

EFEITO DO FLUXO DE ÁGUA, ISCA VEGETAL E VOLUME DE POROS DO SOLO NA MOBILIDADE DE *PRATYLENCHUS COFFEA*

Anna Hozana Francilino¹, Elvira Maria Régis Pedrosa^{1*}, Ênio Farias França e Silva¹, Mário Monteiro Rolim¹, Mércia Soares de Oliveira Cardoso¹, e Sandra Roberta Vaz Lira Maranhão²

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola; Dois irmãos, s/n. CEP: 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil; ²Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia. *Autor para correspondência: elvira.pedrosa@ufrpe.br

ABSTRACT

Francilino, A. H., E. M. R. Pedrosa, E. F. F. Silva, M. M. Rolim, M. S. O. Cardoso, and S. R. V. L. Maranhão. 2017. Effects of water flow, plant-based baits, and soil pore volume on *Pratylenchus coffeae* mobility. *Nematropica* 47:63-73.

Plant-parasitic nematodes are among the most destructive plant pathogens. The control of these parasites is a challenging and complex task. Understanding the structure of soil pores and the effects of air and water balance on nematode movement is important. This study quantified the effects of water flux (5 ml min⁻¹), soil pore volume, and plant-based baits on the movement of lesion nematode, *Pratylenchus coffeae*. Juvenile and adult mobility was quantified in soil columns baited with root pieces of *Tagetes patula*, *Dioscorea cayennensis*, or nothing. Without water flux, mobility of *P. coffeae* was unaffected by any variable measured 5 days after nematode introduction. With water flux, nematode mobility and direction of movement were affected by the bait and soil pore volume (PV = soil porosity × column volume). In general, nematodes moved with the water flux and away from the root baits. Nematodes in columns with *T. patula* had more nematodes move farther from the root bait than in the yam or no root bait columns. In contrast, in columns with yam root bait, more nematodes remained at the water injection site close to the root baits.

Key words: *Dioscorea cayennensis*, dispersal, root lesion nematode, soil column, *Tagetes patula*

RESUMO

Francilino, A. H., E. M. R. Pedrosa, E. F. F. Silva, M. M. Rolim, M. S. O. Cardoso, e S. R. V. L. Maranhão. 2017. Efeito do fluxo de água, isca vegetal e volume de poros do solo na mobilidade de *Pratylenchus coffeae*. *Nematropica* 47:63-73.

Os fitonematoides estão entre os principais agentes causadores de doenças e danos às culturas cujo controle, na maioria dos casos, representa um processo difícil e contínuo. Uma das dificuldades é o modo como esses organismos estão disseminados na área, o que torna de amplo interesse estudos que simulem o movimento dos nematoides no solo, já que o transporte desses organismos é fortemente influenciado pelo movimento da água. No presente estudo foi avaliada a influência do fluxo de água (5 ml min⁻¹), do volume de poros do solo e de iscas constituídas por raízes picotadas de cravo de defunto (*Tagetes patula*) e cascas de inhame da costa (*Dioscorea cayennensis*) na mobilidade do nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus coffeae*) em colunas de solo deformado. A mobilidade de juvenis e adultos de *P. coffeae* foi determinada em colunas confeccionadas em resina acrílica (11 cm de comprimento × 2,2 cm de diâmetro interno), preenchidas com areia lavada e com uma das extremidades exposta às iscas. Cinco dias após a infestação do solo nas colunas sem fluxo de água, a mobilidade de *P. coffeae* foi afetada significativamente pelas variáveis estudadas. Nas colunas com fluxo de água a mobilidade e direção do nematoide foi significativamente afetada pelo tipo de isca e volume de poros do solo. A taxa de lixiviação dos nematoides tendeu a aumentar gradualmente a partir de 1,4 de volume de poros (VP = porosidade do solo × volume da coluna). De modo geral, a maioria dos nematoides foram lixiviados pelo fluxo de água para a extremidade de saída da coluna (sentido negativo), embora mais nematoides tenham sido lixiviados em colunas com iscas de raízes de *T. patula*. Por outro lado, na presença de cascas de inhame, alguns nematoides conseguiram resistir ao fluxo de água permanecendo no ponto de entrada de água e na seção onde estavam as cascas.

Palavras-Chave: *Dioscorea cayennensis*, dispersão, nematoide das lesões radiculares, coluna de solo, *Tagetes patula*

INTRODUÇÃO

Os fitonematoides estão entre os principais patógenos da agricultura mundial em função das perdas significativas que causam em culturas de elevada importância econômica. São encontrados em maior número na região da rizosfera, parasitando diferentes culturas, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas. O controle desses fitoparasitas é complexo e a adoção de medidas de manejo apenas reduz sua população após a infestação da área. A prevenção constitui o princípio mais importante para contornar esse problema, visto que, os métodos de controle tradicionais são baseados no uso de produtos químicos que elevam os custos de produção.

Os nematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.) são considerados mundialmente como um dos maiores problemas em culturas de grande importância econômica, apresentando distribuição generalizada em diversas regiões com climas tropical, subtropical e temperado (Goulart, 2008). Tais espécies são endoparasitas migradores, que causam danos em raízes de uma ampla gama de hospedeiras, devido à alimentação, movimentação ativa e liberação de enzimas e toxinas no córtex radicular.

No Nordeste do Brasil, a espécie *Pratylenchus coffeae* (Zimmermann) Filipjev e Stekhoven foi assinalada em diversas culturas agrícolas, entre as quais o inhame da costa (*Dioscorea cayennensis* Lam.), causando a doença denominada de casca-preta; em gravioleira, causando a morte súbita; e as pratilencoses do milho doce e do cafeeiro (Moura 1999; Moura *et al.*, 2002; 2004). Rotação e sucessão de culturas não hospedeiras ou antagonicas, a exemplo de espécies de *Crotalaria* e *Tagetes*, são os métodos mais promissores de manejo de *Pratylenchus* spp., pois promovem expressiva redução populacional do nematoide após um período de cultivo (Pudasaini *et al.*, 2006; Njezic *et al.*, 2014).

Pratylenchus spp. movem-se aleatoriamente no solo até perceberem um estímulo químico atrativo (Castillo e Volvas, 2007). Quando isso ocorre, passam a movimentar-se seguindo o gradiente de concentração em direção a fonte estimuladora. Porém, vários fatores influenciam a migração do nematoide no solo. A migração ativa ocorre somente quando as condições são favoráveis. Assim, os nematoides têm migração, desenvolvimento e sobrevivência influenciados pelas diferentes condições ambientais, destacando-se entre estas, conteúdo de água, temperatura, pH e estrutura do solo (Towson e Apt, 1983; Griffin e Jensen, 1997; Melakeberhan *et al.*, 2004; Eo *et al.*, 2008; Erb e Lu, 2013).

As condições do solo são altamente relevantes

para a mobilidade de *P. coffeae* e, conseqüentemente, para a eficiência de infecção às plantas. No campo, as condições do solo são afetadas por fluxos de água devido à chuva e irrigação, que podem afetar a etologia do nematoide como habitante do solo. No entanto, pouco ainda se sabe a respeito da relação entre o movimento do fitonematoide no solo, ou sob fluxo de água no solo, em função das diferentes espécies de plantas, sendo importante simular adequadamente essa movimentação em diferentes condições. O entendimento desse comportamento é fundamental para o estabelecimento de novas práticas para o controle da disseminação do fitopatógeno. Nesse sentido, esse estudo busca avaliar o estímulo de materiais oriundos de plantas atrativas boas hospedeiras do nematoide e de plantas antagonicas sobre a capacidade de *P. coffeae* resistir ou ser lixiviado em colunas de solo com ou sem fluxo de água.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção das populações de Pratylenchus coffeae

Túberas comerciais de inhame da costa, infectadas por *P. coffeae*, foram obtidas no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco - CEASA, Recife. As túberas foram submetidas à extração de nematoides por meio da técnica do funil de Baermann modificado (Virglierchio e Schmitt, 1983). As cascas de inhame foram colocadas sobre uma tela forrada com papel toalha apoiada sobre um funil acoplado a uma mangueira cirúrgica de borracha fechada com uma pinça ao final, colocando-se água no funil até que cobrisse parcialmente o fundo da tela contendo as cascas. Os nematoides se movimentaram pela ação da gravidade e decantaram no fundo do funil. Transcorridas 24 horas de repouso, a suspensão contendo juvenis e adultos de *P. coffeae* foi transferida para um bquer e acondicionada em geladeira por 4 horas.

Obtenção de iscas de inhame e Tagetes patula

Túberas sadias de inhame da costa foram obtidas no comércio local da cidade de Recife. A obtenção de plantas de *T. patula* procedeu-se mediante semeadura em solo de textura arenosa (77,0% de areia; 14,2% de argila e 8,8% de silte), em vasos com capacidade de 4 L, em casa de vegetação. Aos 25 dias após a emergência, quando as plantas apresentavam sistema radicular bem desenvolvido, as raízes foram removidas. As raízes de *T. patula* e as cascas das túberas de inhame foram picadas separadamente para condução do experimento.

Condução do experimento

A movimentação de *P. coffeae* foi estudada em colunas segmentadas confeccionadas em resina acrílica com 2,2 cm de diâmetro interior, 3 cm² de secção transversal, 11 cm de comprimento e volume de 41,8 cm³, preenchidas com areia lavada em função da densidade de 1,6 g cm⁻³ em máxima retenção de água no solo, com e sem fluxo de água com presença de raízes de inhame ou *T. patula* para avaliação da atração ou repulsão dos nematoides, respectivamente.

A umidade da areia no interior das colunas foi medida no início e no final de cada experimento pelo método padrão da estufa (Embrapa, 1997). A temperatura do ambiente e do interior da coluna foi registrada continuamente, em intervalos de 1 hora, com auxílio de um data logger HOBO® U12 series, marca Onset com sensores (TMCx-HD water/soil temperature) colocados na parte externa e no centro da coluna de solo, utilizando interface USB para lançar diretamente os dados no computador (Software HOBOWare® Lite).

Colunas sem fluxo de água

Para o preenchimento das colunas foi utilizada areia lavada, esterilizada por autoclavagem sob temperatura de 12°C à pressão de uma atmosfera, durante 2 horas. Posteriormente, a areia foi seca em estufa a 65°C por 24 horas, apresentando as

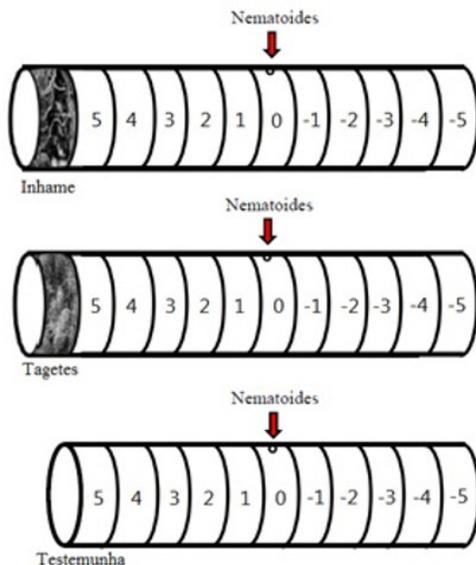


Figura 1. Esquema de utilização do dispositivo experimental para avaliar o movimento de *Pratylenchus coffeae* em estágio juvenil e adulto em colunas não saturadas preenchidas com areia lavada (Fujimoto *et al.*, 2009. Adaptado).

seguintes características: densidade do solo 1,64 g cm⁻³, densidade das partículas 2,58 g cm⁻³, porosidade 36,4%, volume de poros 15 ml.

Colunas segmentadas em 11 anéis de 1 cm de comprimento cada, foram utilizadas para avaliar a mobilidade de juvenis e adultos de *P. coffeae* em areia lavada sem fluxo de água. As colunas foram preenchidas com areia lavada em função da densidade (1,6 g cm⁻³). Foi adicionado um anel de 1 cm de comprimento, separado por uma tela ao final de cada coluna para inserção de raízes picotadas de inhame e *T. patula*. Os valores positivos da coluna a partir do ponto de injeção (0 cm) indicam a movimentação dos nematoides em direção às raízes, assim como os valores negativos da coluna indicam a movimentação em direção contrária às raízes estudadas. Uma coluna sem a presença de raízes foi usada como testemunha (Figura 1).

Antes de inserção da suspensão de nematoides, a coluna preenchida com areia lavada foi saturada com auxílio de um dosador de soro acoplado ao início da coluna, com água esterilizada, por 24 horas e, posteriormente, o excesso de água foi drenado a fim de que a areia lavada ficasse umidificada até sua máxima retenção de água, de forma a apresentar um filme de água entre as partículas de areia que permitisse a mobilidade dos nematoides. Foram inseridos no centro de cada coluna 1 ml de água contendo 1000 ± 100 juvenis e adultos de *P. coffeae* com auxílio de uma seringa, conforme Fujimoto *et al.* (2009), mas sem aplicação de fluxo de água. Após um período de cinco dias de repouso, as colunas foram desmontadas e o volume de areia lavada que preenchia cada anel foi colocado sobre funis de Baermann modificado, onde os nematoides se movimentaram pela ação da gravidade e decantaram no fundo do funil. Transcorridas 24 horas de repouso, os juvenis e adultos foram coletados em tubos (Falcon) e contados. Cada experiência foi repetida três vezes, totalizando 33 (anéis com areia) + 2 (anéis com inhame e *T. patula*) amostras para cada repetição.

Colunas com fluxo de água

Nesta etapa as colunas segmentadas, com as mesmas características utilizadas no experimento sem fluxo, foram submetidas a um fluxo de água (Figura 2). Nas extremidades das colunas foram inseridas telas que permitiram a dispersão uniforme do fluxo de água ao longo da coluna e impediram que a areia escapasse pelo ponto de saída. Após o preenchimento foram submetidas à saturação, com água esterilizada, por 24 horas com o auxílio de um dosador de soro e posteriormente o excesso de água foi drenado a fim de que a areia lavada

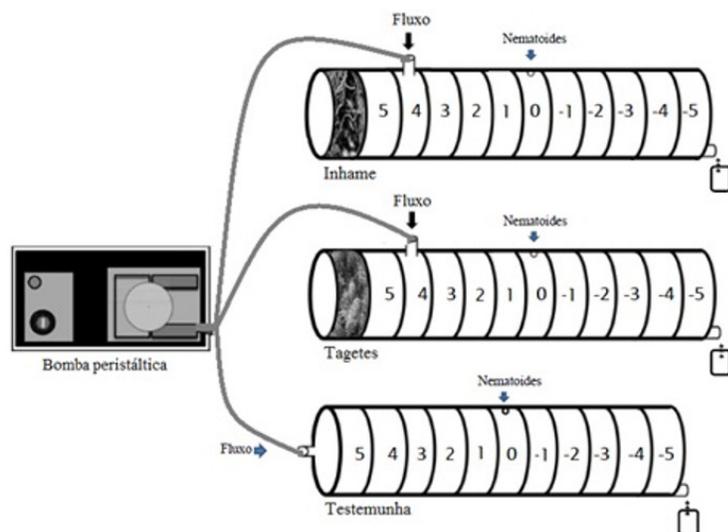


Figura 2. Esquema de utilização do dispositivo experimental para avaliar o movimento de *Pratylenchus coffeae* em estádios juvenil e adulto em colunas de areia lavada submetidas a fluxo de água (Fujimoto *et al.*, 2009. Adaptado).

ficasse umidificada até sua capacidade de campo. Em seguida, raízes de *T. patula* e cascas de inhame picotadas foram inseridas nas extremidades das colunas e 1 ml de água contendo 1000 ± 100 juvenis e adultos de *P. coffeae* foram injetados no centro da coluna com auxílio de uma seringa. Transcorridos cinco dias após a injeção, uma bomba peristáltica, inserida na coluna, permitiu a passagem do fluxo de água constante com vazão ajustada para 5 ml min^{-1} . Um tubo plástico ligado no ponto de saída conduziu o fluxo de água para frascos coletores de 15 ml cada (Fujimoto *et al.*, 2009).

Neste estudo, o volume efluente coletado da coluna foi definido como volume de poro (VP), calculado pela Eq. (1), na qual os valores relacionaram o volume da coluna ($41,8 \text{ cm}^3$) e da porosidade da areia lavada. Sabendo que, quando o solo é saturado com água em uma coluna, VP é o volume de água necessário para substituir a água do solo a partir do fluxo de entrada da coluna até o ponto de saída.

$$VP = \alpha V \quad (1)$$

Em que:

VP = volume de poros; L^3 ;

α = porosidade do solo utilizado, decimal; e

V = volume da coluna, L^3 .

Cada ensaio constituiu em três repetições, em que a água de drenagem no ponto de saída foi recolhida a intervalos de 0,1 a 3,0 VP (volume de poros) divididos em 30 alíquotas para cada coluna. Os juvenis e adultos de *P. coffeae* presentes na água

de drenagem coletada foram contados utilizando microscópio estereoscópico. O número de nematoides acumulados assim obtido foi dividido pelo número inicial de juvenis injetado (C/C_0) para calcular a taxa de lixiviação, conforme Fujimoto *et al.* (2009) e Miranda (2001). Os nematoides encontrados no ponto de saída foram contados como "C". Cada ensaio foi repetido três vezes. A progressão do avanço da solução de nematoide foi acompanhada medindo-se a concentração do C. Após a coleta de efluentes, as colunas foram desmontadas e o volume de areia que preenchia cada anel foi colocado em funis de Baermann modificados para a extração e observação da movimentação dos nematoides ao longo da coluna após o fluxo de água.

Análise estatística

Para avaliação da direção do nematoide foram conduzidos dois experimentos: com e sem fluxo. Em cada um desses experimentos os tratamentos foram arranjados em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 11 (Direção: -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5) \times 3 (Isca: *T. patula*, inhame, sem isca), com três repetições. No experimento com fluxo o volume de poros, representado por 30 alíquotas para cada coluna, foi dividido em três classes: 1 (de 0,1 a 1,0 VP), 2 (de 1,1 a 2,0 VP) e 3 (de 2,1 a 3,0 VP), de forma que o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 (Volume de poros: 1, 2, 3) \times 3 (Isca: *T. patula*, inhame, sem isca) com três repetições. Para cada experimento

os dados foram analisados separadamente. O teste de qui-quadrado (X^2) foi aplicado para comparar as frequências de distribuição do nematoide de acordo com a direção tomada em função da isca. Para as demais avaliações, os dados foram submetidos à análise de variância e transformados para $\sqrt{(x+0.5)}$ para atender aos pressupostos da ANOVA. Quando detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa SAS (versão 7.0.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tipo de raiz como a direção influenciou significativamente ($P < 0,01$) a mobilidade de *P. coffeae* nas colunas de solo sem fluxo de água após cinco dias da injeção do nematoide (Figura 3).

Na coluna testemunha, quando *P. coffeae* foi inserido no centro das colunas preenchidas com areia lavada sem a presença de raízes, a maioria de juvenis e adultos (7,3%) permaneceram ainda no ponto 0 cm após os cinco dias de injeção. Quando ocorreu movimentação, esta se deu para ambos os lados (positivo e negativo), mas poucos nematoides atingiram as extremidades da coluna (Figura 3A). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que nematoides de hábito migrador (como *P. coffeae*) movimentam-se ativamente no solo até encontrarem raízes adequadas para alimentação. Entretanto, como não houve estímulo (positivo ou negativo), a movimentação do nematoide foi muito lenta.

Por outro lado, nas colunas com raízes de *T.*

patula, após cinco dias, a maioria dos nematoides migrou em sentido negativo às raízes (Figura 3B). Em média, 25 (2,5%) juvenis e adultos migraram até +5 cm a partir do ponto de injeção e nenhum nematoide foi encontrado adjacente às raízes. O maior número de nematoides foi encontrado a -1 e -3 cm de distância do ponto de injeção com 51 (5,3%) e 79 (8,3%) indivíduos, respectivamente. Além do mais, no ponto de saída da coluna foram encontrados 5% dos nematoides injetados. Esses resultados podem ser explicados pelo fato de plantas de *Tagetes* possuírem compostos com atividades nematicidas, a exemplo de α -terthienyl, 5(-ent-1-ol)-2,2-bithienyl, sigma-4, 22-dien-3-beta-ol, e 5-(4-acetoxy-1-butenyl)-2,2-ithienyl, que são liberados pelas raízes (Gommers, 1981; Jagdale *et al.*, 1999; Hooks *et al.* 2010).

Hooks *et al.* (2010) relataram que além da liberação de compostos alelopáticos por plantas de *Tagetes* (*T. erecta*, *T. patula*, e *T. minuta*), outros mecanismos sugeridos como responsáveis pela supressão de nematoides incluem a ação na forma de planta não hospedeira ou má hospedeira, de planta-armadilha, e estimulação de inimigos naturais; contudo, os resultados obtidos no presente estudo fortalecem a hipótese da possível atuação desses compostos no solo, fora das raízes, embora a sua ação nematicida dependa de fotoativação (Gommers, 1981), que pode ter ocorrido devido à natureza do material da coluna permitindo a passagem da luz. O efeito nematicida de *T. patula* tem sido comprovado por vários estudos, a exemplo de Pudasaini *et al.* (2006) e Njezic *et al.* (2014), que relataram efeito

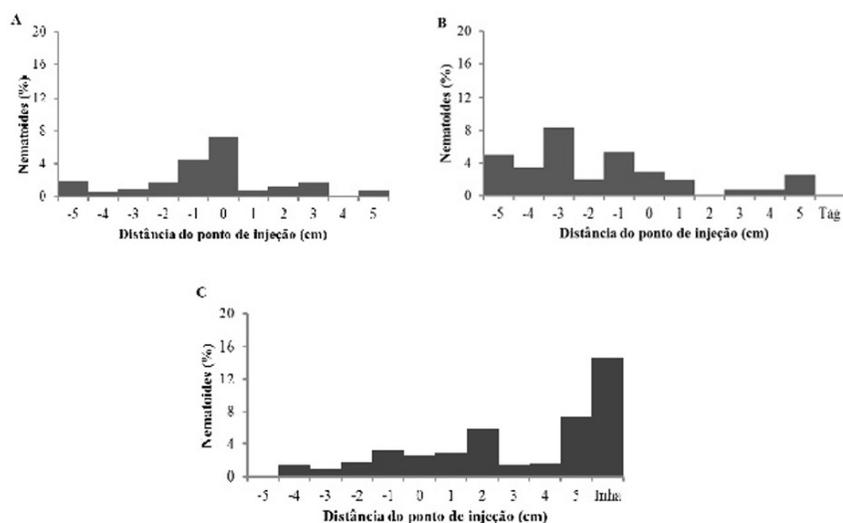


Figura 3. Distribuição de juvenis e adultos de *Pratylenchus coffeae* em função da direção e tipo de isca em colunas de areia lavada sem fluxo de água cinco dias após a injeção do nematoide. Coluna testemunha sem isca (A); Coluna com isca de raízes picotadas de *Tagetes patula* (B); Coluna com isca de túberas picotadas de inhame da costa (C). A distribuição dos nematoides em relação ao ponto de injeção diferiu entre as três condições de isca pelo teste X^2 a 0.01% de probabilidade.

supressivo na multiplicação de *Meloidogyne chitwoodi* Golden *et al.* e *Pratylenchus penetrans* (Cobb) Chitwood e Oteifa.

Quando a mobilidade de *P. coffeae* foi avaliada em colunas com presença de cascas de inhame sadias, ocorreu maior deslocamento dos nematoides em direção ao sentido das cascas (sentido positivo). Após cinco dias da injeção de nematoides, 25 (2,6%) nematoides foram encontrados no ponto de injeção (0 cm), enquanto que o maior número de nematoides foi encontrado a +5 cm de distância e nas cascas de inhame, respectivamente 69 (7,3%) e 139 (14,6%) indivíduos (Figura 3C), respaldando a atração de nematoides por plantas suscetíveis (Gourd *et al.*, 1993; Pedrosa *et al.*, 1996) e a susceptibilidade do inhame a *P. coffeae* (Moura e Monteiro, 1995; Santana *et al.*, 2003; Garrido *et al.*, 2004).

Os dados de temperatura durante a condução do experimento com colunas sem fluxo de água são apresentados na Figura 4. A temperatura ambiente apresentou $\pm 26,73^{\circ}\text{C}$, enquanto que a temperatura

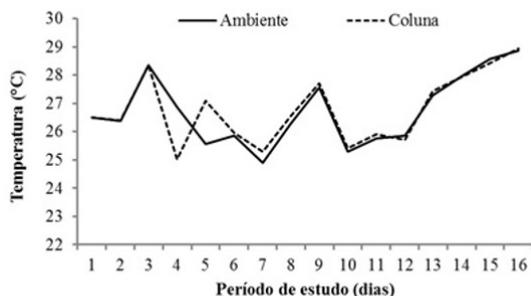
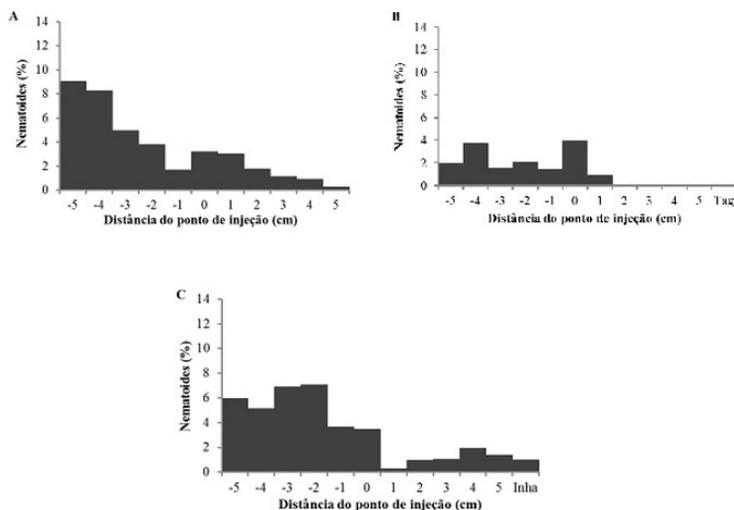


Figura 4. Temperatura ambiente e do interior das colunas sem fluxo de água.



do interior da coluna apresentou $\pm 26,60^{\circ}\text{C}$, com variação de $0,13^{\circ}\text{C}$ na maior parte do período de avaliação, compreendendo a faixa ótima de temperatura no solo para a atividade de *P. coffeae* (Radewald *et al.*, 1971; Tuyet *et al.*, 2013). Também foi detectada uma pequena diminuição na umidade das colunas (0,04 g de água após os cinco dias de injeção dos nematoides), não sendo considerada suficiente para interferir na mobilidade e migração do nematoide.

A migração de *P. coffeae* em colunas segmentadas preenchidas com areia lavada foi influenciada pelo fluxo de água cinco dias após a injeção de nematoide. De modo geral, a maioria dos nematoides foram lixiviados pelo fluxo de água para a extremidade de saída da coluna (sentido negativo), independente das iscas testadas. Na coluna sem isca (Figura 5A), o número de nematoides aumentou gradualmente para o ponto de saída da coluna. O maior número de nematoides foi detectado a -5 cm a partir do ponto de injeção com um total de 102 (9,1%) nematoides. Poucos nematoides migraram para o ponto de entrada de água (0,3% a +5 cm).

Em colunas com a presença de raízes de *T. patula*, os nematoides, quase em sua totalidade, foram movidos em direção à extremidade de saída da coluna, na qual o fluxo de água foi escoado (Figura 5B). A maioria dos nematoides foi detectada ainda no ponto de injeção (45 indivíduos) e apenas 10 (0,9%) espécimes de *P. coffeae* permaneceram a +1 cm de distância do ponto de injeção resistindo ao fluxo de água. Possivelmente, os nematoides iniciaram a migração para o lado oposto às iscas antes da aplicação do fluxo de água devido ao efeito nematicida liberado pelas raízes e, assim, foram lixiviados facilmente após a aplicação do fluxo de água.

Figura 5. Distribuição de juvenis e adultos de *Pratylenchus coffeae* em colunas de areia lavada após fluxo de água com cinco dias após a injeção de nematoides. Entrada do fluxo (+), saída do fluxo (-). Coluna testemunha sem isca (A); Coluna com isca de raízes picotadas de *Tagetes patula* (B); Coluna com isca de túberas picotadas de inhame da costa (C). A distribuição dos nematoides em relação ao ponto de injeção diferiu entre as três condições de isca pelo teste χ^2 a 0.01% de probabilidade.

Em colunas com a presença de cascas de inhame, alguns nematoides conseguiram resistir ao fluxo permanecendo no ponto de entrada de água e na seção onde estavam as cascas de inhame. Foram detectados 13 nematoides juntos às cascas de inhame, mesmo após a aplicação do fluxo de água. Porém, o maior número de *P. coffeae* foi detectado a -2 e -3 cm de distância totalizando 89 (7,1%) e 86 (6,9%) nematoides, respectivamente. A -5 cm de distância foram detectados 74 (5,9%) juvenis e adultos de *P. coffeae* (Figura 5C).

De modo geral, após o fluxo de água, colunas com iscas de *T. patula* lixiviou mais nematoides, permanecendo em seu interior apenas 173 (15,4% do número inicial de nematoides injetados) indivíduos de *P. coffeae*. É possível que compostos liberados pelas raízes de *Tagetes* (Marahatta *et al.*, 2012) tenham apresentado efeito repelente contribuindo para maior arraste de nematoides pelo fluxo de água. Em colunas com cascas de inhame 485 (39%) indivíduos resistiram ao fluxo de água aplicado permanecendo no interior da coluna, seguido pela coluna sem isca com 429 (38,2 %) indivíduos.

A influência do fluxo de água é evidente em solos com maior número de interagregados, como a areia (Eo *et al.*, 2007), o que explica o arraste da maioria dos nematoides para o ponto de saída de água. Segundo Fujimoto *et al.* (2010), se os nematoides forem facilmente transportados em fluxo de água no solo após uma chuva excessiva, os mesmos poderiam deixar a zona radicular e diminuir a chance de parasitismo. Contudo, no presente estudo, a resistência do nematoide ao fluxo de água em colunas com cascas de inhame, indica que o estímulo da planta hospedeira deve ativar mecanismos neuromusculares nas formas infectivas, aumentando as chances de parasitismo.

Os dados de temperatura durante a condução do

experimento com fluxo de água são apresentados na Figura 6. A temperatura da coluna foi de $\pm 25,79^\circ\text{C}$, enquanto que a temperatura do ambiente foi de $\pm 25,89^\circ\text{C}$, com variação de $0,1^\circ\text{C}$. Antes da aplicação do fluxo de água foi observada pequena variação na umidade das colunas (0,03 g de água após os cinco dias de injeção dos nematoides), não sendo considerado interferir na mobilidade e migração dos nematoides (Fujimoto *et al.*, 2010).

Nas colunas com fluxo, isoladamente o volume de poros da coluna e as iscas afetaram significativamente ($P < 0,01$) a mobilidade de *P. coffeae* nas colunas de areia lavada quando submetidas ao fluxo de água (5 ml min^{-1}) após cinco dias de injeção do nematoide, como também foi significativa a interação desses fatores (Tabela 1).

Nas colunas sem isca, o número médio de *P. coffeae* não diferiu significativamente entre os volumes de poros estudados (Tabela 2), mas na presença de raízes de *T. patula* ocorreu decréscimo no número de indivíduos coletados com o aumento do volume de poros. Para colunas com iscas de casca de inhame foi registrada diferença significativa

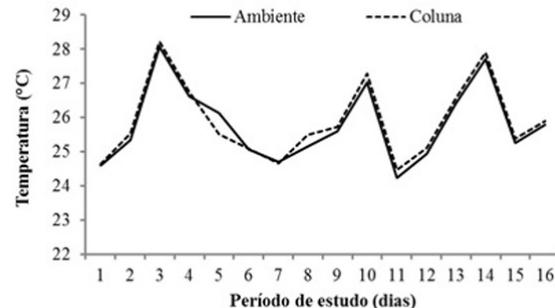


Figura 6. Temperatura ambiente e do interior das colunas com fluxo de água.

Tabela 1. Resumo da análise de variância do número de *Pratylenchus coffeae* e taxa de lixiviação (C/C_0) do nematoide em colunas segmentadas preenchidas com areia lavada sob fluxo de água.

Causa de variação	GL ^w	Nº Nematoides		Taxa C/C_0^x	
		Valor F	$P > F^y$	Valor F	$P > F$
Volume de poros	2	7,15	0,0009	10,64	<0,0001
Isca	2	62,05	<0,0001	56,75	<0,0001
Volume de poros×Isca	4	11,36	<0,0001	13,88	<0,0001
Resíduo	261				
CV ^z	(%)	44,2		15,1	

Para análise estatística os dados foram transformados para $\sqrt{(x+0.5)}$.

^wGL: Grau de liberdade

^x C/C_0 : Relação nematoides no ponto de saída/nematoides injetados

^y $P > F$: Nível de significância do teste F

^zCV: Coeficiente de variação.

Tabela 2. Média de *Pratylenchus coffeae* para a interação entre volume de poros e iscas.

Iscas	Volume de poros		
	1	2	3
Sem isca	0,63 cA ^z	1,0 bA	0,86 bA
<i>Tagetes patula</i>	8,86 aA	3,43 aB	2,36 aC
Inhame	1,60 bA	0,96 bB	1,83 bA

Dados transformados para $\sqrt{(x+0.5)}$.

^zMédias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha não diferem entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste de Tukey para a variável observada.

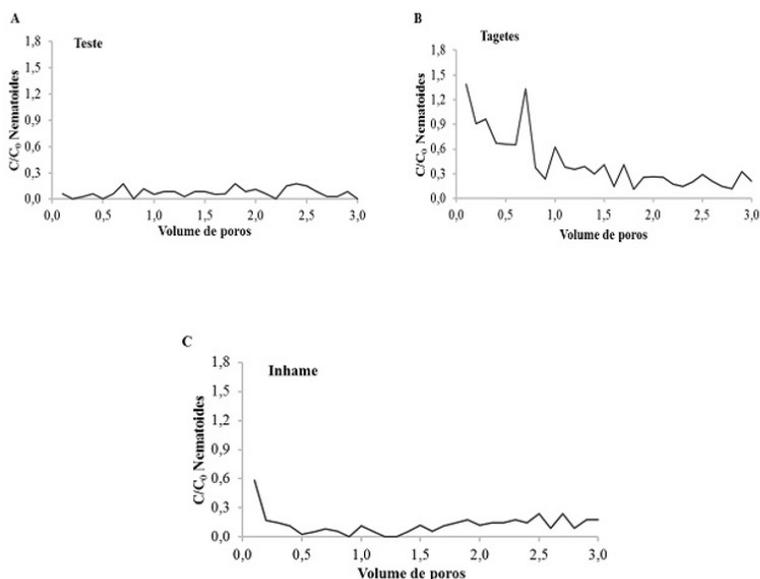


Figura 7. Movimento de juvenis e adultos de *Pratylenchus coffeae* em colunas segmentadas preenchidas com areia lavada com flutuação de valores de C/C_0 (nematoides no ponto de saída/nematoides injetados) em função do volume de poros. Coluna testemunha sem isca (A); Colunas com isca de raízes picotadas de *Tagetes patula* (B); Colunas com isca de túberas picotadas de inhame da costa (C).

apenas em 2,0 VP. Dentro de 1,0 VP ocorreu diferença estatística entre os tipos de iscas, sendo que colunas com *T. patula* apresentaram maior número de nematoides. Para volume de poros 2,0 e 3,0 não houve diferença entre colunas sem isca e com cascas de inhame, mas estas diferiram de colunas com *T. patula* (Tabela 2).

Em colunas sem isca não foi observado tendência clara na taxa de detecção dos nematoides em função do volume de poros. Em média, 25 nematoides foram lixiviados das colunas, permanecendo o maior número de indivíduos no interior da coluna. Esse resultado pode ser atribuído à distribuição aleatória que os indivíduos podem ter assumido na coluna após o quinto dia de injeção dos nematoides (Figura 7A). Estudando a migração de juvenis de *M. incognita* vivos e mortos em colunas de solo sob fluxo de

água, Fujimoto *et al.* (2009) também relataram que 90% de juvenis (vivos) permaneceram no interior da coluna sem serem transportados junto ao fluxo de água, e sugeriram que nematoides podem assumir formas irregulares que mudam constantemente com o movimento, permitindo que não sejam lixiviados por fluxos de água tão facilmente.

Quando os nematoides foram submetidos a fluxo de água em colunas com presença de raízes de *T. patula*, juvenis e adultos de *P. coffeae* foram encontrados na água de drenagem a partir de 0,1 VP diminuindo gradualmente com o aumento do volume de poros a partir de 0,7 VP (Figura 7B). Em média, 147 indivíduos passaram através da coluna após 45 trocas de água nos poros da areia. Supõe-se que, a maioria dos nematoides, durante os cinco dias após a injeção, já teria migrado para o ponto de saída da

coluna em sentido contrário às raízes, pelo efeito repelente que as mesmas causam, antes da aplicação do fluxo de água, como observado no experimento sem fluxo e, por esse motivo, a maioria dos indivíduos foram coletados nos primeiros volumes de poros. Além disto, é possível que os nematoides tenham adaptado sua morfologia (comprimento e diâmetro) para obter condição ideal de movimentação ao longo do perfil do solo (Burr e Robinson, 2004).

Em colunas com presença de cascas de inhame, juvenis e adultos de *P. coffeae* estavam presentes já nos primeiros volumes de poros, porém em número menor que os valores encontrados em colunas com raízes de *T. patula*. Entretanto, de maneira geral, a taxa de detecção dos nematoides tendeu a aumentar gradualmente a partir de 1,4 VP. Em média, 44 nematoides foram lixiviados da coluna (Figura 7C). A maioria dos nematoides permaneceu no interior da coluna. Considerando que antes da aplicação do fluxo a maioria dos nematoides pode ter sido atraída e estar próxima às cascas de inhame e que um tempo maior de aplicação de água seria necessário para lixiviar maior número de nematoides das raízes até o ponto de saída de água, é possível que os nematoides tenham migrado para poros mais estreitos, na qual a influência do fluxo não foi tão forte, diminuindo a dispersão no solo pela água. Tem sido argumentado que o solo pode ser considerado um meio sólido quando os poros são menores que o diâmetro do corpo dos nematoides, limitando o movimento desses organismos (Robinson e Perry, 2006).

Os nematoides são organismos aquáticos, portanto necessitam de um filme de água para se locomover (Prot, 1980; Burr e Robinson, 2004; Robinson e Perry, 2006). No entanto, a movimentação dos nematoides no solo está relacionada às diferentes características do solo, a exemplo da porosidade, tamanho das partículas e espessura do filme de água, além de ser influenciada por fatores morfológicos dos próprios nematoides (Gart *et al.*, 2011; Andaló *et al.*, 2012; Erb e Lu, 2013; Davis *et al.*, 2014).

O efeito de componentes edáficos na comunidade de nematoides parasitos de planta já foi relatado em áreas agrícolas e em áreas sob vegetação nativa (Cardoso *et al.*, 2012; 2016), demonstrando que a umidade, a textura e a densidade do solo agem indiretamente no movimento de nematoides, sendo a variação no tamanho das partículas um dos fatores de maior influência (Eo *et al.*, 2007). Além do mais, embora tenha sido demonstrado que os nematoides tendem a se mover para regiões com filmes de água mais espessos (Prot, 1980), é na capacidade de campo do solo que os exsudatos radiculares se difundem mais rapidamente, estabelecendo gradientes de substâncias voláteis e orientando os nematoides às raízes da planta hospedeira (Curtis

et al., 2009). Por outro lado, os nematoides também desenvolveram mecanismos intrínsecos para transpor as adversidades impostas pelo ambiente, aumentar as chances de sobrevivência (Burr e Robinson, 2004) e, conseqüentemente, de sucesso no parasitismo.

LITERATURA CITADA

- Andaló, V., V. Santos, G. F. Moreira, C. Moreira, M. Freire, e A. Moino Jr. 2012. Movement of *Heterorhabditis amazonensis* and *Steinernema arenarium* in search of corn fall armyworm larvae in artificial conditions. *Scientia Agricola* 69:226-230.
- Burr, A. H. J., and A. F. Robinson. 2004. Locomotion Behaviour. Pp. 25-62 in R. Gaugler, and A. L. Bilgrami (eds). *Nematode Behaviour*. Wallingford, CT: CAB International.
- Cardoso, M. S. O., E. M. R. Pedrosa, M. M. Rolim, L. S. C. Oliveira, and A. N. Santos. 2016. Relationship between nematode assemblages and physical properties across land use types. *Tropical Plant Pathology* 41:107-114.
- Cardoso, M. O., E. M.R. Pedrosa, M. M. Rolim, E. F. F. Silva, and P. A. Barros. 2012. Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of Atlantic Forest. *Environmental Monitoring and Assessment* 184:3529-3544.
- Castillo, P., and N. Volvas. 2007. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae); Diagnosis, biology, pathogenicity and management. *Nematology Monographs and Perspectives* 6. Leiden, The Netherlands: Brill.
- Curtis, R. H. C., A. F. Robinson, and R. N. Perry. 2009. Hatch and host location. Pp. 139-162 in R. N. Perry, M. Moens, and J. L. Starr (eds.). *Root-knot nematodes*. Wallingford, UK: CAB International.
- Davis, R. F., H. J. Earl, and P. Timper. 2014. Effect of simultaneous water deficit stress and *Meloidogyne incognita* infection on cotton yield and fiber quality. *Journal of Nematology* 46:108-118.
- Embrapa. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa.
- Eo, J., T. Nakamoto, K. Otobe, and T. Mizukubo. 2007. The role of pore size on the migration of *Meloidogyne incognita* juveniles under different tillage systems. *Nematology* 9:751-758.
- Eo, J., K. Otobe, and T. Mizukubo. 2008. Absence of geotaxis in soil-dwelling nematodes. *Nematology* 10:147-149.
- Erb, M., and J. Lu. 2013. Soil abiotic factors influence interactions between belowground herbivores and plant roots. *Journal of Experimental Botany*

- 64:1295-1303.
- Fujimoto, T., S. Hasegawa, K. Otake, and T. Mizukubo. 2009. 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* 43:200-205.
- Fujimoto, T., S. Hasegawa, K. Otake, and T. Mizukubo. 2010. 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* 42:1065-1072.
- Garrido, M. da S., A. C. F. Soares, J. L. Coimbra, e C. da S. Sousa. 2004. Aduos verdes no controle do nematoide *Scutellonema bradys* na cultura do inhame (*Dioscorea cayennensis* Lam.). *Fitopatologia Brasileira* 29:241.
- Gart, S., D. Vella, and S. Jung. 2011. The collective motion of nematodes in a thin liquid layer. *Soft Matter* 7:2444-2448.
- Gommers, F. J. 1981. Biochemical interaction between nematodes and plants and their relevance to control. *Helminthological Abstracts, Series B* 50:9-21.
- Goulart, A. M. C. 2008. Aspectos gerais sobre nematoides das lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*). Planaltina, DF: Documentos, Embrapa Cerrados, p.30.
- Gourd, T. R., D. P. Schmitt, and K. R. Barker. 1993. Penetration rates by second-stage juveniles of *Meloidogyne* spp. and *Heterodera glycines* into soybean roots. *Journal of Nematology* 25:38-41.
- Griffin, G. D., and K. B. Jensen. 1997. Importance of temperature in the pathology of *Meloidogyne hapla* and *M. chitwoodi* on legumes. *Journal of Nematology* 29:112-116.
- Hooks, C. R. R., K. H. Wang, A. Ploeg, and R. McSorley. 2010. Using marigold (*Tagetes* spp.) as a cover crop to protect crops from plant-parasitic nematodes. *Applied Soil Ecology* 46:307-320.
- Jagdale, G. P., B. Reynolds, B. Ball-Coelho, e J. Potter. 1999. Nematicidal activity of marigold plant parts against root-lesion nematodes (*Pratylenchus penetrans*) *Journal of Nematology* 31:546-547.
- Marahatta, S. P., K. H. Wang, B. S. Sipes, and C. R. R. Hooks. 2012. Effects of *Tagetes patula* on active and inactive stages of root-knot nematodes. *Journal of Nematology* 44:26-30.
- Melakeberhan, H., J. Dey, V. C. Baligar, e T. E. Carter. 2004. Effect of soil pH on the pathogenesis of *Heterodera glycines* and *Meloidogyne incognita* on *Glycine max* genotypes. *Nematology* 6:585-592.
- Miranda, J. H. 2001. Modelo para a simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado. 79 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba.
- Moura, R. M. 1999. Estudos sobre a origem da morte súbita da gravioleira. *Nematologia Brasileira* 23:62-68.
- Moura, R. M., L. M. P. Guimarães, S. R. V. L. Maranhão, e E. M. R. Pedrosa 2004. Pratiencose atípica assinalada no Estado do Rio Grande do Norte. *Fitopatologia Brasileira* 29:692.
- Moura, R. M., e A. Monteiro. 1995. *Pratylenchus coffeae* on yam in Brazil. *Fitopatologia Brasileira* 20:256.
- Moura, R. M., E. M. R. Pedrosa, e M. D. C. Prado. 2002. Incidência de *Pratylenchus coffeae* causando severa nematose em cafeeiro no nordeste. *Fitopatologia Brasileira* 27:649-649.
- Njezic, B., N. de Sutte, and M. Moens. 2014. Interaction of *Tagetes patula* cv. Single Gold with the life cycle of the plant-parasitic nematodes *Meloidogyne chitwoodi* and *Pratylenchus penetrans*. *Russian Journal of Nematology* 22:101-108.
- Pedrosa, E. M. R., R. S. Hussey, and H. R. Boerma. 1996. Penetration and post-infectious development and reproduction of *Meloidogyne arenaria* races 1 and 2 on susceptible and resistant soybean genotypes. *Journal of Nematology* 28:343-351.
- Pudasaini, M. P., N. Viaene, and M. Moens. 2006. Effect of marigold (*Tagetes patula*) on population dynamics of *Pratylenchus penetrans* in a field. *Nematology* 8:477-484.
- Prot, J. C. 1980. Migration of plant-parasitic nematodes towards plant roots. *Revue de Nématologie* 3:305-18.
- Radewald, J. D., J. H. O'Bannon, and A. T. Tomerlin. 1971. Temperature effects on reproduction and pathogenicity of *Pratylenchus coffeae* and *P. brachyurus* and survival of *P. coffeae* in roots of *Citrus jambhiri*. *Journal of Nematology* 3:390-394.
- Robinson, A. F., and R. N. Perry. 2006. Behaviour and sensory perception. Pp. 210-233 in R.N. Perry and M. Moens (eds.). *Plant Nematology*. Wallingford, UK: CAB International.
- Santana, A. A. O., R. M. Moura, e E. M. R. Pedrosa. 2003. Efeito da rotação com cana-de-açúcar e *Crotalaria juncea* sobre populações de nematoides parasitos do inhame-da-costa. *Nematologia Brasileira* 27:13-16.
- Towson, A. J., and W. J. Apt. 1983. Effect of soil water potential on survival of *Meloidogyne*

- javanica* in fallow Soil. Journal of Nematology 15:110–114.
- Tuyet, N. T., A. Elsen, H. H. Nhi, and D. De Waele. 2013. Effect of temperature on the *in vitro* reproductive fitness of *Pratylenchus coffeae* populations from Vietnam. Archives of Phytopathology and Plant Protection 46:556-569.
- Virglierchio, D. R., and R. V. Schmitt. 1983. On the methodology of nematode extraction from field samples: Baermann Funnel modifications. Journal of Nematology 15:438-444.

Received:

13/III/2017

Accepted for publication:

4/VIII/2017

Recibido:

Aceptado para publicación: