e 1,6 g/cm<sup>3</sup> (Figura 4 a 12), respectivamente.

Em colunas com solo de textura média, o número de J2 vivos e mortos que estavam presentes no vaso coletor mostrou ligeira alteração com um aumento da densidade e do fluxo em 2,0 VP para cada espécie de nematoide. Na vazão de 40 mL/min para densidade de 1,3 g/cm<sup>3</sup>, o número de nematoides vivos lixiviados foi de 14,4%, 11,2% e 15,7% e mortos de

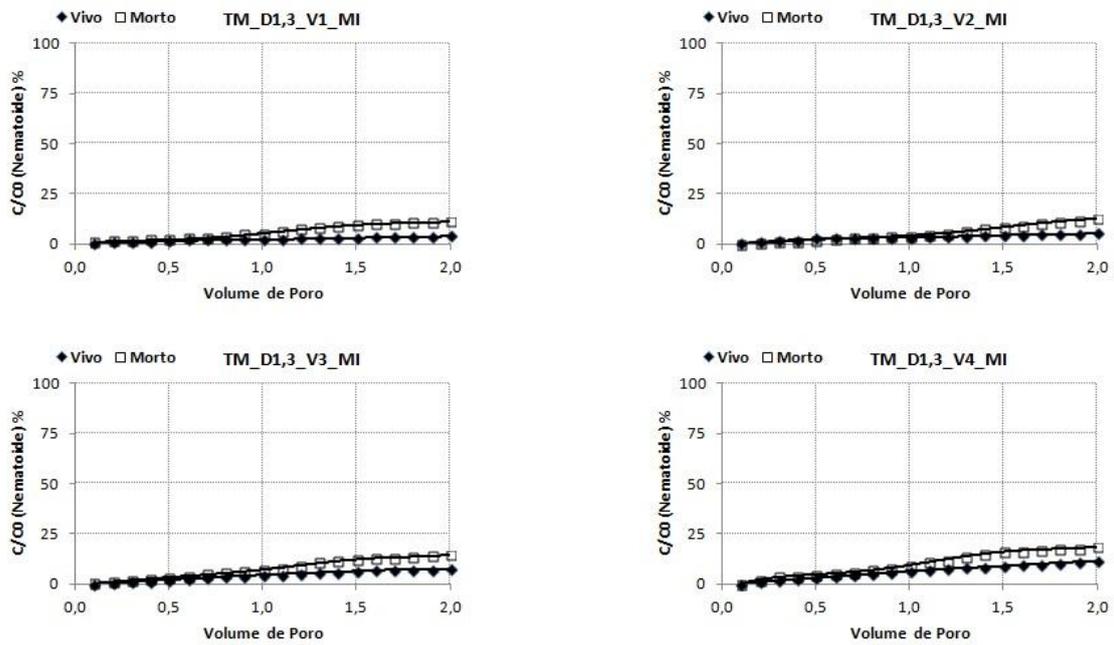
17,9%, 18,6 % e 17,2% para *P. coffeae*, *M. incognita* e *M. enterolobii*, respectivamente (Figura 13 a 15). Para densidade de 1,4 g/cm<sup>3</sup>, o número de nematoides vivos lixiviados foi de 12,1%, 8,9% e 12,9% e mortos de 15,9%, 16,1 % e 17,4% para *P. coffeae*, *M. incognita* e *M. enterolobii*, respectivamente (Figura 16 a 18). Para a densidade de 1,5 g/cm<sup>3</sup>, o número de nematoides vivos lixiviados foi de 10,8 %, 7,4 % e 9,1% e mortos de 14,3%, 13,9 % e 15,4% para *P. coffeae*, *M. incognita* e *M. enterolobii*, respectivamente (Figura 19 a 21). Portanto, menos que 20% dos nematoides inicialmente vivos e mortos foram lixiviados.

Figura 13 - Taxa de detecção de *Meloidogyne enterolobii* (vivo e morto), na densidade de 1,3 g/cm<sup>3</sup>, em colunas preenchidas com solo de textura media.



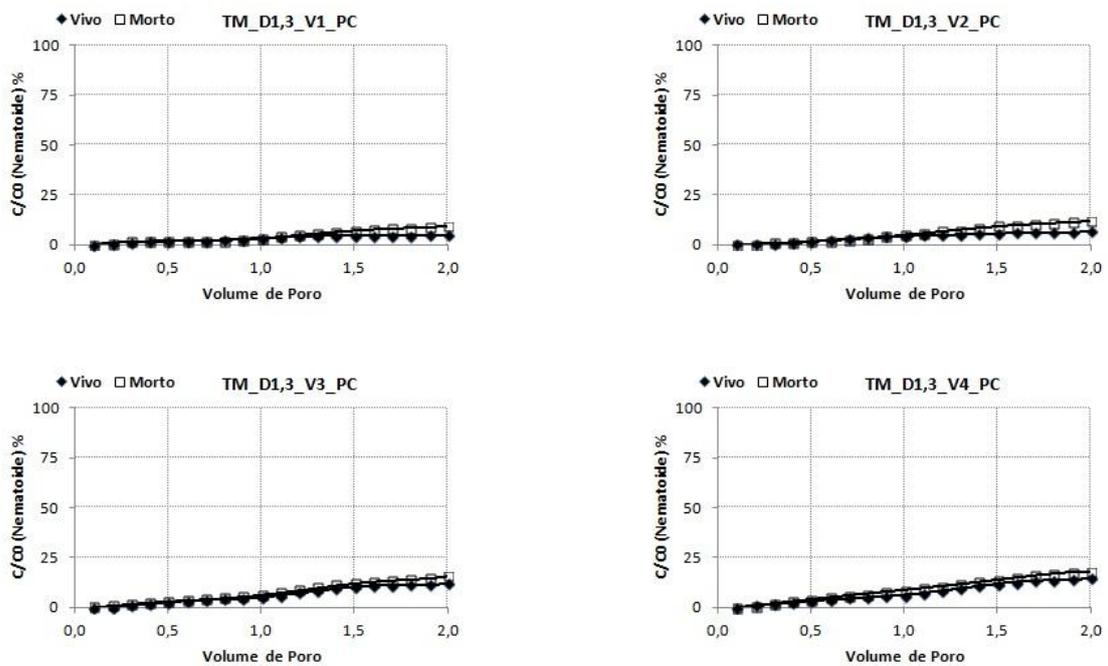
Fonte: Barros (2016)

Figura 14 - Taxa de detecção de *Meloidogyne incognita* (vivo e morto), na densidade de 1,3 g/cm<sup>3</sup>, em colunas preenchidas com solo de textura media.



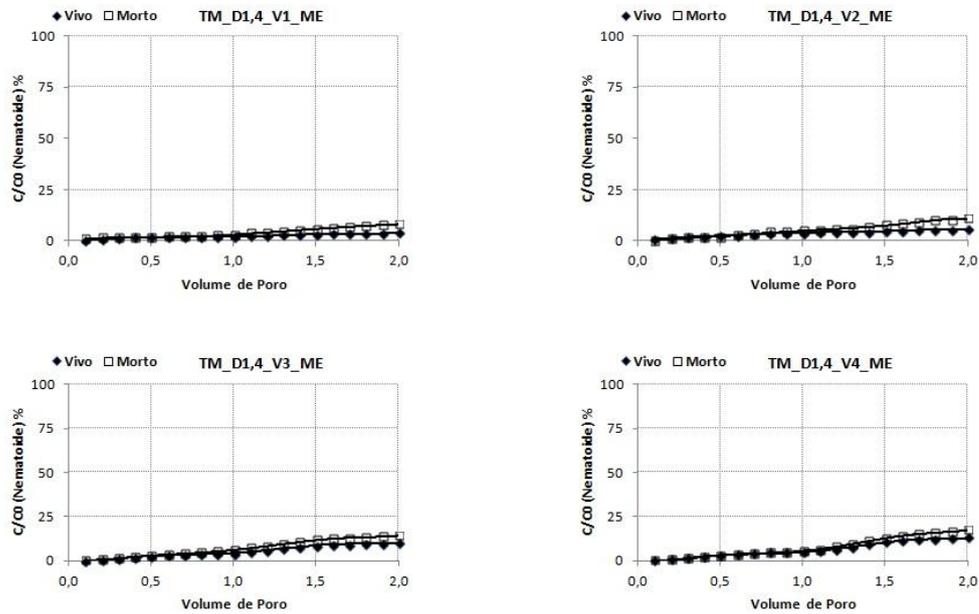
Fonte: Barros (2016)

Figura 15 - Taxa de detecção de *Pratylenchus coffeae* (vivo e morto), na densidade de 1,3 g/cm<sup>3</sup>, em colunas preenchidas com solo de textura media.



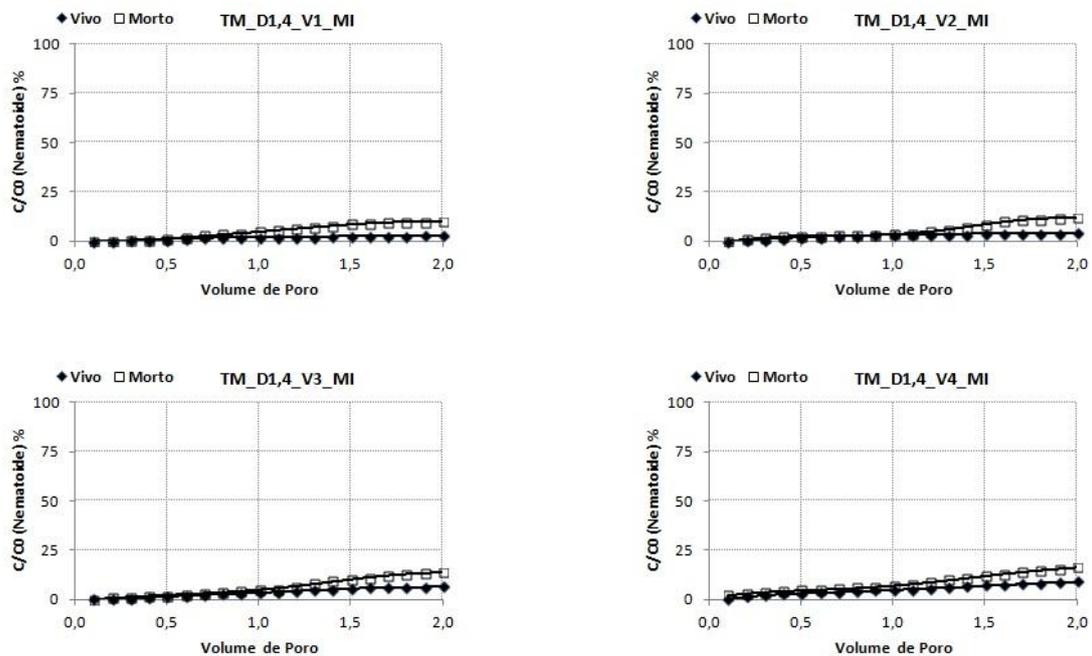
Fonte: Barros (2016)

Figura 16 - Taxa de detecção de *Meloidogyne enterolobii* (vivo e morto), na densidade de 1,4 g/cm<sup>3</sup>, em colunas preenchidas com solo de textura media.



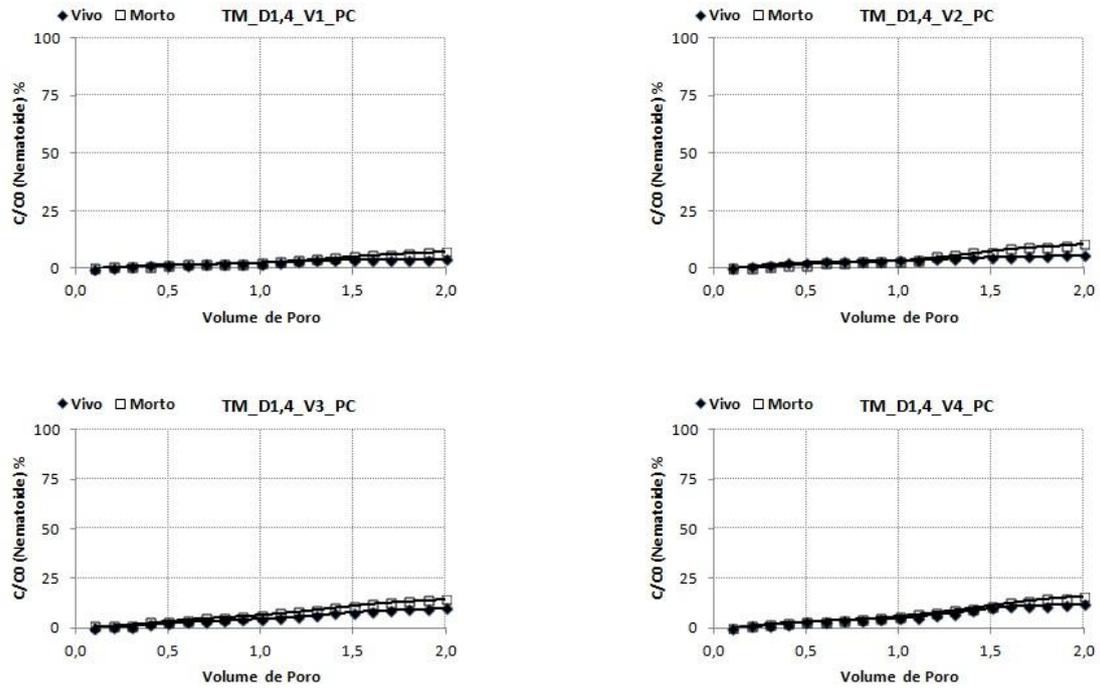
Fonte: Barros (2016)

Figura 17 - Taxa de detecção de *Meloidogyne incognita* (vivo e morto), na densidade de 1,4 g/cm<sup>3</sup>, em colunas preenchidas com solo de textura media.



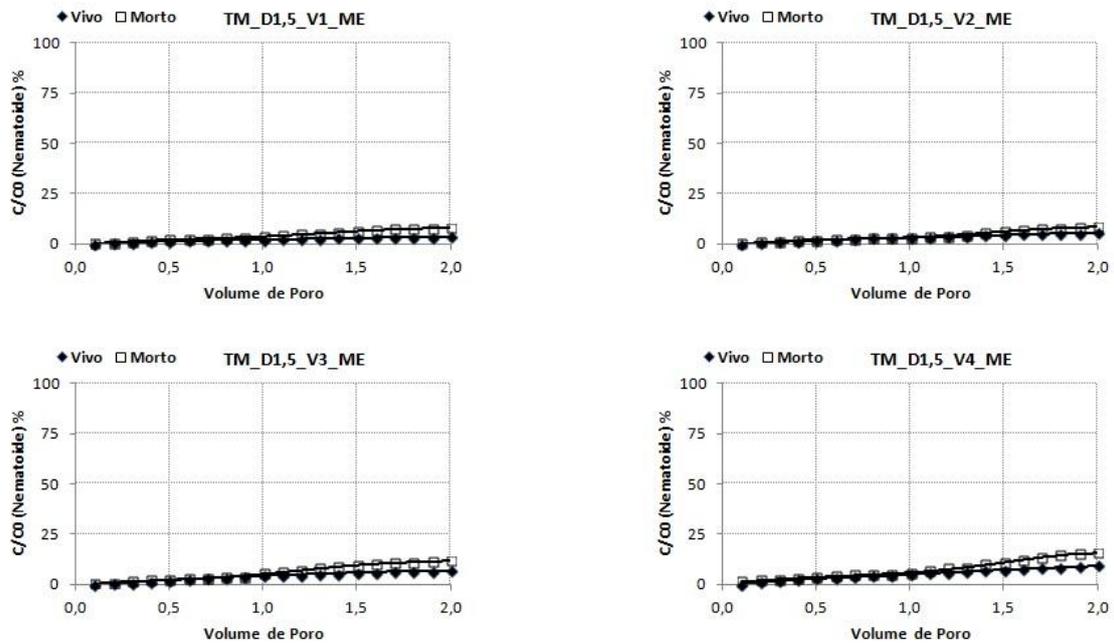
Fonte: Barros (2016)

Figura 18 - Taxa de detecção de *Pratylenchus coffeae* (vivo e morto), na densidade de  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com solo de textura media.



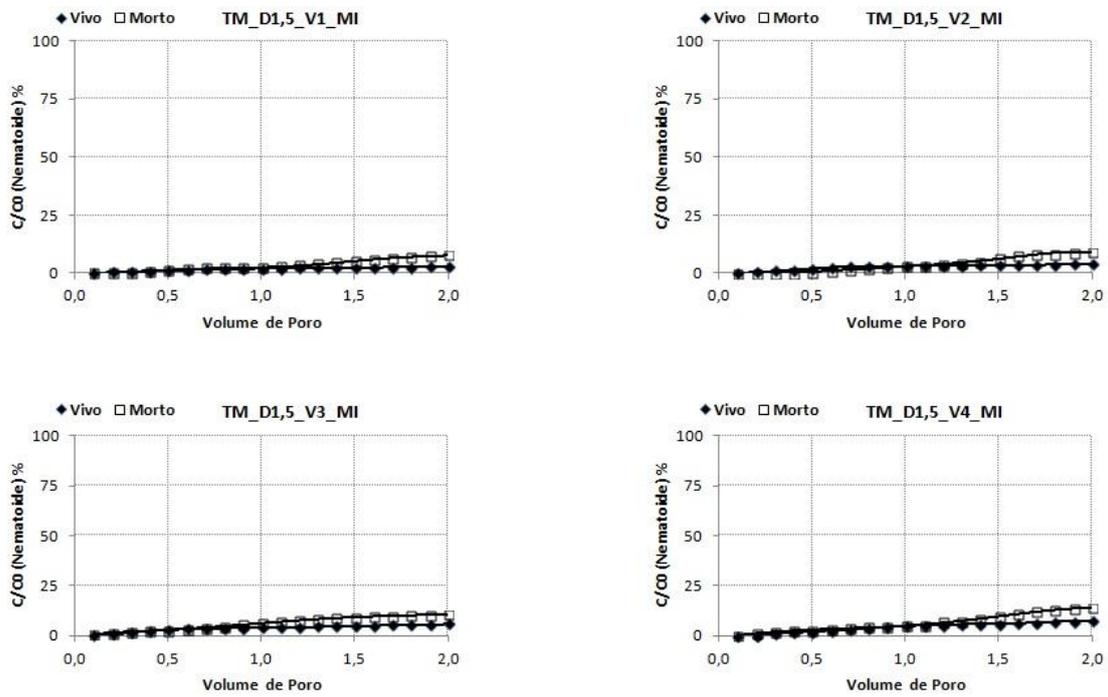
Fonte: Barros (2016)

Figura 19 - Taxa de detecção de *Meloidogyne enterolobii* (vivo e morto), na densidade de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com solo de textura media



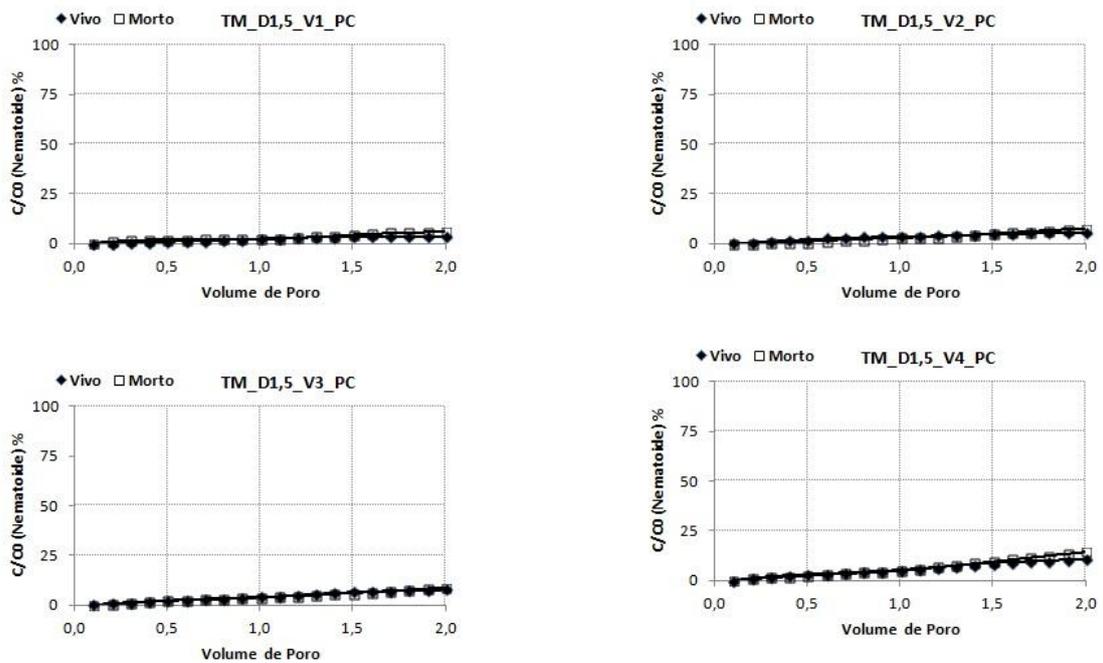
Fonte: Barros (2016)

Figura 20 - Taxa de detecção de *Meloidogyne incognita* (vivo e morto), na densidade de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com solo de textura media.



Fonte: Barros (2016)

Figura 21 - Taxa de detecção de *Pratylenchus coffeae* (vivo e morto), na densidade de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ , em colunas preenchidas com solo de textura media.

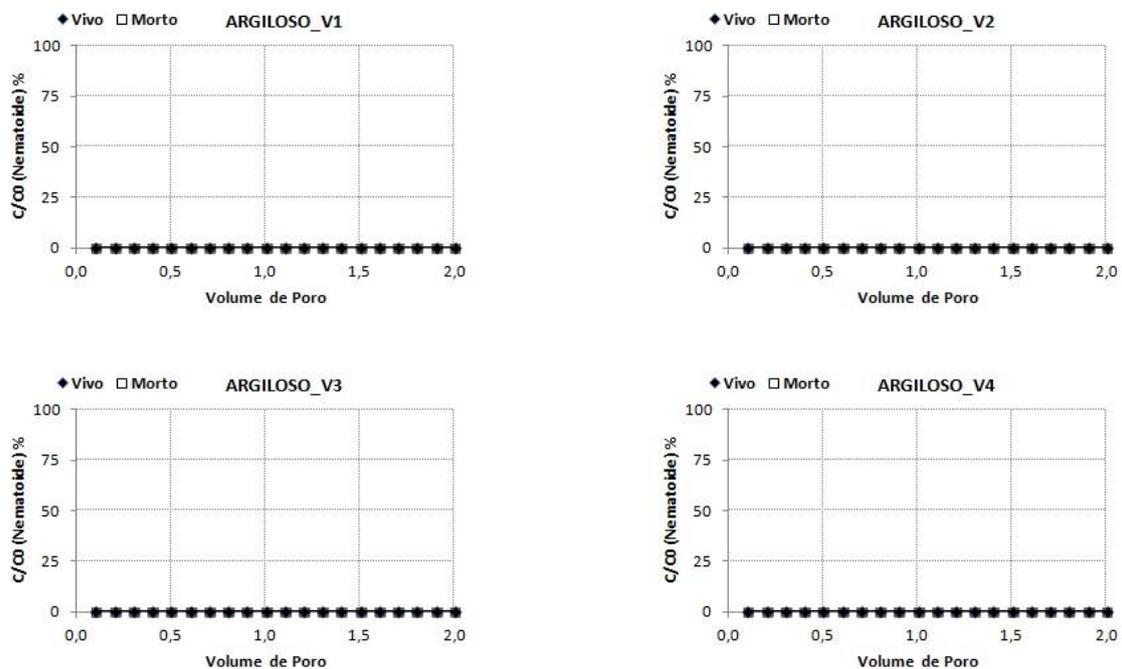


Fonte: Barros (2016)

Em solo argiloso, o movimento dos nematoides em ambas as condições, vivos e mortos, foi praticamente nulo (Figura 22), diferenciando dos solos de textura média e areia (Figura 4 a 21). A soma dos nematoides vivos na água de drenagem foi de 15 ou menos, ao longo do experimento. Além disso, nenhum dos nematoides injetados inicialmente morto estava presentes na água de drenagem no ponto de saída.

A interação dos nematoides *M. enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae* com a condição (vivo ou morto) foram significativas, sendo as médias apresentadas na Tabela 3. Não houve diferença ( $p < 0,05$ ) entre os três nematoides dentro da condição “nematóide morto”, entretanto, dentro da condição “nematóide vivo”, *P. coffeae* apresentou significativamente ( $p < 0,05$ ) maior movimento de lixiviados do que *M. incognita*, enquanto *M. entetrolobii* apresentou movimento intermediário entre os outros dois nematoides (Tabela 3). Este resultado sugere que o *M. incognita* tem uma maior capacidade de resistir ao fluxo de água em relação ao *P. coffeae*, ou seja, é mais difícil de ser lixiviado com a chuva ou irrigação no campo.

Figura 22 - Taxa de detecção de *Meloidogyne enterolobii*, *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus coffeae* (vivo e morto), na densidade de 1,1; 1,2 e 1,3 g/cm<sup>3</sup>, em colunas preenchidas com solo argiloso.



Fonte: Barros (2016)

Tabela 3 - Médias de mobilidade do nematoide para o desdobramento da interação de três espécies e duas condições biológicas (nematoide vivo ou morto)

Nematoide	Nematoide morto*	Nematoide vivo*
<i>Meloidogyne enterolobii</i>	178,67 Aa	58,33 abB
<i>M. incógnita</i>	184,92 aA	35,83 bB
<i>Pratylenchus coffeae</i>	181,03 aA	66,48 aB

Fonte: Barros (2016)

Erro padrão da média:  $\pm 7.4755$

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, minúscula na coluna e maiúscula na linha, pelo teste de Tukey com p-valor  $<0.05$ .

Comparando ainda a condição “nematoide morto” e “nematoide vivo” (fator isolado), houve diferenças entre a mobilidade de todos nematoides avaliados, sendo que na condição “nematoide morto” a mobilidade dos nematoides foi praticamente três vezes maior que na condição “nematoide vivo”, sugerindo que os nematoides resistem ao fluxo (Tabela 3).

Com relação à interação dos tipos de solos com as duas condições dos nematoides, todos os níveis foram significativos (Tabela 4). Dentro da condição “nematoide morto” e “nematoide vivo” o tipo de solo que possibilitou maior mobilidade de nematoide lixiviado foi areia, sendo o solo argiloso o que permitiu o menor movimento dos nematoides lixiviados (praticamente nulo). Esquivel (1996) apontou que a capacidade para migrar de J2 de *M. incognita* é inversamente relacionada com o percentual de silte mais argila no solo. Segundo Van Gundy (1985), a movimentação do juvenil (J2) nas partículas do solo diminui à medida que a porcentagem de argila e silte aumentam na textura, não existindo movimentação em solos com mais de 30% de argila, além de silte. Como no presente estudo a textura do solo argiloso apresentou mais 40% de argila e uma porcentagem relativamente elevada de silte, essa pode ser uma das justificativas pelo não movimento em solo argiloso.

Tabela 4 - Médias de mobilidade do nematoide para o desdobramento da interação de três tipos de solo com duas condições biológicas do nematóide

Solo	Nematoide morto*	Nematoide vivo*
S3	457,65 aA	120,61 aB
S1	86,96 bA	38,54 bB
S2	0 cA	1,50 cA

Fonte: Barros (2016)

Erro padrão da média:  $\pm 7.4755$ ; TM: Textura media.

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey com p-valor <0.05.

Comparando a condição “nematóide morto” com “nematóide vivo”, diferença na mobilidade do nematóide ocorreu apenas para o solo textura média e areia. Além do mais, os valores de movimento para “nematóide morto” foram sempre maiores do que para “nematóide vivo” (Tabela 4).

Se mais nematoides mortos que vivos foram lixiviados, esse resultado sugere que para esses dois tipos de solo os nematoides conseguem resistir ao fluxo. Wallace (1958) sugeriu que havia um tamanho de partícula ideal para o movimento de cada uma das espécies de nematoides no solo. Assim, o tamanho de poro (PROT; VAN GUNDY 1981) e a textura do solo (RINALDI et al., 2014) influencia a movimentação dos fitonematoides.

A textura do solo é um dos principais fatores que influenciam a distribuição de espécies de *Pratylenchus* (GOULART, 2008) e *Meloidogyne* (FAJARDO et al., 2011). No presente estudo, solo de textura média com 19% de argila favoreceu o movimento das espécies *P. coffeae*, *M. incógnita* e *M. enterolobii* e solo argiloso com 40% de argila desfavoreceu a movimentação dos mesmos.

De acordo com Asmus; Inomoto (2007), *P. brachyurus* apresentou melhor mobilidade em solos com textura média com 15 a 25% de argila. Entretanto, para Dias et al. (2010), solos com textura mais arenosa com menos de 15% de argila favorecem *P. brachyurus*.

Em relação à *Meloidogyne* spp. tem sido verificado que em solos com mais do que 50% de areia o nematóide se multiplica e locomove mais rapidamente (ARÉVALO et al., 2007). Revisando o gênero *Meloidogyne*, Cadet et al. (2004) e Jaraba et al. (2007) apontaram maior frequência e abundância desse nematóide em solos arenosos do que solos argilosos. Segundo Rinaldi et al. (2014), solo arenoso com 11% de argila favorece *M. incognita* e solo com textura intermediária (17% a 56% de argila) favorece a *M. javanica*, corroborando Peixoto et al. (2011) e contrapondo com os resultados acima.

Estudos realizados por Charcar et al. (2009) e Fajardo et. al. (2011) mostraram que a porcentagem de areia foi inversamente proporcional à densidade de *Meloidogyne* spp. Para Fajardo et al. (2011), essa menor proporção de nematoides em solos arenosos pode está relacionada com a quantidade de poros secos, uma vez que o solo de textura argilosa apresenta uma melhor estrutura, maior porosidade total e maior retenção de água do que o de areia, diretamente relacionada com o alto teor de matéria orgânica, razão pela qual a porosidade do ar pode ser superior.

Os nematoides em areia (120,61 vivos e 457,65 mortos) apresentaram maior número de lixiviados em relação a solos de textura media (86,96 vivos e 38,54 mortos). Em contraste, apesar de uma diferença no tamanho e na distribuição do poro, o número de nematoides vivos lixiviados foi 3,79 vezes menor em relação aos mortos em areia do que em solo de textura media, que apresentou 2,25 de nematoides vivos lixiviados em relação aos mortos entre os dois preenchimentos (Tabela 4). Então, os nematoides conseguem resistir ao fluxo de água mesmo em solos que apresentaram maior velocidade de fluxo, não levando em consideração a textura do solo, confirmando a assertiva de Fujimoto et al. (2009) de que o J2 é capaz de resistir ao fluxo, mesmo em macroporos que não são considerados ideais para a migração de nematoides. Esses pesquisadores verificaram que 90% de J2 de *M. incognita* vivos permaneceram no interior da coluna de esferas de vidro, areia e Andisol, sem que fossem lixiviados para o ponto de saída, ainda que as esferas de vidro compreendessem numerosos poros de diferentes tamanhos.

No efeito da densidade aninhado no tipo de solo, a combinação areia com a menor densidade (1,4 g/cm<sup>3</sup>) apresentou o maior valor de movimento de nematoides lixiviados (403,96), enquanto que o solo argiloso em todas as densidades apresentaram valores que não diferiram de zero. O solo de textura media apresentou valores intermediários de movimento (Tabela 5).

Tabela 5 - Médias do movimento dos nematoides para o efeito de seis densidades aninhada em três tipos de solo

Solo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Movimento*
S3	1,4	403,96 A
S3	1,5	280,01 B
S3	1,6	183,42 C
S1	1,3	79,64 D
S1	1,4	64,21 D
S1	1,5	44,40 D
S2	1,1	1,734 E
S2	1,2	0,51 E
S2	1,3	0 E

Fonte: Barros (2016)

Erro padrão da média: ± 9.1556

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey com p-valor <0.05.

O tamanho das partículas relaciona-se ao tamanho do poro, partículas de maiores tamanhos determinam aumento do poro (KLINGER; HAUKELAND, 2006). Segundo Young (1992), o tamanho das partículas ou agregados afeta o movimento dos nematoides, que é diretamente influenciado pelo tamanho dos poros. Poros pequenos impossibilitam a passagem dos nematoides e poros muito grandes limitam o movimento lateral (WALLACE, 1971).

Comparando dentro de cada tipo de solo, apenas areia apresentou diferenças entre as densidades do solo (de 1,4 a 1,6 g/cm<sup>3</sup>), o que sugere que quando a densidade do solo é alterada, o movimento dos nematoides é afetado. Para os solos textura média e argilosa o movimento não é afetado independente da densidade testada no experimento.

## 5.2 ESTUDO 2: EXPERIMENTO EM COLUNAS SEGMENTADAS COM OU SEM FLUXO DE ÁGUA

Os critérios para avaliar a qualidade do ajuste do modelo linear generalizado com distribuição binomial negativa e ligação log são apresentados na Tabela 6. As estatísticas resumem o ajuste das estatísticas ao experimento estudado.

No presente estudo o valor da Deviance/GL está próximo de um e, portanto, o modelo está bem ajustado indicando que não está ocorrendo superdispersão ou subdispersão. Se for verificado a deviance 4656,4715 com grau de liberdade de 5286 e calculado seu p-valor da distribuição Qui-quadrado, o mesmo não é significativo ( $p=0,9999$ ), indicando que o modelo está dentro do padrão estatístico requerido e bem ajustado (Tabela 6). A deviance tem uma distribuição aproximada Qui-quadrado com  $n-p$  graus de liberdade aproximado, onde  $n$  é o número de observações e  $p$  é o número de fatores (incluindo o intercepto).

Tabela 6 - Critérios usados para avaliar a qualidade do ajuste do modelo linear generalizado com distribuição binomial negativa e ligação log

Critério	GL	Valor	Valor/GL
Deviance	5286	4656,4715	0,8809
Pearson $\chi^2$	5286	3060,0158	0,5789
Dispersão $\pm$ Limite de confiança de Wald (95%)	-	8,7511 [8,3949; 9,1225;]	

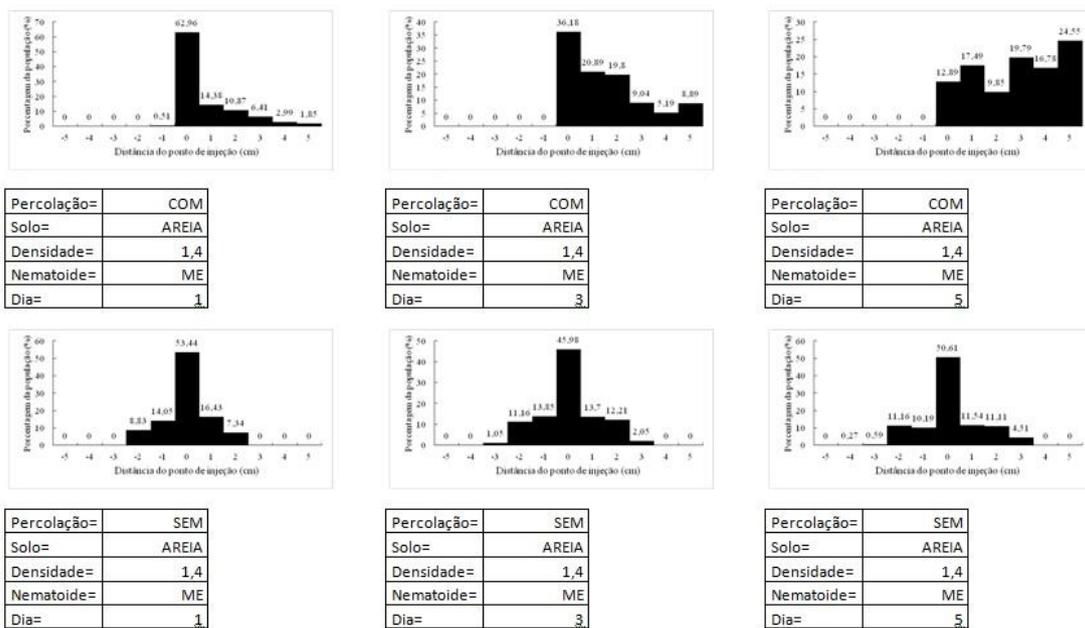
Fonte: Barros (2016)

O Pearson  $\chi^2$  (Teste Qui-quadrado de Pearson) é definido como a diferença de quadrados entre os valores observados e previstos dividido pela variância do valor previsto somado a todas as observações no modelo, quanto menor, melhor esse número. No caso da Tabela 6, esse número é considerado baixo e, portanto, estatisticamente suficiente.

O valor do parâmetro da dispersão foi maior que zero justificando a utilização do modelo com distribuição binomial negativa, entretanto, se esse valor fosse igual à zero seria necessário utilizar o modelo de Poisson para estudar os dados (IDRE, 2016) (Tabela 6).

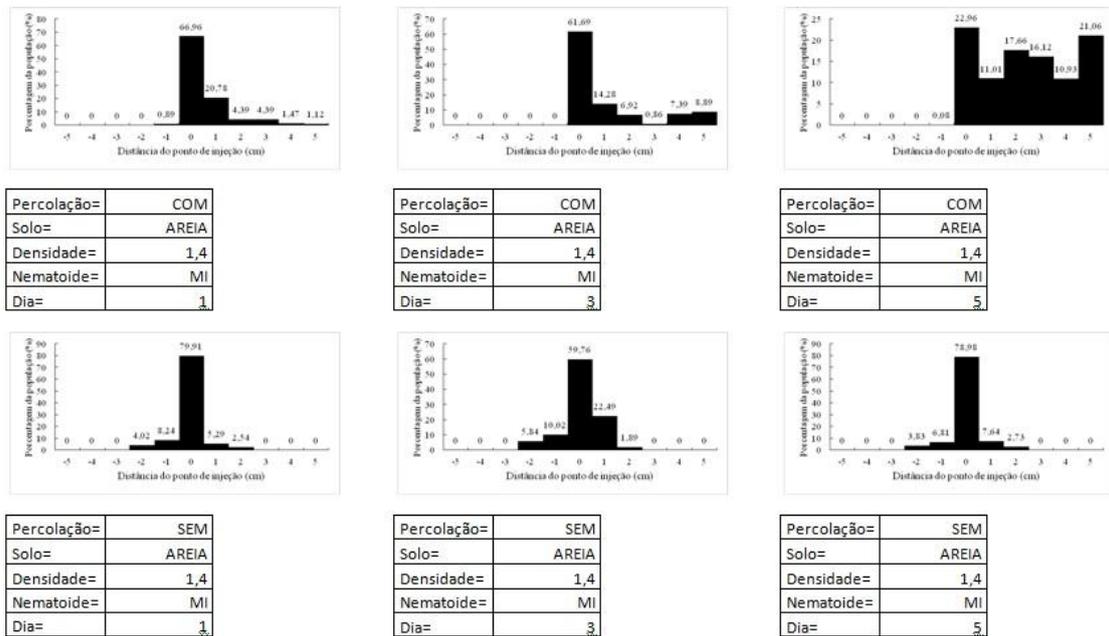
As distribuições das espécies *M. enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae* J2 nas diferentes densidades e textura do solo, com ou sem fluxo de água no solo são mostrados nas Figuras 23 a 49, respectivamente.

Figura 23 - Distribuição *Meloidogyne enterolobii* em coluna com areia, densidade 1,4 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



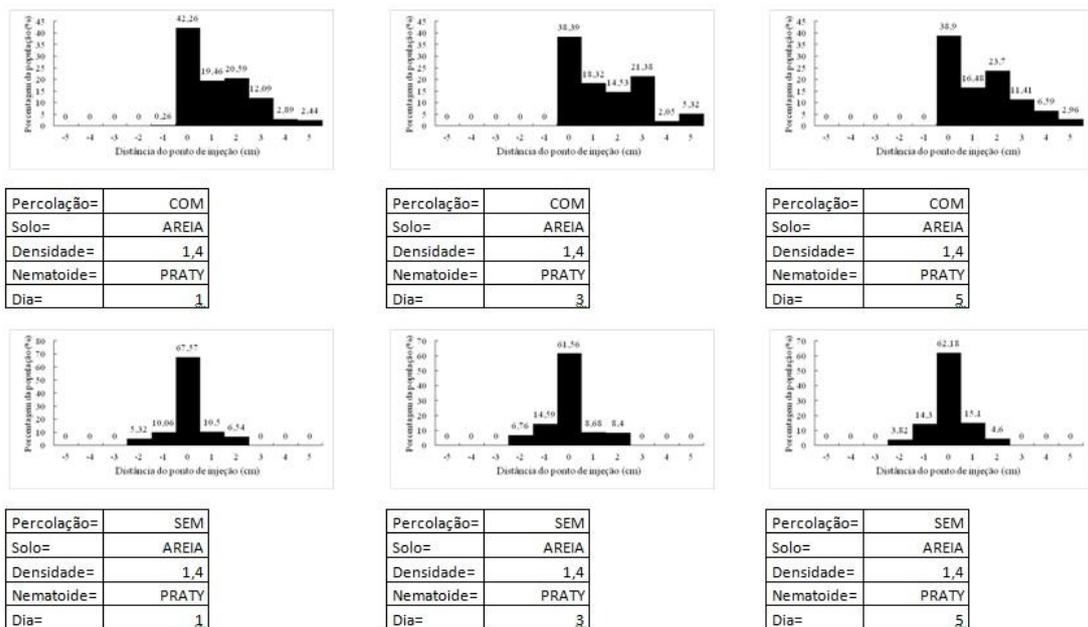
Fonte: Barros (2016)

Figura 24 - Distribuição *Meloidogyne incognita* em coluna com solo areia, densidade 1,4 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



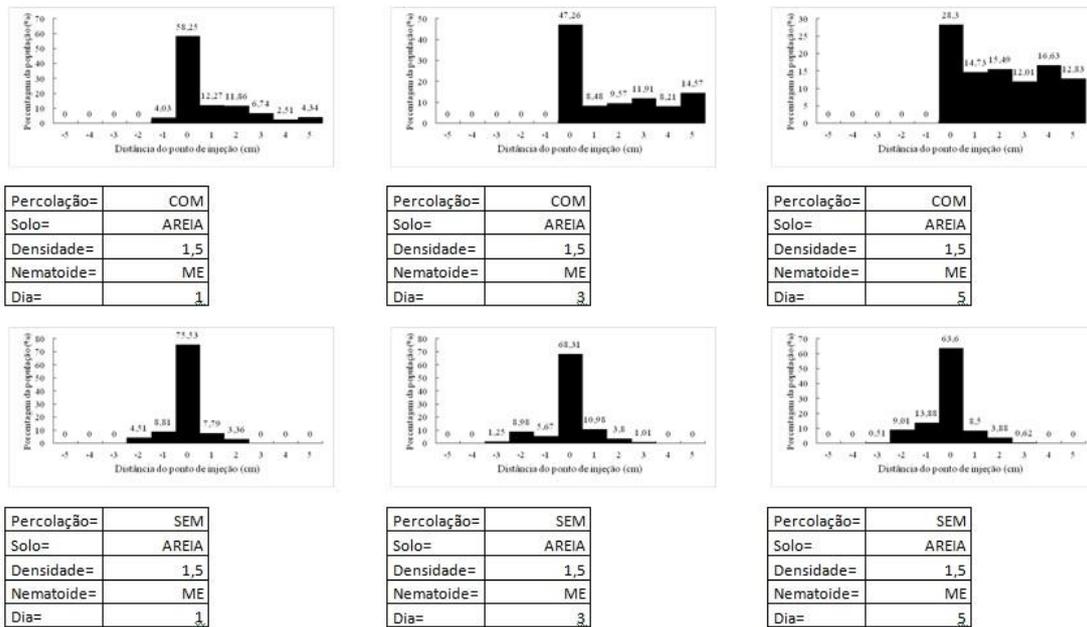
Fonte: Barros (2016)

Figura 25 - Distribuição *Pratylenchus coffeae* em coluna com solo areia, densidade 1,4 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



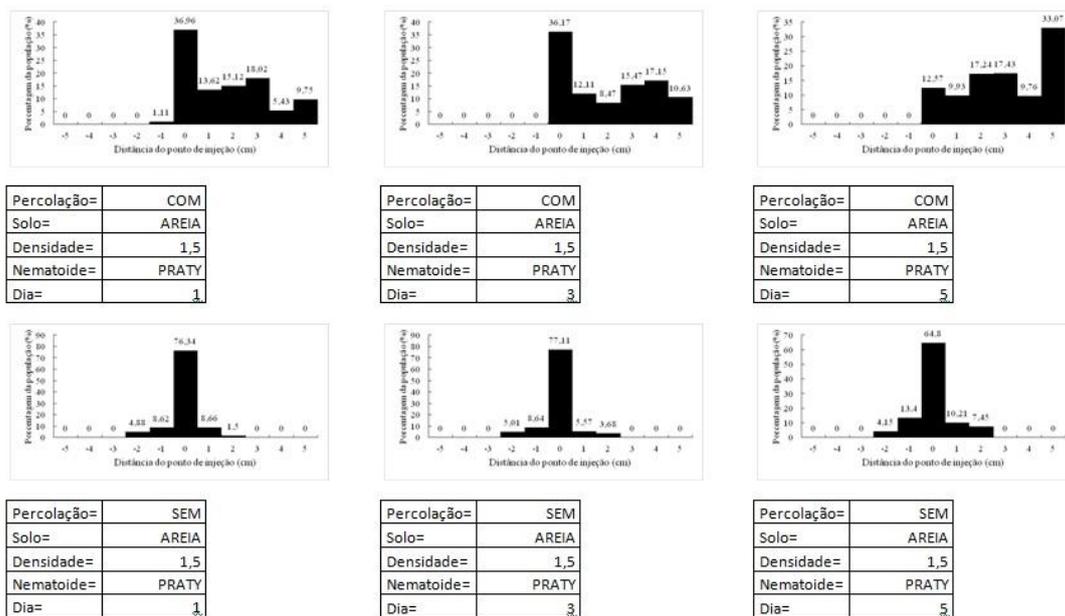
Fonte: Barros (2016)

Figura 26 - Distribuição *Meloidogyne enterolobii* em coluna com areia, densidade 1,5 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



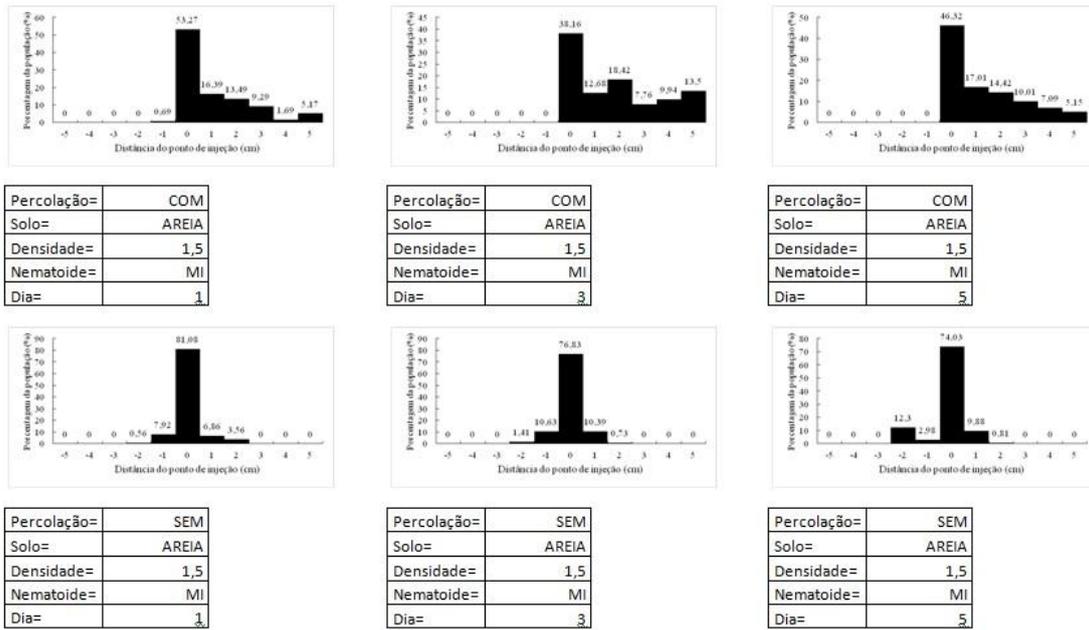
Fonte: Barros (2016)

Figura 27 - Distribuição *Meloidogyne incognita* em coluna com areia, densidade 1,5 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



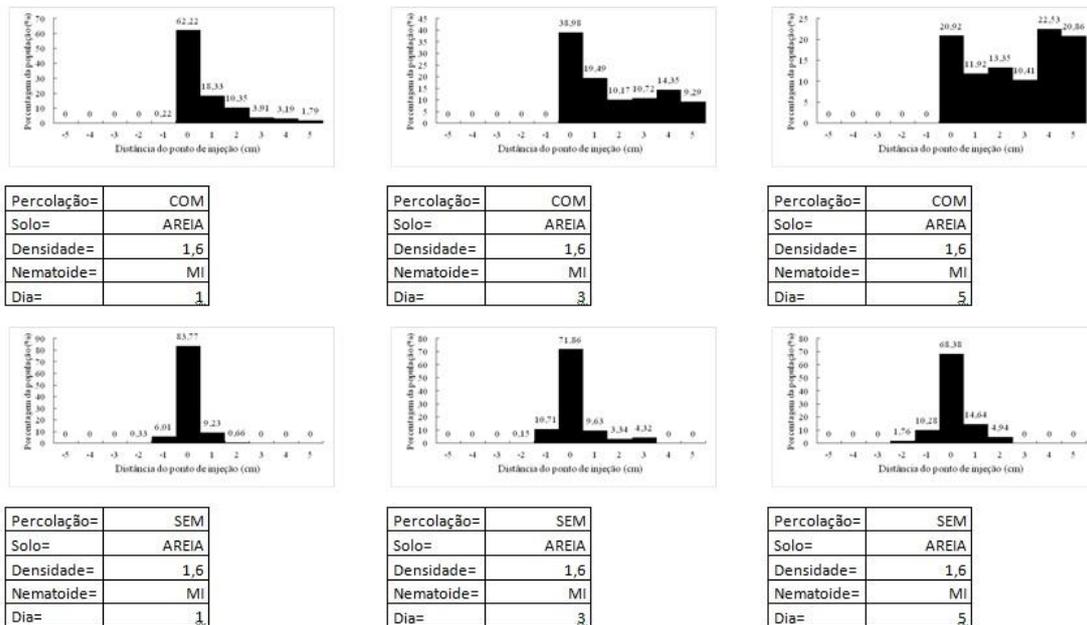
Fonte: Barros (2016)

Figura 28 - Distribuição *Pratylenchus coffeae* em coluna com areia, densidade 1,5 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



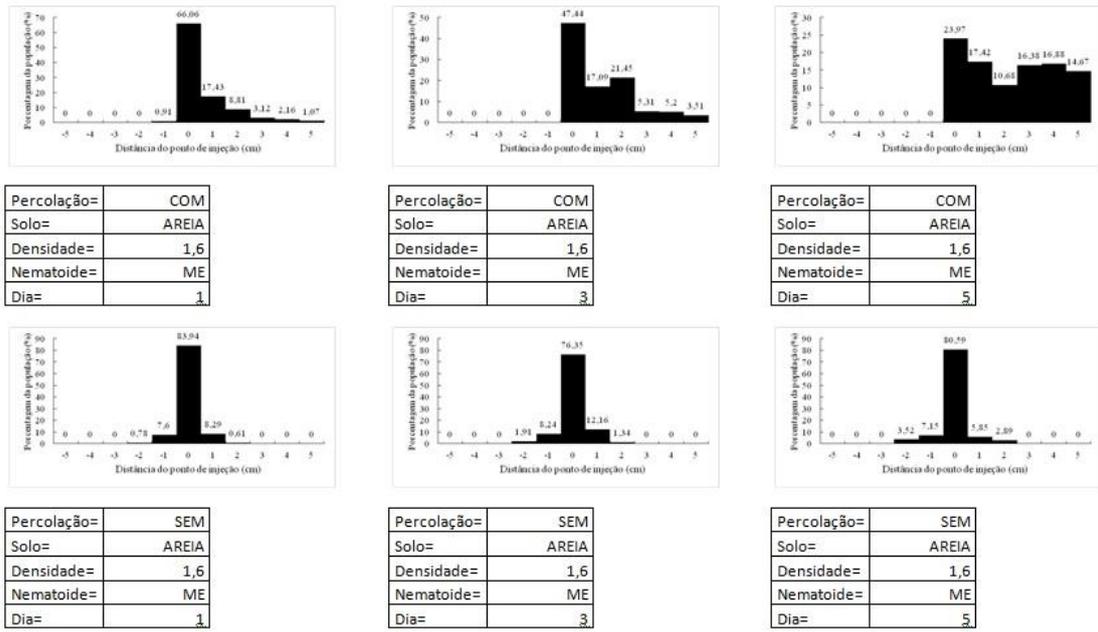
Fonte: Barros (2016)

Figura 29 - Distribuição *Meloidogyne enterolobii* em coluna com areia, densidade 1,6 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



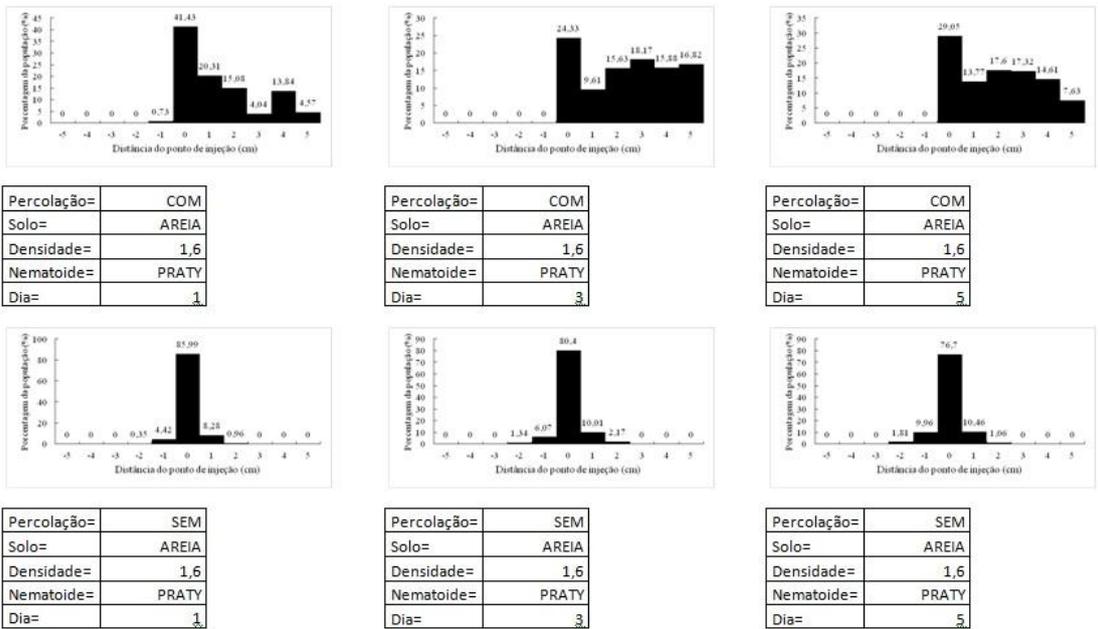
Fonte: Barros (2016)

Figura 30 - Distribuição *Meloidogyne incognita* em coluna com areia, densidade 1,6 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



Fonte: Barros (2016)

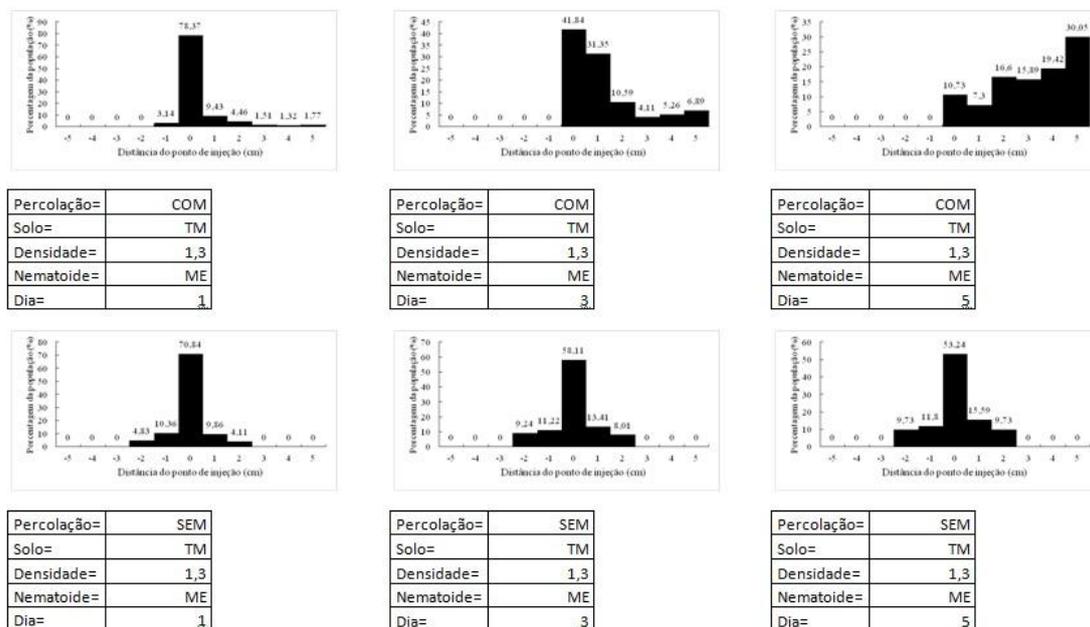
Figura 31 - Distribuição *Pratylenchus coffeae* em coluna com areia, densidade 1,6 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



Fonte: Barros (2016)

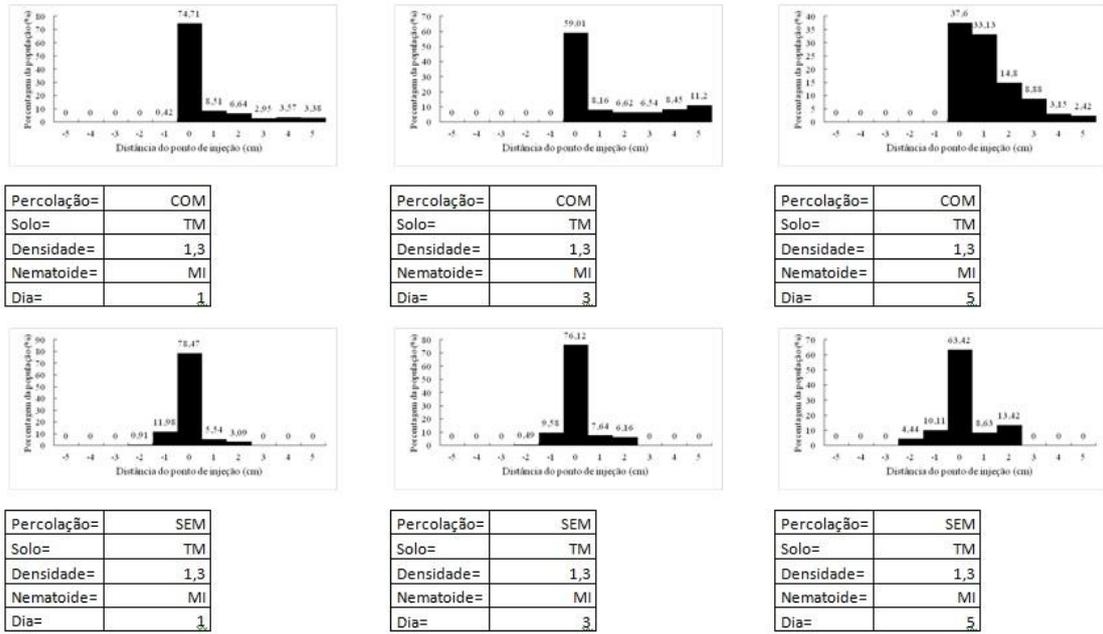
No ensaio com percolação, a localização dos nematoides no ponto de injeção não durou por muito tempo. O segmento que tinha uma maior concentração da população mudou com o passar dos dias. No primeiro dia de injeção, alguns juvenis atingiram a extremidade de fluxo da coluna (5 cm), em areia *M. enterolobii* ( $1,4\text{g/cm}^3 = 1,85\%$ ,  $1,5\text{g/cm}^3 = 4,34\%$ , e  $1,6\text{g/cm}^3 = 1,07\%$ ) (Figuras 23, 26 e 29), *M. incognita* ( $1,4\text{g/cm}^3 = 1,12\%$ ,  $1,5\text{g/cm}^3 = 5,17\%$ , e  $1,6\text{g/cm}^3 = 1,79\%$ ) (Figuras 24, 27 e 30), e *P. coffeae* ( $1,4\text{g/cm}^3 = 2,44\%$ ,  $1,5\text{g/cm}^3 = 9,75\%$ , e  $1,6\text{g/cm}^3 = 4,57\%$ ) (Figuras 25, 28 e 31), solo de textura média *M. enterolobii* ( $1,3\text{g/cm}^3 = 1,77\%$ ,  $1,4\text{g/cm}^3 = 2,16\%$ , e  $1,5\text{g/cm}^3 = 2,18\%$ ) (Figuras 32, 35 e 38), *M. incognita* ( $1,3\text{g/cm}^3 = 3,38\%$ ,  $1,4\text{g/cm}^3 = 1,61\%$ , e  $1,5\text{g/cm}^3 = 1,26\%$ ) (Figuras 33, 36 e 39), e *P. coffeae* ( $1,3\text{g/cm}^3 = 8,57\%$ ,  $1,4\text{g/cm}^3 = 7,15\%$ , e  $1,5\text{g/cm}^3 = 2,26\%$ ) (Figuras 34, 37 e 40) e no argiloso *M. enterolobii* ( $1,1\text{g/cm}^3 = 0,35\%$ ,  $1,2\text{g/cm}^3 = 6,98\%$ , e  $1,3\text{g/cm}^3 = 0,12\%$ ) (Figuras 41, 44 e 47), *M. incognita* ( $1,1\text{g/cm}^3 = 0,16\%$ ,  $1,2\text{g/cm}^3 = 1,29\%$ , e  $1,3\text{g/cm}^3 = 0,12\%$ ) (Figuras 42, 45 e 48) e *P. coffeae* ( $1,1\text{g/cm}^3 = 0,33\%$ ,  $1,2\text{g/cm}^3 = 7,92\%$ , e  $1,3\text{g/cm}^3 = 0,98\%$ ) (Figuras 43, 46 e 49). No entanto nenhuma migração contra o fluxo foi observada nos testes de percolação.

Figura 32 - Distribuição *Meloidogyne enterolobii* em coluna solo de textura media, densidade  $1,3\text{ g/cm}^3$  (Com/sem percolação).



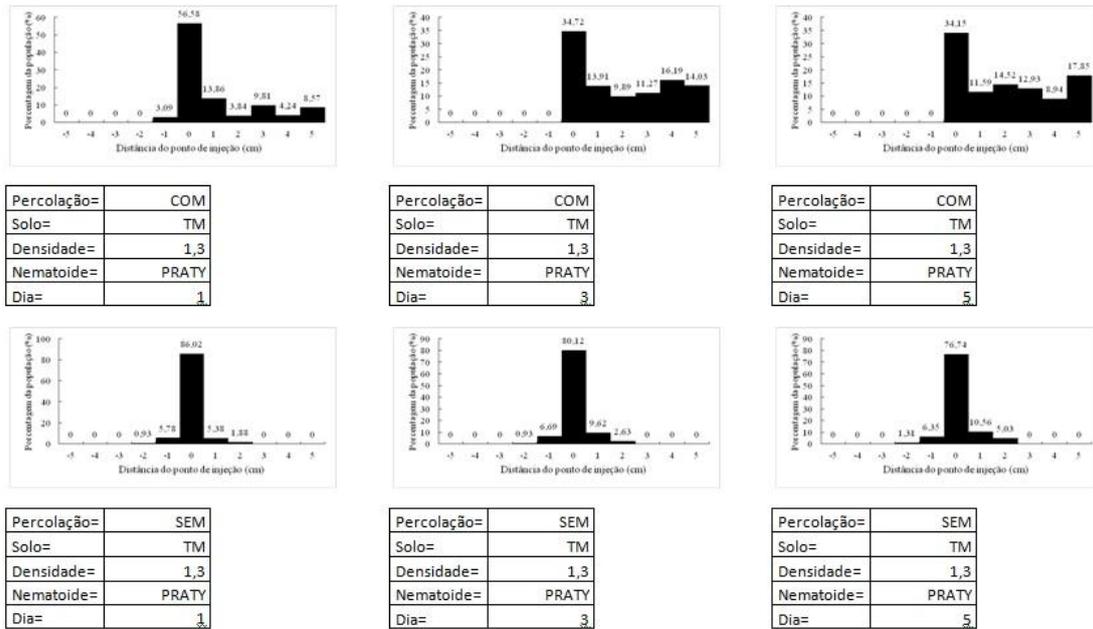
Fonte: Barros (2016)

Figura 33 - Distribuição *Meloidogyne incognita* em coluna solo de textura media densidade 1,3 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



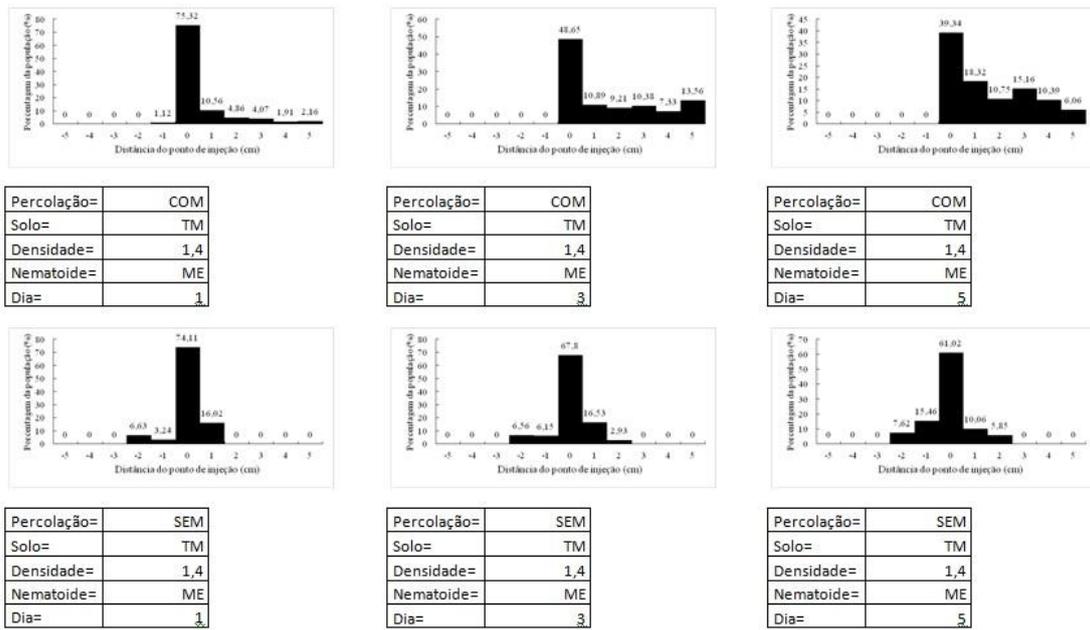
Fonte: Barros (2016)

Figura 34 - Distribuição *Pratylenchus coffeae* em coluna solo de textura media, densidade 1,3 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



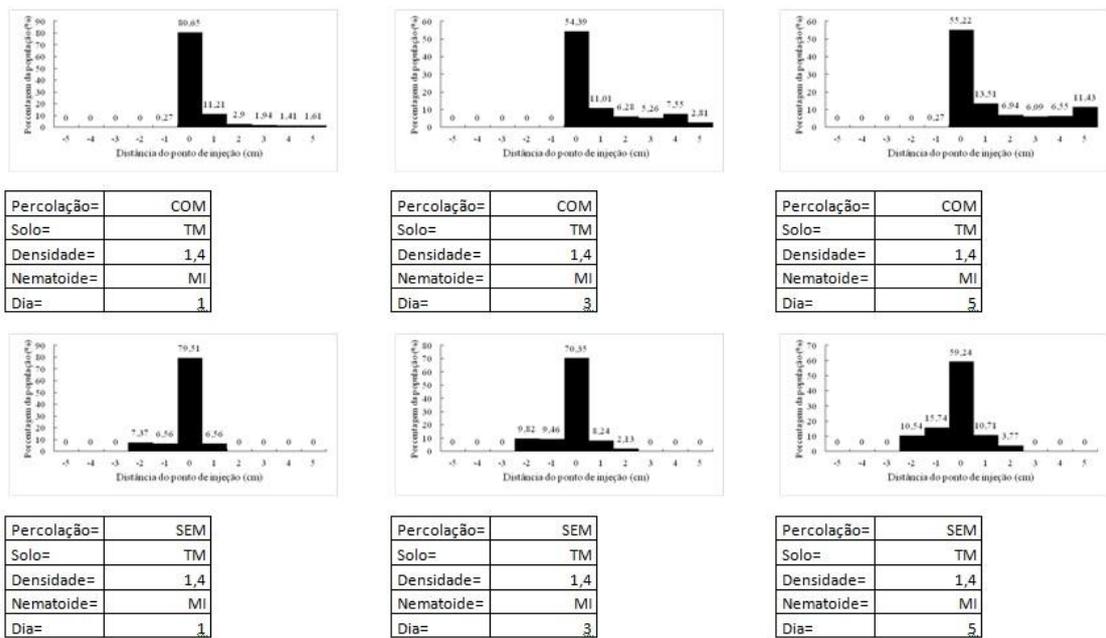
Fonte: Barros (2016)

Figura 35 - Distribuição *Meloidogyne enterolobii* em coluna solo de textura media, densidade 1,4 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



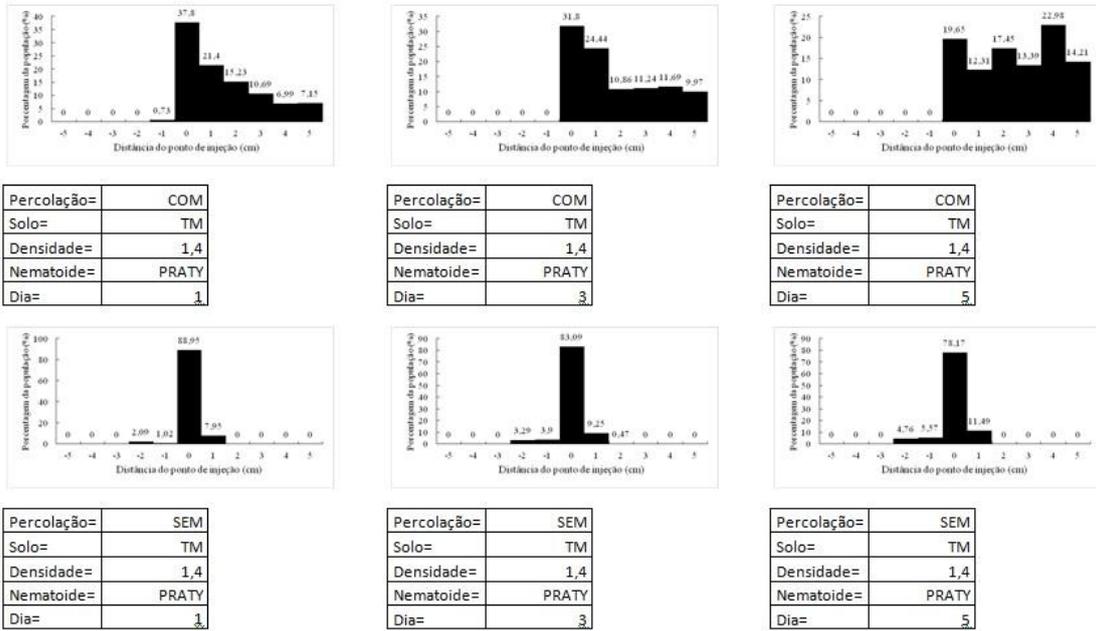
Fonte: Barros (2016)

Figura 36 - Distribuição *Meloidogyne incognita* em coluna solo de textura media densidade 1,4 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



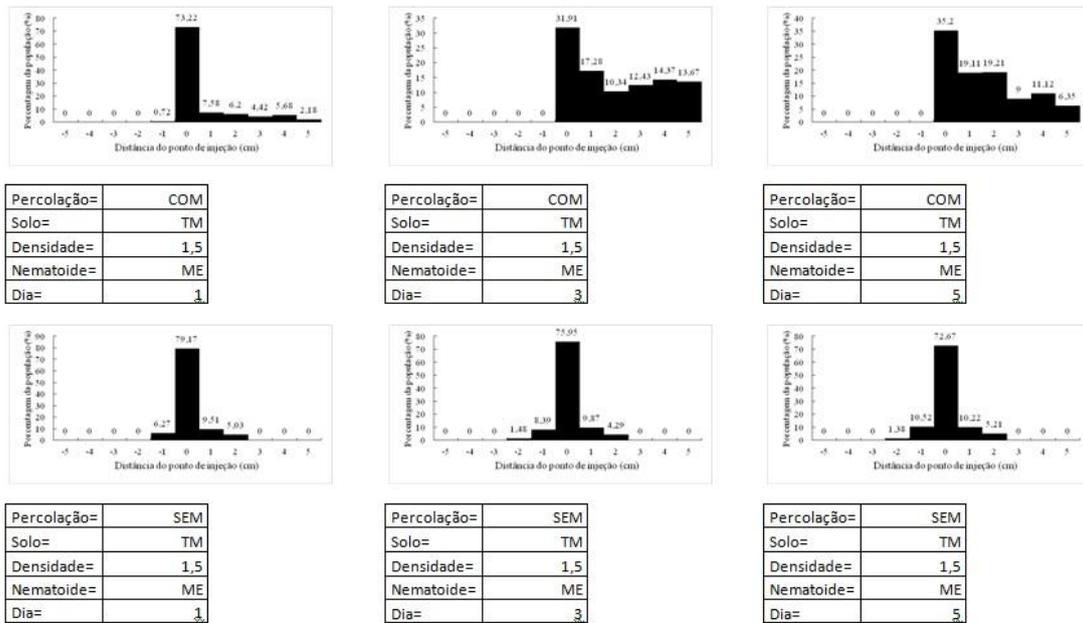
Fonte: Barros (2016)

Figura 37 - Distribuição *Pratylenchus coffeae* em coluna solo de textura media, densidade 1,4 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



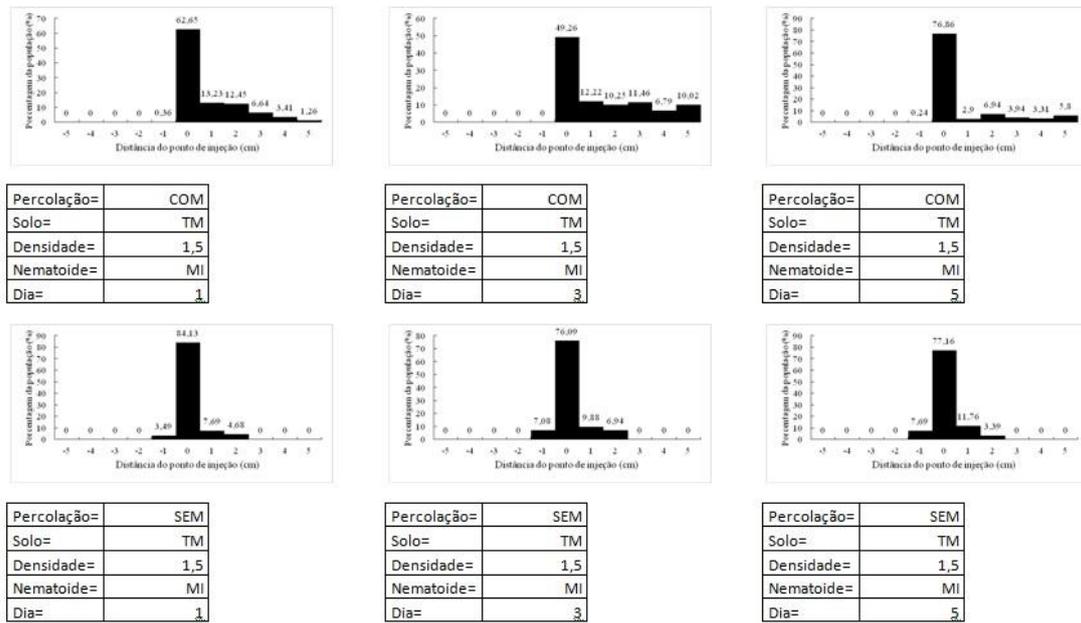
Fonte: Barros (2016)

Figura 38 - Distribuição *Meloidogyne enterolobii* em coluna solo de textura media, densidade 1,5 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).

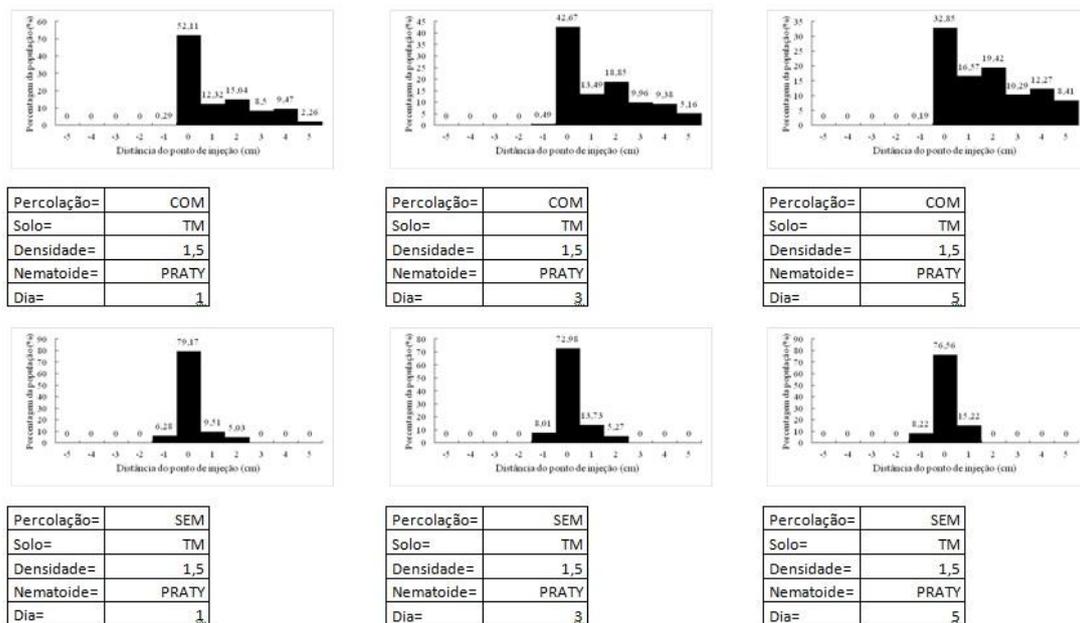


Fonte: Barros (2016)

Figura 39 - Distribuição *Meloidogyne incognita* em coluna solo de textura media, densidade 1,5 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



Fonte: Barros (2016)

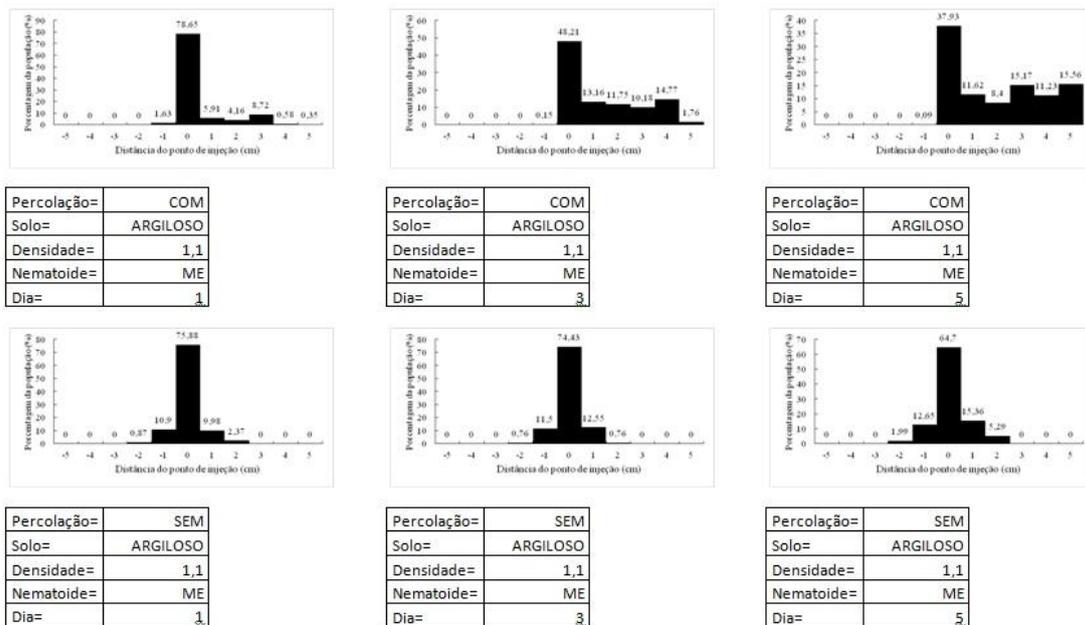


Fonte: Barros (2016)

No ensaio sem percolação, a maioria dos nematoides injetados foram encontrados no ponto de injeção (Figuras 23 a 49). Embora a porcentagem dos juvenis diminuísse com o tempo, muitos entre 45% a 90% dos nematoides foram recuperados a partir da secção no

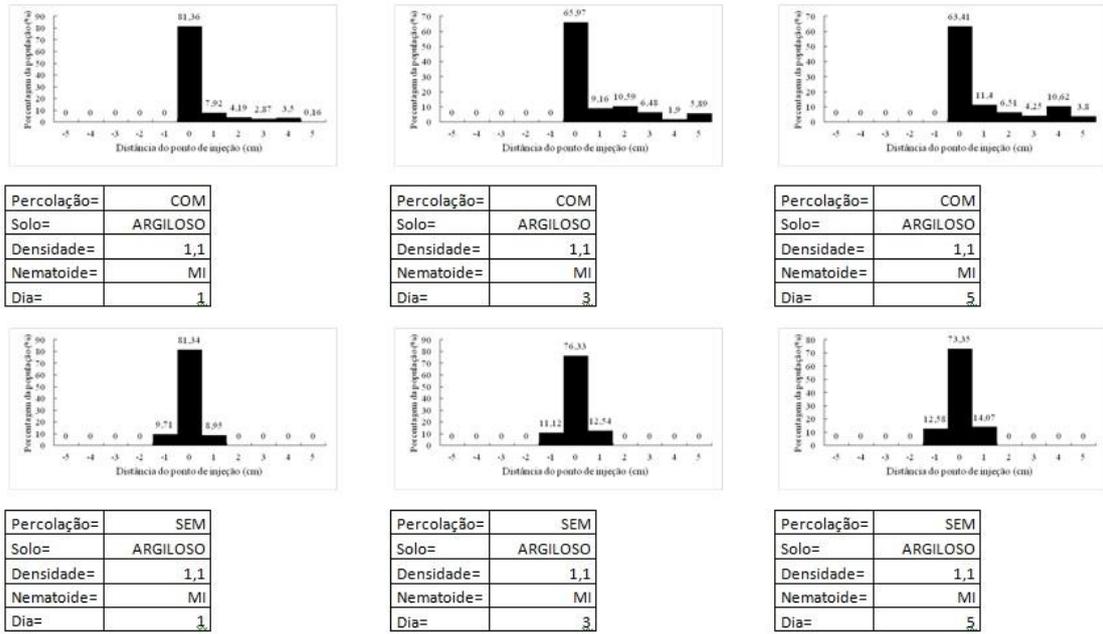
ponto de injeção e os nematoides que se moveram até as extremidades da coluna foram muito poucos até o quinto dia. Dentre as espécies em estudo a que mais se aproximou das extremidades foi *M. enterolobii* 1,05% a -3 cm e 1,37% a + 3 cm (areia na densidade 1,4 g/cm<sup>3</sup>) (Figura 23). e 1,25% a -3 cm e 1,01% a 3 cm (areia na densidade 1,5 g/cm<sup>3</sup>) (Figura 26), as demais se mantiveram no ponto de injeção e/ou entre -2 e +2 cm. O movimento das espécies ocorreu em ambas às direções. Embora as porcentagens das espécies tenham diminuído com o passar dos dias, nenhuma das espécies atingiram as extremidades da coluna.

Figura 41 - Distribuição *Meloidogyne enterolobii* em coluna solo argiloso, densidade 1,1 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



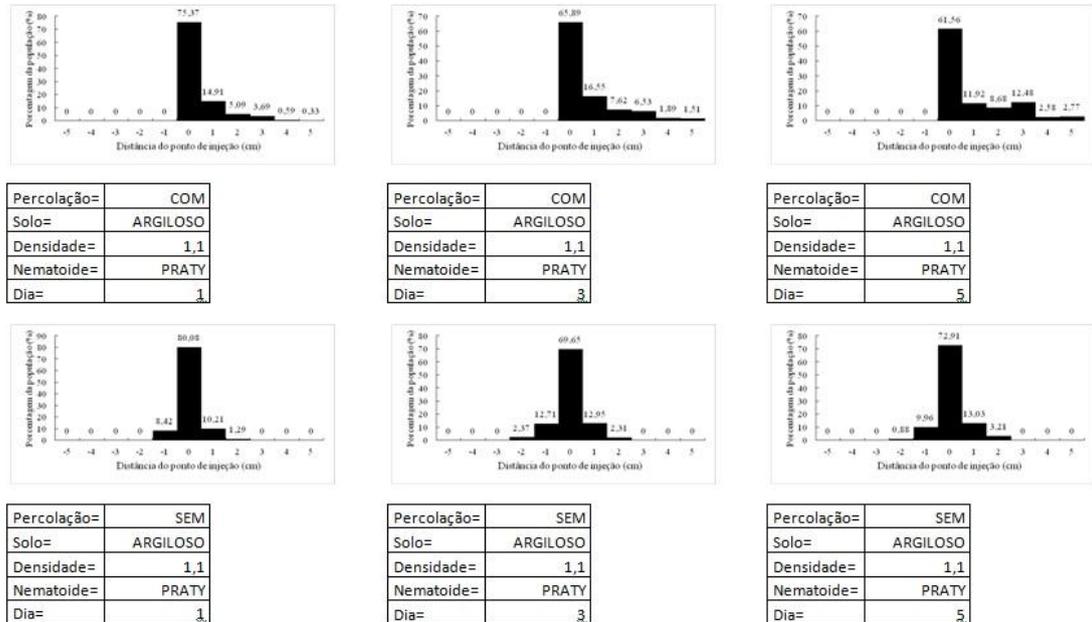
Fonte: Barros (2016)

Figura 42 - Distribuição *Meloidogyne incognita* em coluna com solo argiloso, densidade 1,1 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



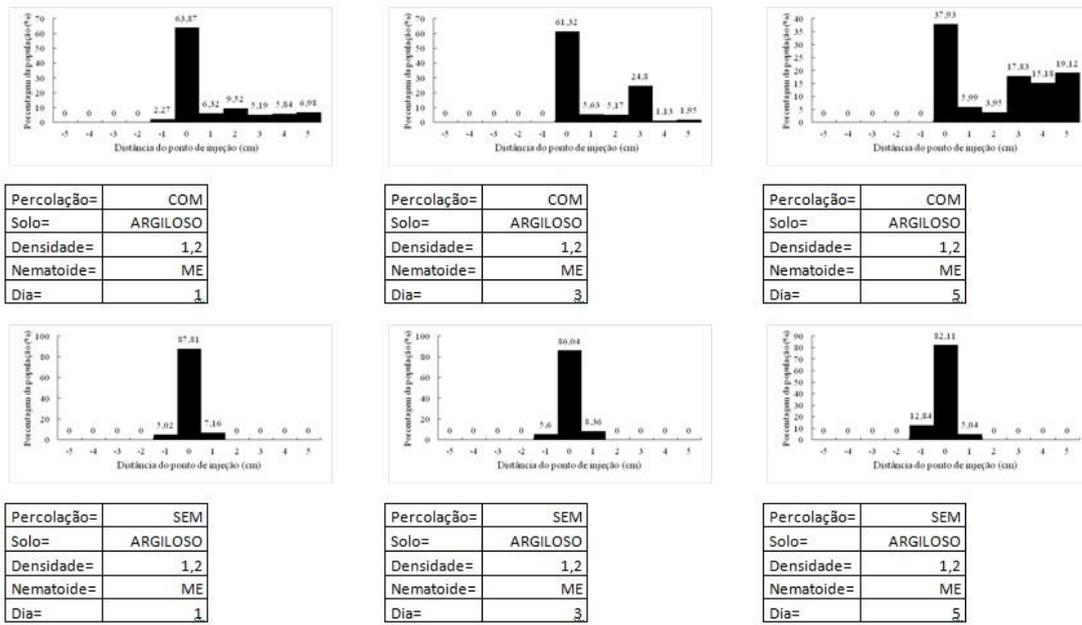
Fonte: Barros (2016)

Figura 43 - Distribuição *Pratylenchus coffeae* em coluna com solo argiloso, densidade 1,1 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



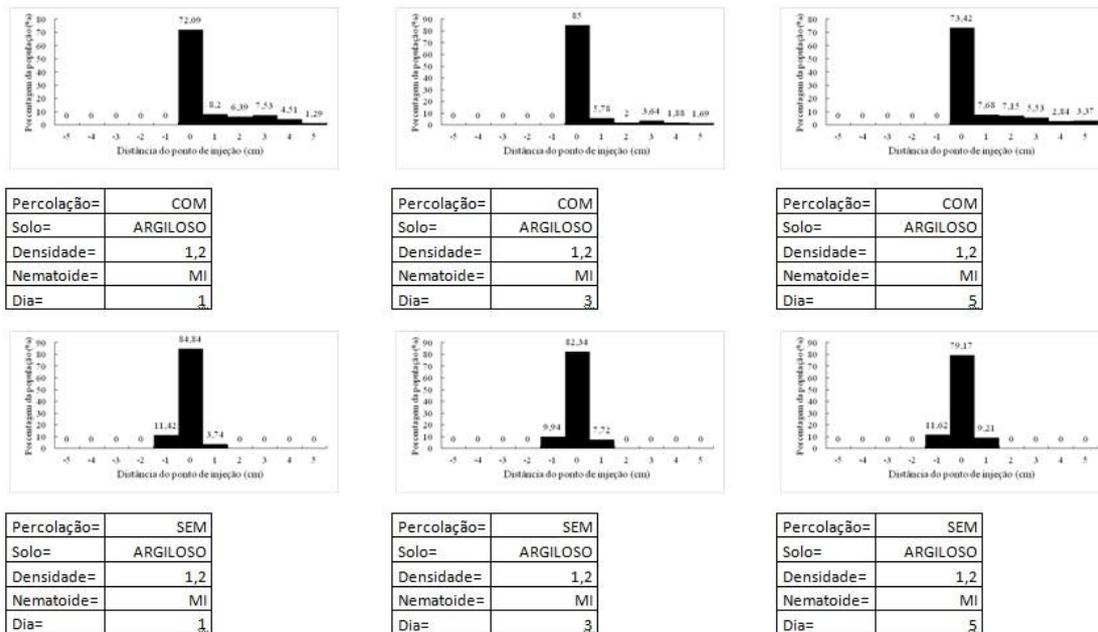
Fonte: Barros (2016)

Figura 44 - Distribuição *Meloidogyne enterolobii* em coluna com solo argiloso, densidade 1,2 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



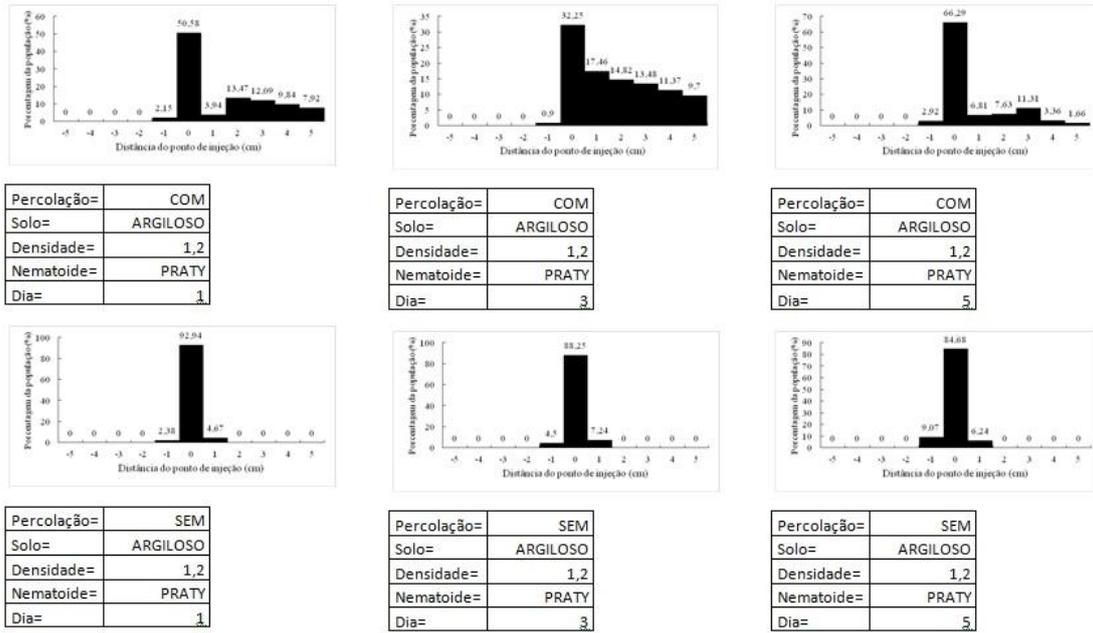
Fonte: Barros (2016)

Figura 45 - Distribuição *Meloidogyne incognita* em coluna com solo argiloso, densidade 1,2 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação)



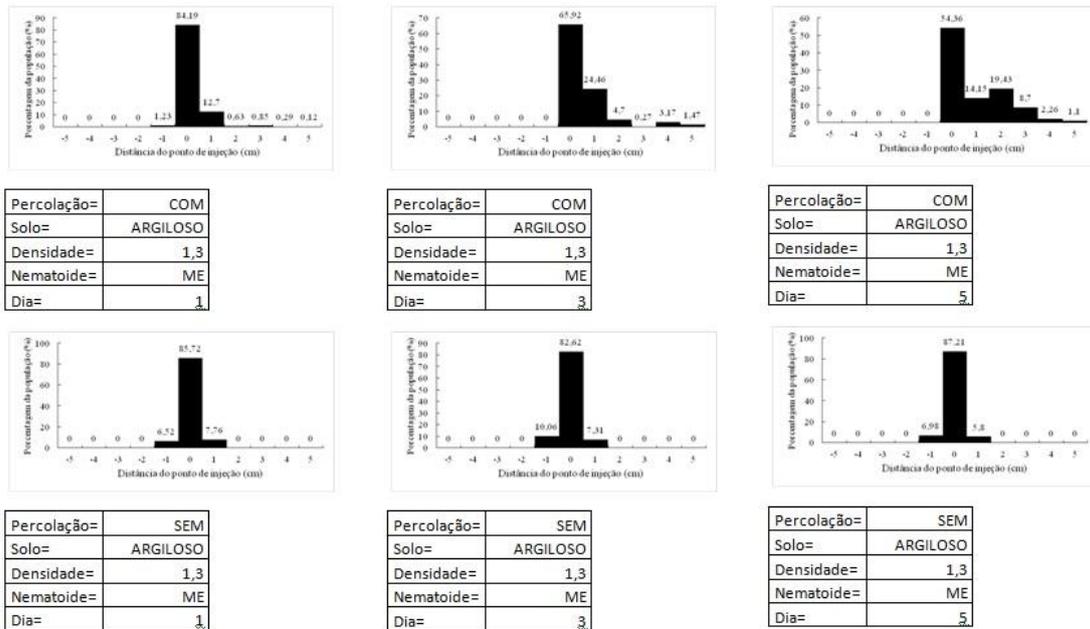
Fonte: Barros (2016)

Figura 46 - Distribuição *Pratylenchus coffeae* em coluna com solo argiloso, densidade 1,2 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



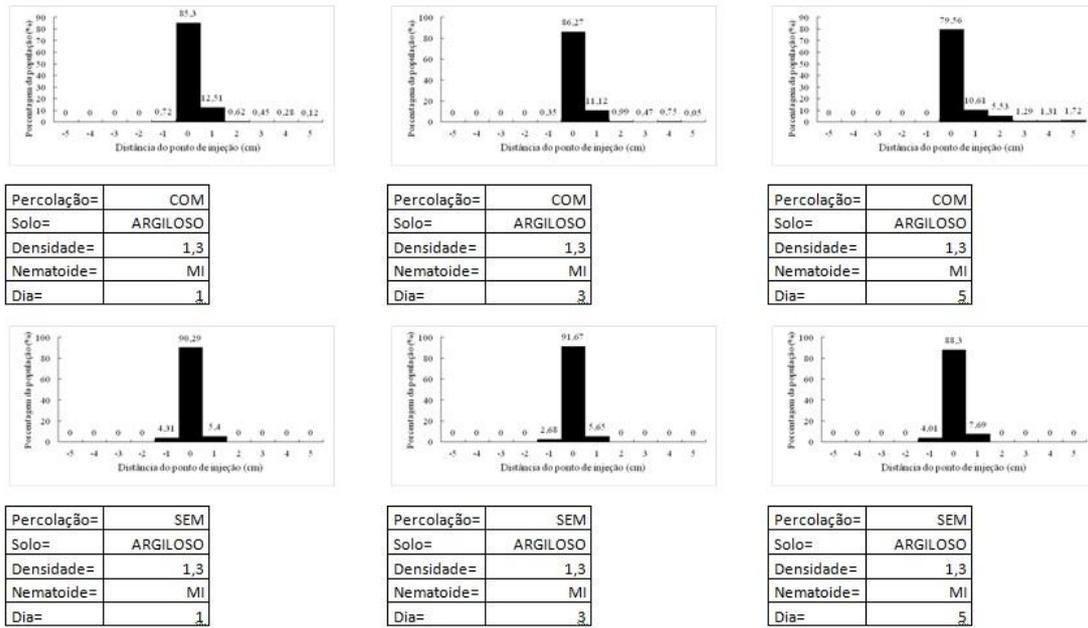
Fonte: Barros (2016)

Figura 47 - Distribuição *Meloidogyne enterolobii* em coluna com solo argiloso, densidade 1,3 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



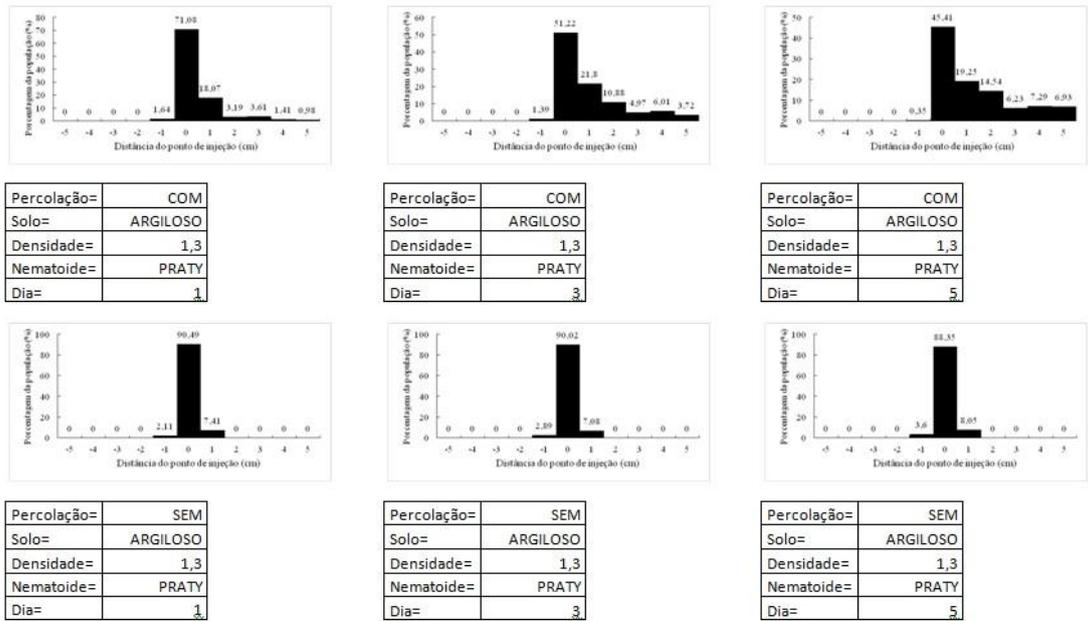
Fonte: Barros (2016)

Figura 48 - Distribuição *Meloidogyne incognita* em coluna com solo argiloso, densidade 1,3 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



Fonte: Barros (2016)

Figura 49 - Distribuição *Pratylenchus coffeae* em coluna com solo argiloso, densidade 1,3 g/cm<sup>3</sup> (Com/sem percolação).



Fonte: Barros (2016)

Para a análise utilizando a razão da verossimilhança considerando todos os efeitos como fixos, o teste F apresenta alta correlação com o teste do Qui-quadrado,  $\chi^2$ , verificado na magnitude dos p-valores de cada distribuição (Tabela 7).

Considerando todo o experimento, e como significativo p-valores menores que 0,05, apenas os efeitos de “percolação” (com e sem) e “nematóide” (*M. enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae*) foram significativos (Tabela 7). O p-valor da fonte de variação “dia” foi pouco maior que o limite de 0,05, contudo, ultrapassou o nível de significância estabelecido e é considerado não significativo a 5% (Tabela 7).

Nenhuma das interações foi significativa, demonstrando que a mobilidade dos nematóides não é uma característica complexa do ponto de vista de previsibilidade quando são adicionados fatores ao modelo (Tabela 7).

Tabela 7 - Estatísticas da “Razão da verossimilhança”. Análise do tipo 3 para as fontes de variação avaliadas.

Fontes de variação	GL numerador	GL denominador	Valor F	Pr > F	$\chi^2$ (a)	Pr > $\chi^2$	
Percolação (P)	1	5286	35,47	<0,0001	35,47	<0,0001	**
Nematóide (N)	2	5286	3,69	0,0250	7,38	0,0250	*
Dia (D)	2	5286	2,80	0,0606	5,61	0,0605	+
Solo (S)	2	5286	0,96	0,3812	1,93	0,3811	
Densidade do solo	6	5286	0,23	0,9662	1,39	0,9662	
S*D	4	5286	0,05	0,9961	0,18	0,9961	
P*S	2	5286	0,16	0,8532	0,32	0,8532	
P*D	2	5286	0,15	0,8627	0,30	0,8627	
P*S*D	4	5286	0,06	0,9930	0,25	0,9930	
S*N	4	5286	0,26	0,9032	1,04	0,9032	
N*D	4	5286	0,04	0,9975	0,14	0,9975	
S*N*D	8	5286	0,07	0,9998	0,59	0,9998	
P*N	2	5286	3,34	0,0356	6,68	0,0355	
P*S*N	4	5286	0,16	0,9607	0,62	0,9607	
P*N*D	4	5286	0,12	0,9738	0,50	0,9738	
P*S*N*D	8	5286	0,09	0,9995	0,71	0,9995	

(a): Qui-quadrado; \*\*: Significativo a 1%; \*: Significativo a 5%; +: Significativo a 10%.

Todas as médias das fontes de variação “dia”, “percolação”, “solo” e “nematóide” diferem de zero, pois os p-valores foram significativos com  $Pr > |z|$  menor que 0,0001, indicando que as médias para todos os níveis dos tratamentos são maiores que zero (Tabela 8). Um dos fatos que faz que a média não se aproxime de zero é que o erro padrão da média foram baixos, indicando um alto controle dos experimentos (Tabela 8).

Tabela 8 - Médias ajustadas, erro padrão da média e teste z para avaliar se a média de dia, percolação, solo e nematóide diferem de zero.

Fonte de Variação	Nível	Média	Erro padrão da média	valor z	Pr >  z
Dia	1	4,0162	0,06584	61,00	<0,0001
	3	3,8951	0,06586	59,15	<0,0001
	5	3,7963	0,06587	57,64	<0,0001
Percolação	Com	3,6745	0,05381	68,28	<0,0001
	Sem	4,1306	0,05378	76,81	<0,0001
Solo	S3	3,9720	0,06585	60,32	<0,0001
	S1	3,8446	0,06586	58,38	<0,0001
	S2	3,8910	0,06585	59,09	<0,0001
Nematóide <sup>(a)</sup>	ME	3,9376	0,06587	59,78	<0,0001
	MI	4,0091	0,06587	60,86	<0,0001
	PC	3,7609	0,06589	57,07	<0,0001

Fonte: Barros (2016)

(a): ME: *Meloidogyne enterolobii*; MI: *M. incognita*; PC: *Pratylenchus coffeae*

Com relação às médias ajustadas do aninhamento da densidade aninhado nos tipos de solo todas diferem de zero, uma vez que  $Pr > |z|$  menor que 0,0001 (Tabela 9). O Erro padrão das médias foi baixo que comprava o bom controle experimental (Tabela 9).

Tabela 9 - Médias ajustadas (*lsmeans*), erro padrão da média, e teste z para avaliar se as médias de densidade aninhada em tipos de solos diferem de zero.

Solo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Média	Erro padrão da média	valor z	Pr >  z
S3	1,4	3,9167	0,1144	34,25	<0,0001
S3	1,5	4,0040	0,1142	35,06	<0,0001

Solo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Média	Erro padrão da média	valor z	Pr >  z
S3	1,6	3,9954	0,1142	35,00	<0,0001
S1	1,4	3,8304	0,1142	33,54	<0,0001
S1	1,5	3,7940	0,1143	33,21	<0,0001
S1	1,6	3,9093	0,1142	34,24	<0,0001
S2	1,1	3,8285	0,1142	33,53	<0,0001
S2	1,2	3,9424	0,1141	34,55	<0,0001
S2	1,3	3,9022	0,1141	34,19	<0,0001

Fonte: Barros (2016)

Comparando os experimentos com e sem percolação, há uma diferença estatística grande, com Pr > |z| menor que 0,0001, indicando que na presença do fluxo os nematoides são arrastados e portanto é recuperando uma quantidade menor (Tabela 10).

Para os tipos de solo não houve diferença na mobilidade dos nematoides, ou seja, não importa se o solo é composto de areia ou argila (Tabela 10). Resultado adverso foi encontrado por Pazhavarical (2009) ao avaliar o movimento de *M. javanica* e *P. thornei* em solo argiloso, argilo-arenoso e areia, aos 3, 6 e 10 dias após a inoculação. Segundo o autor, o maior número das espécies foi encontrado em areia, mesmo com o passar dos dias, demonstrando que foi mais apropriada para o nematoide infectar o hospedeiro. Fujimoto et al. (2010) observaram também que a mobilidade de nematoides em areia era sempre maior do que em Andisol tanto em ensaio de percolação como sem percolação.

Tabela 10 - Contrastes pelo teste z das médias ajustadas (*lsmeans*) para as fontes de variação dia, percolação, solo e nematoide

Fonte de variação			Média	Erro padrão da média	valor z	Pr >  z		
Dia	1	vs	3	0,1212	0,09313	1,30	0,1932	
	1	vs	5	0,2200	0,09313	2,36	0,0182	*
	3	vs	5	0,0988	0,09315	1,06	0,2888	
Percolação	Com	vs	Sem	-0,4562	0,07612	-5,99	<0,0001	**
Solo	S3	vs	S1	0,1275	0,09313	1,37	0,1711	
	S3	vs	S2	0,0810	0,09313	0,87	0,3843	

Fonte de variação				Média	Erro padrão da média	valor z	Pr >  z
	S1	vs	S2	-0,0465	0,09313	-0,50	0,6179
	ME	vs	MI	-0,0715	0,09316	-0,77	0,4428
Nematoide <sup>(a)</sup>	ME	vs	PC	0,1767	0,09318	1,90	0,0579 +
	MI	vs	PC	0,2482	0,09320	2,66	0,0077 **

Fonte: Barros (2016)

\*\* : Significativo a 1%; \* : Significativo a 5%; + : Significativo a 10%. (a): ME: *Meloidogyne enterolobii*; MI: *Meloidogyne incognita*; PC: *Pratylenchus coffeae*.

Ocorreram diferenças estatísticas entre os nematoides *M. incognita* e *P. coffeae* mostrando que o *M. incognita* é menos lixiviado que o *P. coffeae* (Tabela 8 e Tabela 10). Comparando *M. enterolobii* com *M. incognita*, não há diferenças estatísticas, contudo, o p-valor é baixo 0,0579 (Tabela 10).

Comparando o aninhamento das densidades dentro dos tipos de solo, não há diferenças, ou seja, qualquer tipo de solo em conjunto com qualquer densidade não influenciou na mobilidade do nematoide (Tabela 11). Este fato pode estar relacionado ao deslocamento dos nematoides em ensaios sem percolação em que a maior distribuição das espécies permaneceu no ponto de injeção.

Tabela 11 - Contrastes pelo teste z das médias ajustadas (*lsmeans*) para densidade aninhada em tipos de solos

Solo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		Solo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Média	Erro padrão da média	valor z	Pr >  z
S3	1,4	vs	S3	1,5	-0,08725	0,1619	-0,54	0,5899
S3	1,4	vs	S3	1,6	-0,07862	0,1618	-0,49	0,6270
S3	1,4	vs	S1	1,4	0,08631	0,1616	0,53	0,5933
S3	1,4	vs	S1	1,5	0,12280	0,1617	0,76	0,4475
S3	1,4	vs	S1	1,6	0,00747	0,1616	0,05	0,9631
S3	1,4	vs	S2	1,1	0,08828	0,1616	0,55	0,5849
S3	1,4	vs	S2	1,2	-0,02569	0,1615	-0,16	0,8737
S3	1,4	vs	S2	1,3	0,01458	0,1616	0,09	0,9281
S3	1,5	vs	S3	1,6	0,00863	0,1615	0,05	0,9574

Solo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		Solo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Média	Erro padrão da média	valor z	Pr >  z
S3	1,5	vs	S1	1,4	0,17360	0,1615	1,07	0,2826
S3	1,5	vs	S1	1,5	0,21000	0,1615	1,30	0,1936
S3	1,5	vs	S1	1,6	0,09472	0,1615	0,59	0,5575
S3	1,5	vs	S2	1,1	0,17550	0,1615	1,09	0,2771
S3	1,5	vs	S2	1,2	0,06156	0,1614	0,38	0,7030
S3	1,5	vs	S2	1,3	0,10180	0,1615	0,63	0,5283
S3	1,6	vs	S1	1,4	0,16490	0,1615	1,02	0,3071
S3	1,6	vs	S1	1,5	0,20140	0,1615	1,25	0,2124
S3	1,6	vs	S1	1,6	0,08609	0,1615	0,53	0,5939
S3	1,6	vs	S2	1,1	0,16690	0,1615	1,03	0,3013
S3	1,6	vs	S2	1,2	0,05293	0,1614	0,33	0,7430
S3	1,6	vs	S2	1,3	0,09320	0,1614	0,58	0,5637
-----								
S1	1,4	vs	S1	1,5	0,03647	0,1617	0,23	0,8215
S1	1,4	vs	S1	1,6	-0,07884	0,1615	-0,49	0,6255
S1	1,4	vs	S2	1,1	0,00197	0,1615	0,01	0,9903
S1	1,4	vs	S2	1,2	-0,11200	0,1614	-0,69	0,4878
S1	1,4	vs	S2	1,3	-0,07173	0,1615	-0,44	0,6569
S1	1,5	vs	S1	1,6	-0,11530	0,1616	-0,71	0,4756
S1	1,5	vs	S2	1,1	-0,03450	0,1615	-0,21	0,8309
S1	1,5	vs	S2	1,2	-0,14850	0,1615	-0,92	0,3579
S1	1,5	vs	S2	1,3	-0,10820	0,1615	-0,67	0,5029
S1	1,6	vs	S2	1,1	0,08081	0,1615	0,50	0,6168
S1	1,6	vs	S2	1,2	-0,03316	0,1614	-0,21	0,8372
S1	1,6	vs	S2	1,3	0,00711	0,1614	0,04	0,9649
-----								
S2	1,1	vs	S2	1,2	-0,11400	0,1615	-0,71	0,4804
S2	1,1	vs	S2	1,3	-0,07370	0,1615	-0,46	0,6483
S2	1,2	vs	S2	1,3	0,04027	0,1614	0,25	0,8030

Fonte: Barros (2016)

O J2 é móvel e infectivo, migra no solo à procura de raízes da planta hospedeira, atraídos por exsudados radiculares. As plantas exercem atração sobre esses nematoides através de compostos orgânicos presentes em exsudados, secreções e mucilagens liberados pelas raízes, os quais são perceptíveis aos órgãos sensoriais dos fitonematoides (DROPKIN, 1976; PERRY; AUMANN, 1998). As substâncias atrativas exsudadas pela raiz da planta hospedeira formam um gradiente de concentração na solução do solo, orientando a migração dos nematoides em direção à raiz (VIRGLIERCHIO, 1961; LAVALLEE; ROHDE, 1962). Considerando que no presente estudo não teve a presença exsudados radiculares, os nematoides não foram estimulados a se moverem.

Os nematoides constituem um sério problema para a agricultura mundial pelo grande potencial de infecção e danos às culturas. A água é um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas e desempenha um papel crucial na circulação e dispersão de nematoides, sendo necessário apenas um filme de água para a movimentação do nematoide no solo. Os nematoides, por outro lado, pode resistir ao movimento ou escapar do fluxo de água no solo, o que pode afetar infecção das plantas hospedeiras. Os experimentos com e sem percolação indicaram que, na presença do fluxo, os nematoides são arrastados. Entretanto, dentre as espécies estudadas, *M. incognita* foi a menos lixiviada, demonstrando que em condições de campo, através da chuva ou irrigação, tem uma maior resistência ao fluxo.

## 6 CONCLUSÕES

1. O aumento da vazão no intervalo de 5 a 40 mL/min aumenta a quantidade de nematoides lixiviados. A vazão é diretamente proporcional à mobilidade dos nematoides;
2. *Meloidogyne enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae* têm mobilidade diferente, principalmente quando vivos;
3. O tipo de solo (Areia, textura média e argilosa) influencia a mobilidade do nematoide, contudo, em solos argilosos a mobilidade de nematoides vivos assemelha-se à mobilidade dos nematoides mortos;
4. A mobilidade dos nematoides tende a crescer com o aumento do teor de areia e diminuição da densidade do solo. Em contraposição, em solos argilosos com densidade variando de 1,1 a 1,3 (g/cm<sup>3</sup>) o movimento dos nematoides é quase nulo;
5. O modelo linear generalizado com distribuição binomial negativa e ligação log é adequado para estudar a mobilidade dos nematoides;
6. A percolação afeta a mobilidade de *M. enterolobii*, *M. incognita* e *P. coffeae*;
7. Na presença do fluxo os nematoides são arrastados;
8. *Meloidogyne incognita* é menos lixiviado que o *P. coffea*.

## REFERÊNCIAS

- ABALLAY, E. **Evaluación y validación del comportamiento de portainjertos de vida diferentes poblaciones de nematodos fitoparásitos em plantaciones comerciales de más de tres años.** Santiago: Fundación para la Innovación Agraria; Ministerio de Agricultura de Chile, 2007. 144 p. Informe Técnico Final, proyecto FIA-PI-C-2005-1-A-082.
- ADL, S. M. Motility and migration rate of protozoa in soil columns. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 700, 2007.
- AGRIOS, G. N. Fitopatología. 5. Ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2008. 948 p.
- AKAIKE, H. **A new look at the statistical model identification.** 1974. Disponível em: <[http://www.unt.edu/rss/class/Jon/MiscDocs/Akaike\\_1974.pdf](http://www.unt.edu/rss/class/Jon/MiscDocs/Akaike_1974.pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2016.
- ALEKSEEV, E.; GLAZER, I.; SAMISH, M. Effect of texture and moisture on the activity of entomopathogenic nematodes against female *Boophilus annulatus* ticks. **BioControl**, Dordrecht, v. 51, p. 507-518, 2006.
- ARÉVALO, G. E. et al. **Dinámica poblacional de nematodos asociados al sistema de cultivo tradicional de cacao en la amazonia peruana.** Rio Branco: Pan-Amazónico - Taller sobre Biodiversidad del Suelo, 2007. Disponível em: <[http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeSolo/pdf/resumos/Painel2\\_A\\_revalosE.pdf](http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeSolo/pdf/resumos/Painel2_A_revalosE.pdf)>. Acesso em: 9 out. 2015.
- ARRAES, F. D. D. **Modelagem bidimensional do movimento da água em condições de solo não saturado.** 2014. 86f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ASMUS, G. L.; INOMOTO M. M. Manejo de nematoides. In: FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil.** Brasília, DF: ABRAPA, 2007. cap. 15, p 551-580.
- AVENDAÑO, F. et al. Spatial variability. The spatial distribution of soybean cyst nematode in relation to soil texture and soil map unit. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 181-194, 2004.
- AVI, P. C. **Modelo semi-empírico para a modelagem da transferência simultânea de calor e água no solo.** 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- BAERMANN, G. Eine einfache methode zur auffindung von Anchylostomum-(Nematoden)-Larven in Erdproben. **Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde**, Amsterdam, v. 57, p. 131-137, 1917.
- BASU, S. D. Eelworms: a progress report on a few more groups found in N.E. Indian Tea Soils. **Two and a Bud**, Assam, India, v. 15, p. 70-71, 1968.
- BEAR, J.; BACHMAT, Y. (Ed.). **Introduction to modeling of transport phenomena in porous media.** Norwell: Kluwer Academic, 1990. 553 p.

BEAR, J. (Ed.). **Hydraulics of groundwater**. New York: McGraw-Hill, 1979. 569 p.

BEHN, J. L. **Comparison of methods and corn root types for efficient extraction of endoparasitic nematodes**. 2012. 113 f. Theses (Dissertations in Agronomy and Horticulture) – University of Nebraska - Lincoln.

BEZERRA, A. H. F. **Modelagem do movimento de água no solo sob condições de irrigação por gotejamento superficial considerando absorção radicular e evaporação de água do solo**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

BIRD, A. F. The inducement of giant cells by *Meloidogyne javanica*. **Nematologica**, Leiden, v. 8, p. 1-10, 1962.

BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificações do método de Hussey; Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, p. 533, 1981.

BOUWMAN, L. A.; ARTS, W. B. M. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. **Applied Soil Ecology**, v. 14, p. 213-222, 2001.

BRODIE, B. B. Vertical distribution of three nematode species in relation to certain soil properties. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 8, p. 243-247, 1976.

CADET, P.; BERRY, S. D.; SPAULL, V. W. Mapping of interactions between soil factors and nematodes. **European Journal of Soil Biology**, v. 40, p. 77-86, 2004.

CAMPOS, V. P. (Ed.). **Manejo de doenças causadas por fitonematoides**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 124 p.

CANESIN, A. **Avaliação de nematoides entomopatogênicos (Rhabditida: Steinernematidae; Heterorhabditidae) no controle de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e do gorgulho-da-goiaba (Coleoptera: Curculionidae)**. 2011. 116 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzima dos nematóides das galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 25, p. 35-44, 2001.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management. **Nematology Monographs and Perspectives**, Brill Leiden-Boston, The Netherlands-USA, 2007, cap 6, 529 pp.

CHARCHAR, J. M. et al. Ocorrência de *Meloidogyne mayaguensis* em goiabeira no estado de Tocantins. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, n. 2, p. 182-186, 2009.

- CHITWOOD, B. G. Root-Knot Nematodes – Part I. A revision of the genus *Meloidogyne Goeldi*, 1887. **Proceedings of the Helminthological Society of Washington**, Washington, Estados Unidos, v. 16, p. 90-104, 1949.
- CHRISTOPHERS, A. E. P. et al. A rapid field-laboratory bioassay to assess the infectivity of *Meloidogyne* spp. second stage juveniles. **Nematologica**, Leiden, v. 43, p. 117-120, 1997.
- CLASSES of phylum nemata. 2007. Disponível em: <<http://plpnemweb.ucdavis.edu/nemaplex/taxadata/Classes.htm>>. Acesso em: 24 jan. 2016.
- CROLL, N. A. Energy utilization of infective *Ancylostoma tubaeforme* larvae. **Parasitology**, New York, v. 64, p. 355-365, 1972.
- CROLL, N. A. The mechanism of orientation in nematodes. **Nematologica**, Leiden, v. 13, n. 1, p. 17-22, 1967.
- DABIRÉ, K. R.; MATEILLE, T. Soil texture and irrigation influence the transport and the development of *Pasteuria penetrans*, a bacterial parasite of root-knot nematodes. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 36, p. 539-543, 2004.
- DARBY, B. J. **Influence of altered temperature and precipitation on desert microfauna and their role in mediating soil nutrient availability**. 2008. 191 f. Tese (Doutorado em Plant and Soil Science) – University of Vermont, Burlington, United States.
- DIAS, W. P. et al. Nematóides. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (Ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações como manejo do solo e da cultura**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2010, cap. 7, p. 173-206.
- DROPKIN, V. H. Nematode parasites of plants, their ecology and the process of infection. In: HEITEFUSS, R.; WILLIAMS, P. H. (Ed.). **Physiological Plant Pathology**. Berlin: Springer Verlag, 1976. v. 4, p. 222-246.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF, 2006. 306 p.
- ENDO, B. Y. Responses of root-lesion nematodes. *Pratylenchus brachyurus* and *P. zaeae*, to various plants and soil types. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 49, p. 417-421, 1959.
- ENGLER, M. P. C. **Desenvolvimento de metodologia para a determinação da mobilidade de água no solo**. 2007. 69 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ESQUIVEL, A. Influencia del suelo sobre las poblaciones de nematodos. In: X CONGRESO NACIONAL AGRONÓMICO Y DE RECURSOS NATURALES, 10., 1996, San José, Costa Rica. Available at: <[http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_X/a50-2388-III\\_057.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_X/a50-2388-III_057.pdf)>. Accedido el: 1 nov. 2015.
- FAJARDO P. M.; ABALLAY E. E.; CASANOVA P. M. Soil properties influencing phytoparasitic nematode population on Chilean vineyards. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, Chile, v. 71, p. 240-248, 2011.

FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematoides. In: BERGAMIN FILHO, A. B.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ceres, 1995. v. 1, p. 168-201.

FERRIS, J. M.; FERRIS, V. R. Biology of plant-parasitic nematodes. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAM, G. L. (Ed.). **Plant and nematode interactions**. Madison: American Society of Agronomy, 1998. p. 21-35.

FETTER, C. W. (Ed.). **Applied hydrogeology**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 681 p.

FOSU-NYARKO, J.; JONES, M. G. K. Advances in Understanding the Molecular Mechanisms of Root Lesion Nematode Host Interactions. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, Califórnia, Estados Unidos, v. 54, p. 253-278, 2016.

FRECKMAN, D. W.; CASWELL, E. P. The ecology of nematodes in agroecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 23, p. 275-296, 1985.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice-Hall, 1979. 604 p.

FREIRE, F. das C. O.; MARTINS, M. V. V.; CARDOSO, J. E. **Doenças emergentes da ata ou pinha (*Annona Squamosa* L.) no Estado do Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. 169 p. (Comunicado Técnico, 169).

FUJIMOTO, T. et al. Effect of water flow on the mobility of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in columns filled with glass beads, sand or andisol. **Applied Soil Ecology**, v. 43, p. 200-205, 2009.

FUJIMOTO, T. et al. The effect of soil water flow and soil properties on the motility of second-stage juveniles of the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 1065-1072, 2010.

GARCÍA DEL PINO, F. **Los nematodos entomopatógenos (*Rhabditida: Steinernematidae* y *Heterorhabditidae*) presentes en Cataluña y su utilización para el control biológico de insectos**. 1994. 417 f. Tesis (Doctor en Ciencias Biológicas) – Facultad de Ciencias, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, España.

GEORGIS, R.; POINAR JR, G.O. Effect of soil texture on the distribution and infectivity of *Neoplectana carpocapsae* (Nematoda: Steinernematidae). **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 15, p. 308-311, 1983.

GHIBERTO, P. J. et al. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. **Agricultural Water Management**, v. 102, p. 1-7, 2011.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M. B. Nematóides parasitos do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001, cap. 7, p. 199-268.

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematóides das lesões radiculares (Gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 27 p. (Documentos, 219).

- GREEN, C. D. Mating and host finding behaviour of plant nematodes. In: ZUCKERMAN, B. M.; MAI, W. F.; ROHDE, R. A. (Ed.). **Plant parasitic nematodes: cytogenetics, host-parasite interaction and physiology**. New York: Academic Press, 1971, p. 247-266.
- GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. **Water Resources Research**, Washington, v. 15, n. 6, p. 1633-1635, 1979.
- HACK-TEN BROEKE, M. J. D.; HEGMANS, J. H. B. M. Use of soil physical characteristics from laboratory measurements or standard series for modelling unsaturated water flow. **Agricultural Water Management**, v. 29, p. 201-213, 1996.
- HASSINK, J. et al. Relationships between habitable pore space, soil biota and mineralization rates in grassland soil. **Soil Viology & Biochemistry**, Marrickville, v. 25, p. 47-55, 1993.
- HE, X.; REN, L. An adaptive multiscale finite element method for unsaturated flow problems in heterogeneous porous media. **Journal of Hydrology**, v. 374, p. 56-70, 2009.
- HILLEL, D. Flow of water in unsaturated soil. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998, cap.8, p. 203-241.
- HILLEL, D. **Fundamentals of Soil Physics**. New York: Academic Press, 1980. 413 p.
- HUETTEL, R. N. Chemical communication in nematodes. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 18, n. 1, p. 3-8, jan. 1986.
- HUSSEY, R. S.; BARKER, K.R. A comparison of methods for collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Report**, St. Paul, v. 57, n. 12, p. 1025-1128, 1973. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_54\\_711200516718.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_54_711200516718.html)>. Acesso em: 21 jan. 2014.
- HUSSEY, R. S. Secretions of esophageal glands in root-knot nematodes. In: GOMMERS, F.J.; MAAS, P.W.T. (Ed.). **Nematology from molecule to ecosystem**. Wageningen, The Netherlands. European Society of Nematologists. 1992. p. 41-50.
- IDRE. Negative binomial regression. Los Angeles: CA, 2016. Disponível em: <<http://www.ats.ucla.edu/stat/sas/dae/negbinreg.htm>>. Acesso em: 21 fev. 2015.
- JARABA J.; LOZANO, Z.; ESPINOSA, Y. M. Nematodos agalladores asociados al cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) en el departamento de Córdoba, Colombia. **Agronomía Colombiana**, Bogotá, Colômbia, v. 25, p. 124-130, 2007.
- JENKINS, W. R.; et al. Nematodes associated with crop plants in Maryland. **Bulletin of the University of Maryland Agricultural Experimental Station**, College Park, v. 87, 1957.
- JIMÉNEZ-MARTÍNEZA, J. et al. A rot zone modeling approach to estimating groundwater recharge from irrigated areas. **Journal of Hydrology**, v. 367, n. 1/2, p. 138-149, 2009.

- JORDAN, E. M.; DE WAELE, D.; VAN ROOYEN, P. J. Endoparasitic nematodes in maize roots in the Western Transvaal as related to soil texture and rainfall. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 21, p. 356-360, 1989.
- KIMPINSKI, J.; STURZ, A. V. Managing crop root zone ecosystems for prevention of harmful and encouragement of beneficial nematodes. **Soil and Tillage Research**, Holanda, v. 72, n. 2, p. 213-221, 2003.
- KLINGER, I.; HAUKELAND, S. The soil as a reservoir for natural enemies of pest insects and mites with emphasis on fungi and nematodes. In: EILENBERG, J.; HOKKANEN, H. M. T. (Ed.). **An ecological and societal approach to biological control**. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2006, p. 145-211.
- KUTILEK M.; NIELSEN D. R. **Soil Hydrology**. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, Germany, 1994.
- LAL, R.; SHUKLA, M.K. **Principles of soil physics**. New York: Marcel Dekker, 2004. 682p.
- LAUGHLIN, C. W.; LORDELLO, L. G. E. Sistemas de manejo de nematoides: relações entre a densidade de população e os danos à planta. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 2, p. 15-24, 1977.
- LAVALLEE, W. H.; ROHDE, R. A. Attractiveness of plant roots to *Pratylenchus penetrans* (Cobb). **Nematologica**, Leiden, v. 8, p. 252-260, 1962.
- LEE, D. L.; ATKINSON, H. J. **Physiology of nematodes**. New York: Columbia University, 1977.
- LIBARDI, P. L. **Condutividade hidráulica do solo em condições de campo**. 1978. 142 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- LIMA, J. E. F. W. **Modelagem numérica do fluxo da água no solo e do escoamento de base em uma bacia experimental em área agrícola no Cerrado**. 2010. 312 f. Tese (Doutorado em Tecnologia ambiental e recursos hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- LITTELL, R.; STROUP, W.; FREUND, R. **SAS® for linear models. Fourth**. 4. ed. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2002. 466 p.
- LORDELLO, L. G. E.; MONTEIRO, A. R. Nematóides parasitos do maracujazeiro. **O Solo**, Piracicaba, v. 65, n. 2, p. 17-19, 1973.
- LUC, M. A reappraisal of Tylenchina (Nemata): 7 The family Pratylenchidae Thorne, 1949. **Revue de nématologie**, Bondy, França, v. 10, p. 203-218, 1987.
- LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (Ed.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford: CAB International, 1990. 629 p.

MAI, W. F.; MULLIN, P. G. **Plant-parasitic nematodes: a pictorial key to genera**. New York: Cornell University Press, 1996. 277 p.

MELO FILHO, J.F.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo: conceitos e bases para avaliação. In: CARVALHO, C.A.L.; DANTAS, A.C.V.L.; PEREIRA, F.A. DE C.; SOARES, A.C.F.; MELO FILHO, J.F.; OLIVEIRA, G.J.C. **Tópicos em Ciências Agrárias**. Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, 2009. v.1. 296p.

MUDAWI, H. I.; IDRIS, M. O. "Efficacy of the bioagents *Bacillus* isolates and *Trichoderma* spp. in the control of wilt/root-rot disease in chickpea". 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/WJSTSD-10-2015-0051>>. Acesso em: 21 fev. 2015.

NEHER, A. D. Ecology of plant and free-living nematodes in natural and agricultural soil. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 371-394, 2010.

NEHER, D. A. et al. Grazing in a porous environment, 2: nematode community structure. **Plant and Soil**, v. 212, p. 85-99, 1999.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972. Disponível em: <<http://people.ufpr.br/~taconeli/CE225/Artigo.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

NORTON, D. C. **Ecology of plant-parasitic nematodes**. New York: John While e Sons, 1978.

NUNES, H. T.; MONTEIRO, A. C.; POMELA, A. W. V. Uso de agentes microbianos e químico para o controle de *Meloidogyne incognita* em soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 3, p. 403-409, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i3.2166>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

PAZHAVARICAL,S. **Investigations on the early stages of interactions between the nematodes *Meloidogyne javanica* and *Pratylenchus thornei* and two of their plant hosts**. 2009. Tese (Doctor of Philosophy August) - University of Western Sydney, Sydney, Australia's.

PEIXOTO, L. A. et al. Quantificação de danos em alface causado por diferentes níveis de *Meloidogyne incognita* em diferentes tipos de solo. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 2, p. 1-12, 2011.

PERRY R. N.; MOENS, M. (Ed.). **Plant nematology**. 2. ed. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI Publishing, 2013. 536 p.

PERRY, R. N.; AUMANN, J. Behaviour and sensory responses. In: PERRY, R. N.; WRIGHT, D. J. (eds). **The physiology and biochemistry of free-living and plant-parasitic nematodes**. Wallingford, UK: CABI, 1998. p. 75-102.

**PHYLUM nematoda**: classes, sub-classes and orders. 2002. Disponível em: <<http://plpnemweb.ucdavis.edu/nemaplex/taxadata/Classes.htm>>. Acesso em: 24 jan. 2016.

- PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: SAEAFS, 1996, 446 p.
- PROT, J. C.; VAN GUNDY, S. D. Effect of soil texture and the clay component on migration of *Meloidogyne incognita* second-stage juveniles. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 13, n. 2, p. 213-217, 1981a.
- PROT, J. C.; VAN GUNDY, S. D. Influence of photoperiod and temperature on migration of *Meloidogyne* juveniles. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 13, n. 2, p. 218-220, 1981b.
- RAMMAH, A.; HIRSCHMANN H. *Meloidogyne mayaguensis* n. sp. (Meloidogynidae), a root-knot nematode from Puerto Rico. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 20, p. 58-69, 1988.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manole LTDA, 1990. 188 p.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 486 p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Editora Manole Ltda, 2004. 478 p.
- RINALDI, L. K.; NUNES, J. E.; MONTECELLI, T. D. N. Efeito de texturas do solo sobre populações de *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita* em soja. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, Paraná, v. 7, n. 1, p. 83-101, 2014.
- SGRIGNOLI, L. A.; ALMEIDA, A. G.; OLIVEIRA, A.S.; OTOBONI, A. M. M. B.; PARDO, R. B., MARINELLI, P. S.; OTOBONI, C. E. M. Análise química do solo e levantamento de fitonematóides em hortas do município de Marília/SP. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia** – FAEF - Garça/SP - v.25 - n.1 - p. 01-16 - jun. 2014.
- SOUZA, J. T. de; CAMPOS, V. P.; MAXIMINIANO, C. Ocorrência e distribuição de nematóides associados a hortaliças e plantas medicinais. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, São Paulo, v. 24, n. 3/4, p. 283-291; 1998.
- STONE, L. F. et al. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 4, p. 577-582, 2006.
- TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1993. 372 p.
- VAN GUNDY, S. D. Ecology of *Meloidogyne* spp. emphasis on environmental factors affecting survival and pathogenicity. In: SASSER, J. N; CARTER, C. C. **An advanced treatise on Meloidogyne**. Raleigh North Carolina. 1985. v. 1, p. 177-182.
- VAN GUNDY, S. D.; BIRD, A. F.; WALLACE, H. R. Aging and starvation in juvenile of *Meloidogyne javanica* and *Tylenchulus semipenetrans*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 57, n. 6, p. 59-571, 1967.

VIRGLIERCHIO, D. R. Attraction of parasitic nematodes by plant root emanations. **Phytopathology**, St. Paul, v. 51, n. 2, p. 136-142, Feb. 1961.

WALLACE, H. R. Abiotic influences in the soil environment. In: ZUCKERMAN, B. M.; MAI, W. F.; RODHE, R. A. (Ed.). **Plant parasitic nematodes**. New York: Academic Press, 1971. v. 1, p. 257-280.

WALLACE, H. R. The dynamics of nematode movement. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, Califórnia, Estados Unidos, v. 6, p. 91-114, 1968.

WALLACE, H. R. Movement of eelworms: a comparative study of the movement in soil of *Heterodera schachtii* Schmidt and of *Ditylenchus dipsaci*-(Kuhn) Filipjev. **Annals of Applied Biology**, Warwick, United kingdom, v. 46, p. 86-94, 1958.

WALLACE, H. R. Movement of eelworms: the influence of pore size and moisture content of the soil on the migration of larvae of the beet ellworm, *Heterodera schachtii*, Schmidt. **Annals of Applied Biology**, Warwick, United kingdom, v. 46, p. 74-85, 1958.

WALLACE, H. R. **Nematode ecology and plant disease**. London: Edward Arnold, 1973. 228 p.

WENDLAND, E. **Contribuição à simulação de processos em meios porosos**. 2004. 270 f. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

WÖSTEN, J. H. M.; VAN GENUCHTEN, M. T. H. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. **Soil Science Society of America Journal**, Wisconsin, Estados Unidos, v. 52, p. 1762-1770, 1988.

WYSS, U.; ZUNKE, U. Observations on the behavior of second juveniles of *Heterodera schachtii* inside host roots. **Revue de Nématologie**, v. 9, p. 153, 165, 1988.

WYSS, U.; GRUNDLER, F. M. W.; MUNCH, A. 1992. The parasitic behavior of second stage juveniles of *Meloidogyne incognita* in root of *Arabidopsis thaliana*. **Nematologica**, Leiden, v. 38, p. 98, 111, 1992.

YOUNG, L. D. Epiphytology and life cycle. In: RIGGS, R. D.; WRATHER, J. A. (Ed.). **Biology and management of the soybean cyst nematode**. St. Paul: APS, 1992. p. 27-36.

ZUCKERMAN, B. M. Gnotobiology. In: ZUCKERMAN, B. M.; MAI, W. F.; RODHE, R. A. **Plant parasitic nematodes**. New York: Academic Press, 1971. v. 2, p. 159-184.