

CAPÍTULO 1

Principais espécies de nematoides do algodoeiro no Brasil

Rafael Galbieri
IMA - Primavera do Leste/MT

Guilherme L. Asmus
Embrapa Agropecuária Oeste - Dourados/MS

1. Introdução

Os nematoides causam à produção agrícola internacional perdas anuais estimadas entre US\$ 100 bilhões e US\$ 157 bilhões (Singh et al., 2013). De acordo com Nicol et al. (2011), a porcentagem de dano, e, conseqüentemente, de perdas de produção por esses parasitas, é mais elevada em condições de climas tropicais e subtropicais (14,6%), comparativamente com regiões de climas temperados (8,8%). Para a cultura do algodoeiro nos Estados Unidos, existem trabalhos envolvendo o histórico de perda anual causada por nematoides que apontam para valores entre 4% e 5% da produção total (Weaver, 2015). Esse número é expressivo, pois aquele país é o terceiro maior produtor mundial de algodão, com aproximadamente 3 milhões de toneladas de algodão produzidas anualmente (Embrapa, 2016). Em meados da década de 1980, a perda era de 2%. Acredita-se que o aumento observado ocorra pelos seguintes fatores: melhor conhecimento dos produ-

tores sobre nematoides, realização mais intensa de amostragem e quantificação de nematoides no campo, melhoria na metodologia de estimativa da perda de produção, falta de rotação de culturas como ferramenta de manejo e completa ausência de cultivares com resistência genética a nematoides (Starr et al., 2007).

No Brasil, não há informações sobre as perdas anuais causadas por nematoides, muito menos um histórico de dados passíveis de análise. O que há são informações pontuais, obtidas em ensaios experimentais realizados em áreas sabidamente infestadas por determinados nematoides. Além disso, há o agravante de que a área da produção de algodão vem se deslocando em diferentes regiões do país. Em menos de 40 anos, foi do Nordeste para o Sudeste/Sul, e, mais recentemente, para regiões do Cerrado, no Centro-Oeste brasileiro (Conab, 2016). As perdas causadas por nematoides são insügnificantes em áreas de exploração agrícola recente. Trabalhos relatam que oito anos de atividade agrícola com algodoeiro conüguram-se tempo razoável para que sejam detectados problemas com ütonematoides. Esses fatores somados diücultam um histórico preciso de perdas de produção causadas por nematoides no algodoeiro a nível nacional. No entanto, mesmo com essa falta de informação, acredita-se que os valores de perdas sejam superiores aos veriücados nos Estados Unidos, já que, nas condições do Cerrado, tanto o clima como modelo de produção favorecem a disseminação e a multiplicação de nematoides.

Há mais de 4.100 espécies de nematoides parasitas de plantas descritas (Decraemer & Hunt, 2006). Dessas, cinco são tidas como causadoras de danos expressivos à produção mundial de algodão: *Meloidogyne incognita*, *Rotylenchulus reniformis*, *Pratylenchus brachyurus*, *Hoplolaimus columbus* e *Belonolaimus longicaudatus* (Bridge, 1992; Starr, 1998; Starr et al., 2007). No Brasil, somente as três primeiras espécies se fazem presentes nas regiões produtoras, com ocorrência variada (para o Estado de Mato Grosso, essa distribuição pode ser observada com detalhes no Capítulo 2 deste livro). No geral, *M. incognita*, *R. reniformis* e *P. brachyurus* ocorrem em 24,4%, 12,8% e 96,2% das áreas do Estado, respectivamente.

Essas três espécies de ütonematoides estão entre as dez de maior importância em todo o mundo (Jones et al., 2013), com ca-

pacidade de parasitar também a cultura da soja, tornando-se um grande desafio manter suas populações abaixo do nível de dano nos sistemas de produção vigentes no Brasil.

O presente capítulo tem como objetivo principal descrever essas três espécies de parasitas do algodoeiro, no sentido de introduzir conhecimentos básicos que ajudarão no entendimento dos assuntos posteriores apresentados nesta obra.

2. Meloidogyne incognita

O gênero *Meloidogyne* é considerado o mais importante entre os nematoides parasitas de plantas cultivadas (Jones et al., 2013), vulgarmente conhecido por nematoides-das-galhas. Segundo Sasser (1980), o parasitismo das culturas por esses nematoides é um dos maiores obstáculos à produção de alimentos e fibras no mundo. Embora tenham sido descritas cerca de cem espécies de *Meloidogyne* até o momento (Jones et al., 2013; Noe, 2010), apenas quatro delas são responsáveis por aproximadamente 95% dos prejuízos causados à agricultura no mundo: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. hapla* (Moura, 1996; Noe, 2010).

Dois espécies de *Meloidogyne* são parasitas do algodoeiro, *M. incognita* e *M. acronema*. Porém, apenas a primeira apresenta importância global, com ocorrência em praticamente todas as regiões produtoras e causando danos relevantes à produção mundial de fibra (Bridge, 1992; Starr, 1998). *M. acronema* tem ocorrência pontual somente no sul do Mali e em regiões semiáridas da África do Sul (Bridge, 1992; Starr et al., 2005).

2.1 Biologia

Por meio de hospedeiros diferenciadores, é possível separar quatro raças em *M. incognita* (raças 1, 2, 3 e 4). As raças 3 e 4 são patogênicas ao algodoeiro; têm distribuição mundial e, aparentemente, nível similar de agressividade (Starr, 1998). A raça 3, porém, é a mais comum em algodoeiros no Brasil (Asmus et al., 2015).

O nematoide-das-galhas apresenta as fases de ovo, quatro estádios juvenis e a fase adulta; seu ciclo biológico é influenciado por diferentes fatores, como temperatura, umidade, plantas hos-

pedeiras, entre outros. De modo geral, atinge a última fase entre três e quatro semanas (Ferraz & Monteiro, 1995). Durante o ciclo, ocorrem quatro trocas de cutículas, ou ecdises, sendo os períodos entre duas trocas seguidas denominados estádios larvais ou juvenis (J1, J2, J3 e J4). Com a quarta ecdise, termina o quarto estágio juvenil e o nematoide entra na fase adulta. Normalmente, por meio de estímulos externos, como exsudados radiculares, temperatura, umidade, etc., os nematoides eclodem dos ovos. Na falta de tais estímulos, sobrevive durante certo período dentro do ovo, com baixo nível de metabolismo.

Os juvenis de primeiro estágio passam por uma ecdise ainda dentro do ovo. Os J2, vermiformes, eclodem usando seus estiletos para quebrar a casca dura dos ovos (Noe, 2010). Essa é a única fase migradora e infectiva do nematoide, com grande importância biológica. A movimentação do J2 no solo é influenciada, dentre outros fatores, pela estrutura do solo e pela distribuição de poros (Fujimoto et al., 2010). Normalmente, este estágio é encontrado no solo, ao contrário dos outros (J3 e J4) e das fêmeas adultas, que são encontrados necessariamente nas raízes, configurando sua condição de nematoide endoparasita sedentário. O juvenil infectivo (J2) penetra nas extremidades das raízes, próximo à região apical, e migra no córtex até alcançar o estelo, onde inicia o parasitismo; incita a formação de quatro a oito células nutritoras, hipertrofiadas (células gigantes), com citoplasma denso, de onde obtém o alimento. As células gigantes funcionam como um grande dreno biológico, desviando o fluxo descendente dos nutrientes do xilema para a alimentação do nematoide (Noe, 2010). Em condições favoráveis, o tempo necessário para completar o estágio J2 é, em média, 14 dias, enquanto que o período combinado entre os estádios J3 e J4 é de 4-6 dias (Moens et al., 2009).

As fêmeas adultas, ao atingirem a maturidade, tornam-se obesas, com formato de pera ou abacate, e, normalmente, ficam com a região posterior do corpo exposta na superfície radicular (Figura 1B-C). Sob condições ideais de iluminação e isolamento, é possível a visualização das fêmeas a olho nu, quando retiradas do interior das raízes parasitadas (Figura 1D). Produzem um complexo de substâncias gelatinosas que são expelidas pelo ânus, e que ficam acumuladas sobre a região perineal. Forma-se então uma massa gelatinosa arredondada, clara e transparente, em que são

depositados os ovos, motivo pelo qual também é conhecida como massa de ovos. Após alguns dias, essa massa torna-se amarela e cremosa, passando para marrom escura (Moura, 1996); ela protege os ovos da dessecação e pode ter ação antimicrobiana (Starr, 1998). A visualização dessas massas é facilitada com a utilização de corantes específicos, que reagem com as substâncias que as compõem (Figura 1A). Cada fêmea pode colocar de 200 a 1.000 ovos, em média 400 (Asmus et al., 2015).

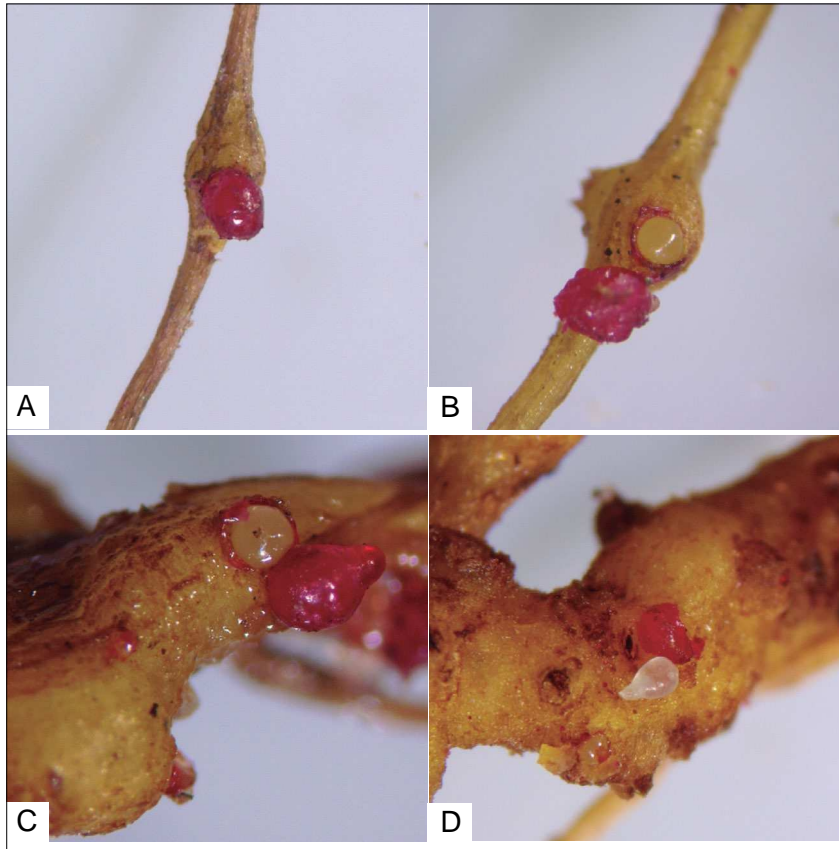


Figura 1. Ampliação de raiz de algodoeiro parasitada por *Meloidogyne incognita* evidenciando massas de ovos coradas de vermelho pela ação da Áoxina B. Destaque para os sintomas de galhas, as massas de ovos e a fêmea do nematoide. (A): galha e massa de ovos (em vermelho); (B e C): remoção/deslocamento das massas de ovos e possível visualização de parte posterior da fêmea (estrutura de coloração branco-leitosa). (D): visualização total do corpo da fêmea removida do interior da galha. Fonte: Rafael Galbieri.

M. incognita se reproduz por partenogênese mitótica obrigatória. Os machos, quando presentes, possuem vida efêmera e cedo abandonam o hospedeiro, são vermiformes e não há evidências de que se alimentem (Moens et al., 2009). Em situações normais e em condições adequadas ao parasitismo, há predomínio de fêmeas. Já sob estresse para o parasitismo — plantas más hospedeiras, alta competitividade por alimentos no sistema radicular, plantas altamente parasitadas, debilitadas ou velhas —, pode haver aumento do número de machos em relação às fêmeas (Moura, 1996; Jones et al., 2013).

2.2 Ecologia

A ocorrência de meloidoginose está quase sempre associada a clima quente, comum em regiões tropicais e subtropicais, apresentando faixa ideal de temperatura para seu desenvolvimento entre 25° C e 30° C. Outro fator importante que influencia a ocorrência de *M. incognita* é a textura do solo. Diferentes trabalhos mostram que o nematoide-das-galhas apresenta grande preferência por solos arenosos e médio-argilosos (Starr, 1998; Asmus, 2004; Asmus et al., 2015).

Uma característica importante do nematoide-das-galhas é sua capacidade de sobreviver no ambiente na ausência da planta hospedeira principal; diferentes plantas daninhas podem servir como hospedeiras alternativas durante a entressafra da cultura (Davis & Webster, 2005). Também plantas de cobertura, normalmente utilizadas para supressão de plantas daninhas e aumento de matéria orgânica no solo, podem ser hospedeiras do nematoide (Asmus et al., 2005). Além disso, por conta da alta taxa de multiplicação de *M. incognita* durante a safra, a população pode persistir para a safra seguinte mesmo ocorrendo grande mortalidade de ovos e juvenis de segundo estágio. Por outro lado, existem situações em que a persistência do nematoide no solo depende de sua sobrevivência na ausência de alimentação, ou na habilidade de resistir a adversidades ambientais, como temperaturas extremas e dessecação (Evans & Perry, 2009). Na ausência de plantas hospedeiras, o nematoide das galhas pode sobreviver de seis a 12 meses (Starr, 1998; Asmus et al., 2015).

O solo é um sistema biológico complexo, e as atividades da maioria de seus habitantes afetam outros organismos presentes. Já foram relatadas inúmeras interações envolvendo nematoide-das-

-galhas, algodoeiro e fungos de solo (Starr, 1998). O complexo mais conhecido é o que ocorre entre *M. incognita* e o patógeno causador da murcha de Fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*). A influência de nematoides na ocorrência da murcha de Fusarium é tão importante que o controle tem de ser simultâneo, mesmo que se cultivem variedades resistentes ao fungo. O efeito do nematoide não é o de simplesmente facilitar a penetração, mas também o de predispor fisiologicamente o hospedeiro à atuação do fungo (Devay et al., 1970; Cia & Salgado, 2005). No capítulo 2o deste livro, é apresentada, do ponto de vista prático, essa forte relação, quando analisada a incidência da murcha de Fusarium no Estado de Mato Grosso, em áreas de ocorrência de nematoide-das-galhas. Outras interações conhecidas são as que ocorrem entre *M. incognita* e o aumento de severidade de doenças em plântulas causadas por *Pythium* spp. e *Rhizoctonia solani* (Brodie & Cooper, 1964; Cauquil & Shepherd, 1970; Al-Hazmi & Al-Nadary, 2015).

2.3 Sintomas e danos ao algodoeiro

Como já mencionado, os nematoides-das-galhas são endoparasitas sedentários. Induzem a formação de sítio de alimentação na região do estelo, causando modificações celulares, como o aumento da divisão e da multiplicação celular no córtex da raiz, próximo do sítio de alimentação, resultando em galhas, principalmente nas raízes laterais. O parasitismo resulta em sistema radicular menor, com poucas raízes laterais. O gênero *Meloidogyne* é um dos poucos que permitem diagnóstico positivo pelo exame visual das raízes, o que pode ser uma das razões por que ele parece ser o nematoide parasita de plantas mais comum (Noe, 2010). Além de auxiliar na diagnose, o sintoma de galha pode ser utilizado para, facilmente, caracterizar ou selecionar genótipos de algodoeiro para resistência ao nematoide. Por mais que não seja uma regra, existe correlação entre a quantidade do sistema radicular da planta tomada por galhas e a multiplicação do nematoide (Hussey & Janssen, 2002), fato esse que pode ser explorado, preliminarmente, em programas de melhoramento genético do algodoeiro. A Figura 2 ilustra esquematicamente o índice de galhas representado por notas de 0 a 5, enquanto que, na Figura 3, uma avaliação real em condições de casa de vegetação, utilizando o referido índice.

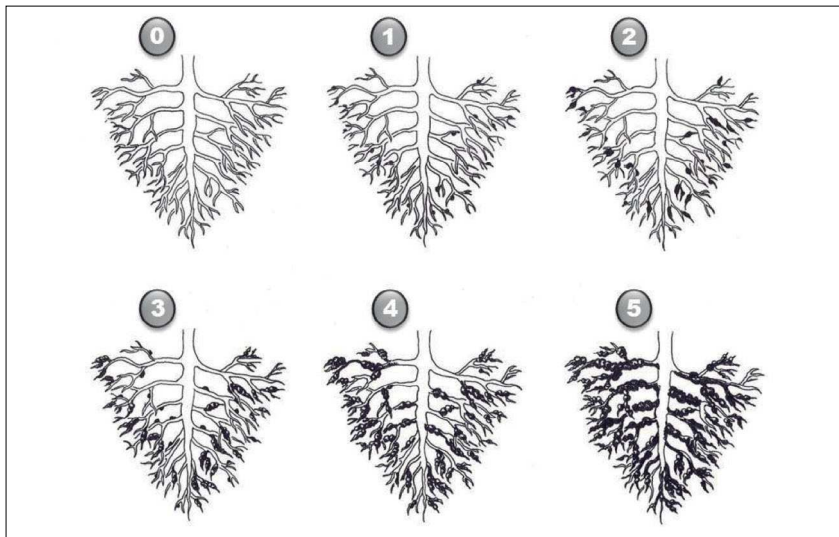


Figura 2. Esquema representativo do índice de galhas, em que 0 = sem galha no sistema radicular, 1 = apenas sinais de infecção com pequeno número de galhas, 2 = < 25% das raízes com galha, 3 = 25-50%, 4 = 51-75%, e 5 = > 75% das raízes com galha (adaptado de Hussey & Janssen, 2002).



Figura 3. Sintomas (galhas) causados por *M. incognita* raça 3 em dois genótipos de algodoeiro inoculados em casa de vegetação (cem dias após a inoculação). À esquerda, o genótipo M240 (resistente, com índice de galha = 0 a 1); à direita, o genótipo FM 966LL (suscetível, índice de galha = 4 a 5). Fonte: Rafael Galbieri.

O parasitismo de *M. incognita* inibe ou bloqueia a translocação de água e nutrientes, bem como resulta em menor desenvolvimento radicular. Como reflexo, plantas apresentam sintomas não específicos, que se assemelham aos de deficiência nutricional e/ou hídrica. É comum observar folhas com mosqueado de coloração amarelada, em contraste com o verde normal, sintoma conhecido como “carijó”. Por vezes, em casos particulares, o mosqueamento pode também ser de coloração avermelhada. Plantas com sistema radicular parasitado pelo nematoide tonam-se mais intolerantes ao estresse hídrico (Bartlen et al., 2014).

Para examinar raízes de plantas com sintomas, é muito importante retirá-las cuidadosamente do solo, de preferência quando este não estiver muito seco, usando-se de uma pá ou ferramentas equivalentes. Quando as plantas são arrancadas sem o devido cuidado, pode haver quebra das raízes laterais, que ficam no solo, parte em que as galhas são mais evidentes. Neste caso, o índice de galha pode ser subestimado (Starr et al., 2005).

3. *Rotylenchulus reniformis*

Das dez espécies descritas de *Rotylenchulus*, apenas *R. reniformis* e *R. parvus* parasitam o algodoeiro (Robinson et al., 1997; Starr, 1998). *R. reniformis*, conhecido comumente como nematoide reniforme, está amplamente distribuído nas regiões tropicais e subtropicais, enquanto que *R. parvus* tem sido encontrado somente na África (Bridge, 1992; Starr, 1998). *R. reniformis* é considerado um dos principais problemas fitossanitários do algodoeiro; sua importância vem crescendo mundialmente, sobretudo nos últimos 15 anos (Asmus et al., 2015). No Brasil, são visíveis o aumento populacional e os danos causados pelo nematoide, principalmente nas condições do Cerrado, nas áreas cultivadas com soja e algodoeiro (item abordado no Capítulo 2).

3.1 Biologia

O nematoide reniforme é caracterizado como semiendoparasita sedentário. De forma semelhante ao nematoide-das-galhas, apresenta também quatro estádios juvenis. A primeira ecdise ocorre

ainda no interior do ovo e, após a eclosão dos J2, ele passa por mais duas fases no solo até tornar-se um adulto imaturo. Durante essas fases do pré-parasitismo, o nematoide não se alimenta. As fêmeas imaturas, vermiformes, constituem-se no único estágio infectivo, e não o J2, como é o caso de *M. incognita* (Bridge, 1992); elas penetram nas raízes das plantas, inserindo aproximadamente um terço da parte anterior de seu corpo, estabelecendo os sítios de alimentação nas células da região da endoderme, no periciclo e nos tecidos do cócema de raízes jovens (Jones et al., 2013). Diferentemente de *M. incognita*, a infecção por reniformes não tem restrição quanto ao posicionamento da infecção nas raízes; eles podem alimentar-se em qualquer ponto ao longo de seu comprimento (Starr, 1998). O nematoide também induz o estabelecimento do sítio de alimentação a partir de uma célula da endoderme, que aumenta de tamanho e incorpora células do periciclo, do parênquima vascular e do cócema, em um número máximo de 200 células da planta, uma vez que causa a dissolução das paredes celulares adjacentes (Noe, 2010). Após estabelecer o sítio de alimentação, progressivamente, a porção posterior do corpo da fêmea, posicionada externamente, na raiz, aumenta em volume, resultando na forma de rim (Figura 4).

As fêmeas adultas tornam-se sedentárias logo após o início da alimentação, e os machos permanecem móveis no solo. *R. reniformis* é uma espécie antrópica; os machos são atraídos pelas fêmeas logo após estas atingirem a maturidade. A produção de ovos começa entre cinco e sete dias após a infecção das raízes das plantas. Semelhantemente ao nematoide-das-galhas, os ovos de *R. reniformis* são depositados em uma matriz gelatinosa, normalmente em número de até cem ovos (Figura 4), produzida por glândulas vaginais, em contraste com *M. incognita*, que a produz por glândulas retais (Robinson et al., 1997). Todo o ciclo de vida do nematoide é completado em 24-30 dias, e a temperatura tem grande influência nesse período.

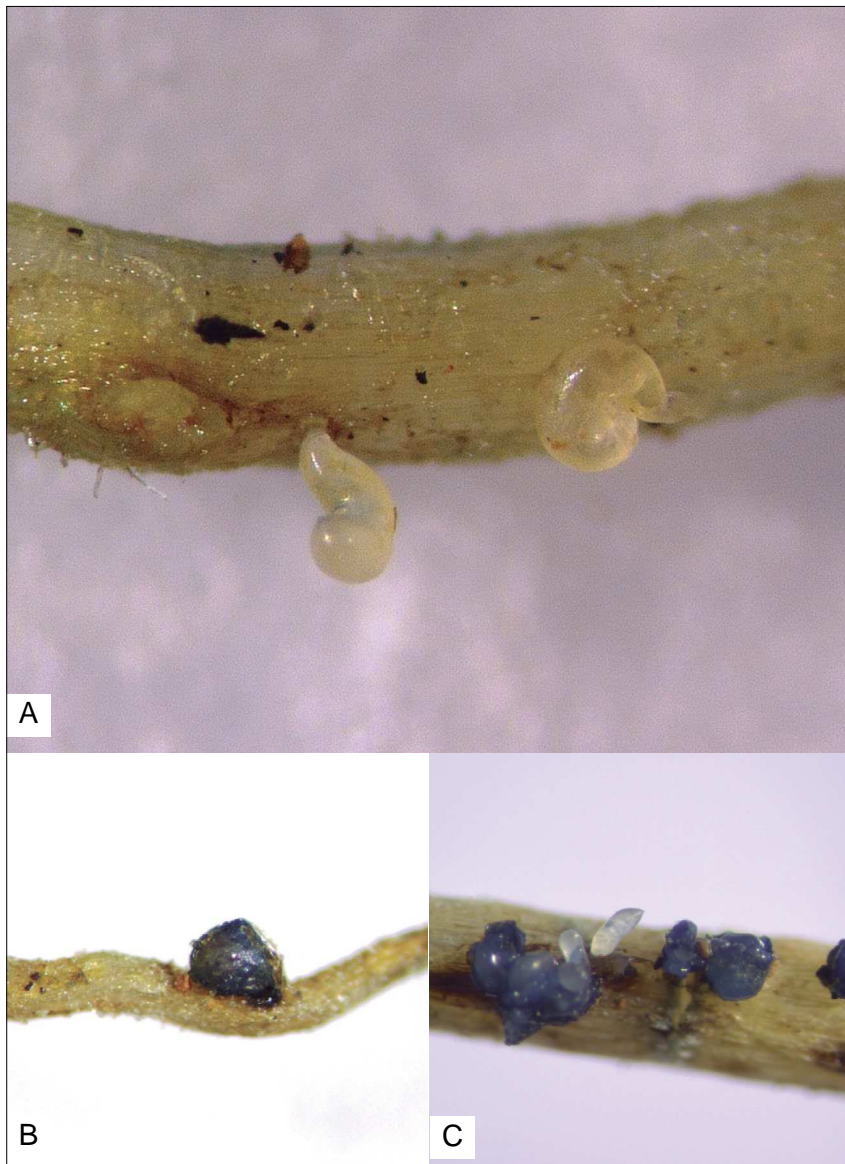


Figura 4. Ampliação de raízes de algodoeiro parasitadas por *R. reniformis*. (A): Parte posterior das fêmeas do nematoide (estrutura de coloração branco-leitosa em forma de rim); (B e C): massas de ovos em azul, pela ação do corante Trypan Blue. Fonte: Rafael Galbieri.

3.2 Ecologia

Uma das características relevantes, que faz do nematoide reniforme um dos principais parasitas de plantas cultivadas mundialmente, é sua capacidade de adaptar-se às diferentes condições ambientais/edáficas. O nematoide pode ser encontrado em diversos tipos de solo, porém apresenta tendência para solos de textura média, siltosos ou argilosos (Robinson et al., 1997; Asmus, 2004). A espécie apresenta grande capacidade de sobrevivência na ausência do algodoeiro, não somente por ser uma espécie polífaga (mais de 300 espécies de plantas hospedeiras), mas, sobretudo, em função da presença de diferentes mecanismos. Por exemplo, em condições de baixa umidade, o nematoide entra em estado de anidrobiose, suportando a dessecação melhor que outras espécies. Além disso, o nematoide pode ter populações elevadas em profundidades maiores, como em 40-120 cm (Robinson et al., 2005; Asmus & Ishimi, 2009), ficando menos sujeito a variações ambientais, principalmente em período de estiagem. Na ausência de plantas hospedeiras, o nematoide pode sobreviver por até dois anos (Asmus et al., 2015).

De forma semelhante a *M. incognita*, o nematoide reniforme apresenta interação com os fungos causadores das murchas de *Fusarium* e *Verticillium*, doenças favorecidas em áreas infestadas com o nematoide. Além disso, o parasitismo de *R. reniformis* favorece a ocorrência de doenças em plântulas causadas, principalmente, por *R. solani* e diferentes espécies de *Fusarium* (Palmateer et al., 2004).

3.3 Sintomas e danos ao algodoeiro

No Brasil, a cultura do algodoeiro é, sem dúvida, a que sofre mais prejuízos em função do nematoide reniforme (Ferraz & Monteiro, 1995). Campos infestados pelo parasita não apresentam plantas com sintomas reológicos tão expressivos como os provocados pelo nematoide-das-galhas; perdas na produção podem ocorrer sem qualquer tipo de sintomas expressivos. Em campos com alto nível de infestação, as plantas podem apresentar sistema radicular com menor volume e aspecto mais sujo mesmo após lavagem em água corrente. Isso ocorre pela aderência de partículas de solo nas massas de ovos do nematoide (Starr et al., 2005). As plantas ataca-

das têm desenvolvimento inferior ao considerado normal, com reboleiras normalmente maiores que aquelas provocadas por outros nematoides (Figura 5). Somente com alta densidade populacional do nematoide no solo é possível visualizar sintomas de “carijó” nas folhas de algodoeiro (Figura 5). As condições climáticas, bem como o estado nutricional das plantas, podem influenciar a agressividade dos sintomas provocados pelo nematoide.

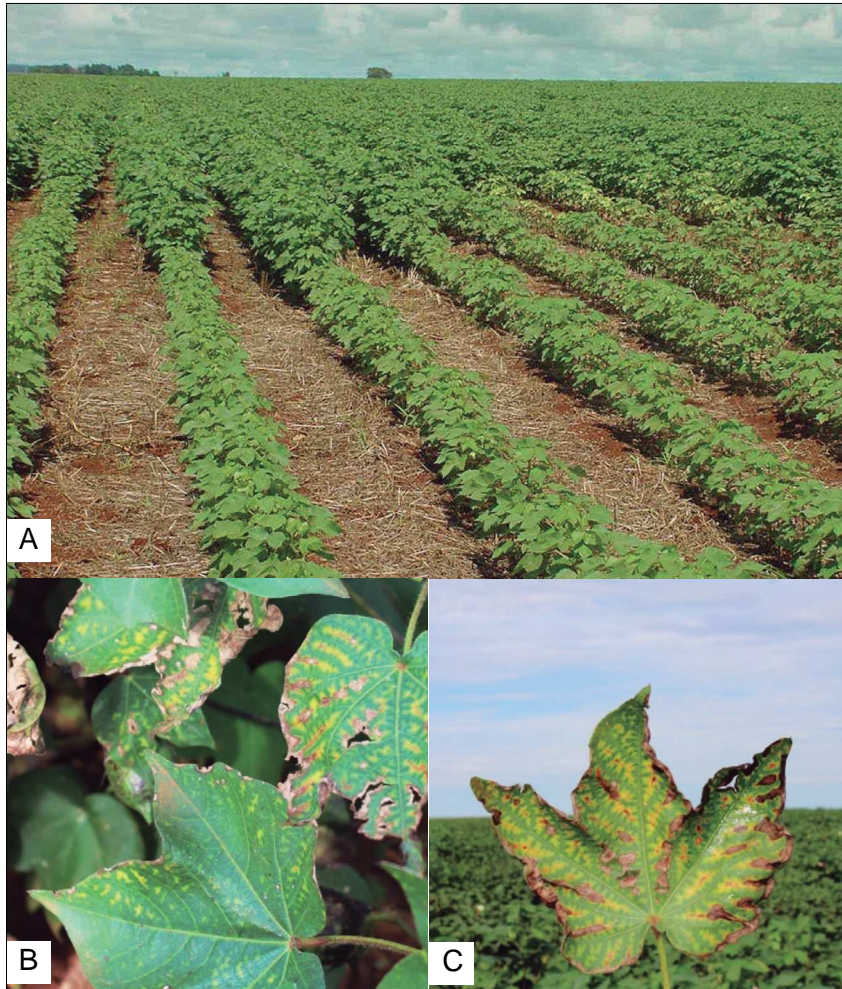


Figura 5. Sintomas reAexos causados por *Rotylenchulus reniformis*. (A): reboleira no campo. (B e C): sintomas de “carijó” nas folhas, em área com alta infestação em Mato Grosso (4.500 espécimes por 200 cm² de solo). Fontes: (A) Guilherme L. Asmus; (B e C) Rafael Galbieri.

4. *Pratylenchus brachyurus*

O gênero *Pratylenchus* é considerado como o segundo (Goulart, 2008) ou terceiro (Jones et al., 2013) mais importante pelos impactos econômicos mundiais que causa às culturas agrícolas, superado somente pelo nematoide-das-galhas e de cisto (*Heterodera* e *Globodera*).

A espécie *Pratylenchus brachyurus*, conhecida como nematoide das lesões radiculares, é o de maior ocorrência em área de produção de algodão no Brasil, principalmente nas condições do Cerrado brasileiro (item abordado no Capítulo 2). No entanto, os danos e, conseqüentemente, as perdas de produção de algodão no país não são muito evidentes, indicando que, por mais que o algodoeiro seja hospedeiro ao nematoide, apresenta também boa tolerância (Inomoto et al., 2001; Machado et al., 2006). É possível que, com alta população e de forma indireta, associado a outros fatores, como estresse hídrico, compactação, de ciência nutricional etc., os danos sejam mais expressivos.

4.1 Biologia

As fêmeas depositam cerca de 30 ovos ao longo de suas vidas, normalmente dentro das raízes ou no solo próximo à superfície (postura isolada, sem formação de massas de ovos); o macho é raro, sendo a reprodução partenogênica (Asmus et al., 2015). O nematoide tem hábito endoparasita migrador. A primeira ecdise ocorre ainda dentro do ovo, e todos os estádios subsequentes (juvenis e adulto) são móveis e infectivos; não ocorre o sítio permanente de alimentação. O nematoide move-se na região do córtex da raiz, onde se alimenta e se reproduz, mas não ataca a região da endoderme. Tanto a penetração como a migração no interior das raízes são facilitadas por uma combinação de ações: mecânicas (uso do estilete e movimentação de todo o corpo) e tóxica (degradação enzimática das paredes celulares da planta) (Goulart, 2008). Com o estilete, o nematoide absorve o material pré-digerido pelo processo de digestão pré-oral do conteúdo citoplasmático. Seu ciclo de vida varia muito, mas dura entre três e oito semanas, dependendo das condições ambientais (Agrios, 2004), podendo completar-se den-

tro das raízes em condições favoráveis ao parasitismo. Quando as condições são adversas, como, por exemplo, a falta de alimento por conta da senescência da planta ou o excesso de parasitismo, o nematoide terá que migrar para o solo e procurar novas raízes.

4.2 Ecologia

A ocorrência de *P. brachyurus* é favorecida por temperaturas em torno de 30°C e solos com textura média de 15% a 25% de argila (Asmus et al., 2015). O nematoide tem grande capacidade de sobrevivência na ausência da cultura principal. Primeiro, porque é uma espécie polífaga, com ampla gama de hospedeiros, incluindo inúmeras plantas daninhas e diferentes espécies de gramíneas cultivadas (muito usadas em cobertura de solo no sistema de plantio direto no Brasil Central). Segundo, pelo fato de os ovos apresentarem resistência considerável, podendo sobreviver no campo por determinado período. Tanto os ovos quanto os juvenis apresentam os seguintes mecanismos de sobrevivência: criobiose (dormência em baixas temperaturas), anidrobiose (dormência em baixas condições de umidade). Este último fator é muito importante no período seco, na entressafra no Cerrado brasileiro. Há relatos de sobrevivência do nematoide por até 21 meses em solo sem qualquer planta hospedeira e sem irrigação, em condições controladas (Goulart, 2008).

A patogenicidade de *Pratylenchus* pode ser influenciada pela interação com outros patógenos, principalmente fungos habitantes do solo. As interações sinérgicas mais frequentes relatadas são com os fungos causadores de murchas, dos gêneros *Fusarium* e *Verticillium* (Jones & Fosu-Nyarko, 2014).

4.3 Sintomas e danos ao algodoeiro

Como endoparasitas migradores, os nematoides das lesões radiculares destroem tecidos das raízes, causando rompimento superficial e destruição interna, predispondo-os a infecções secundárias por fungos e bactérias. Os danos às plantas hospedeiras são resultados das seguintes ações: espoliadora (alimentação e consumo do conteúdo de células vegetais), mecânica e tóxica (enzima e toxinas). Os sintomas são inespecíficos e podem passar facilmente desperce-

bidos ou serem confundidos com os causados por outros patógenos, de deficiências nutricionais ou estresse hídrico (Goulart, 2008). Na Figura 6, é possível verificar o escurecimento do sistema radicular provocado por *P. brachyurus* e ações de diversos microrganismos em plantas inoculadas em condições de casa de vegetação.



Figura 6. Sintomas causados por nematoides em raízes de alfofoeiro. (A): escurecimento do sistema radicular inoculado com *P. brachyurus*. (B): à esquerda, raízes necrosadas pelo parasitismo de *P. brachyurus*; à direita, galhas provocadas por *Meloidogyne incognita* (plantas com 80 dias após a inoculação). Fonte: Rafael Galbieri.

5. Quantificações de nematoides

Nematoides parasitas de plantas são parasitas obrigatórios, o que significa que podem alimentar-se somente de células vegetais vivas, e não de plantas mortas em decomposição, bactérias ou fungos. Existe especificidade em relação ao hospedeiro, e as reações das plantas aos ataques de nematoides diferem significativamente de acordo com a espécie e a cultivar. Os danos que os nematoides podem causar a uma cultura dependem de sua densidade populacional no solo (Greco & Di Vito, 2009); há diversos trabalhos mostrando essa relação na cultura do algodoeiro (Starr, 1998). No geral, a população de dano estabelecida para nematoide-das-galhas é baixa, ao redor de cem indivíduos (em 200 cm³ de solo). Para o nematoide reniforme, esse valor está em torno de 600 espécimes (em 200 cm³ de solo). No caso do nematoide das lesões, ainda não se definiu a população de dano. Acredita-se, porém, que seja relativamente alta.

Para um sistema de manejo de nematoides eficiente, é fundamental saber quais espécies estão presentes no solo de determinada gleba, talhão ou propriedade, bem como suas densidades populacionais. Há diferentes estratégias para amostragem e quantificação de nematoides no campo. Por exemplo, o procedimento pode ser realizado antes do plantio do algodoeiro, com os inconvenientes de que, nesse período, a população do nematoide estará mais baixa e não haverá plantas e raízes disponíveis para auxílio na diagnose com base em sintomas no campo (reboleiras, folhas “carijó”, galhas etc.). Por outro lado, há a vantagem de se poder caminhar facilmente, sem obstáculos, pela área de amostragem, permitindo, inclusive, o uso de veículos apropriados para o procedimento. Outra estratégia consiste em proceder à amostragem durante a safra, quando a cultura está em seu desenvolvimento, entre 60 e 120 dias após o plantio, visando à implementação de medidas de manejo para a safra posterior. Neste caso, o objetivo é quantificar o nematoide quando a população está em seu auge, com possibilidade de quantificação também nas raízes do algodoeiro. Ambos os métodos têm suas vantagens; é necessário padronizar os procedimentos no tempo, ou, em um cenário ideal, proceder das duas formas, para possibilitar comparações na área, com objetivo de manejo. Outra

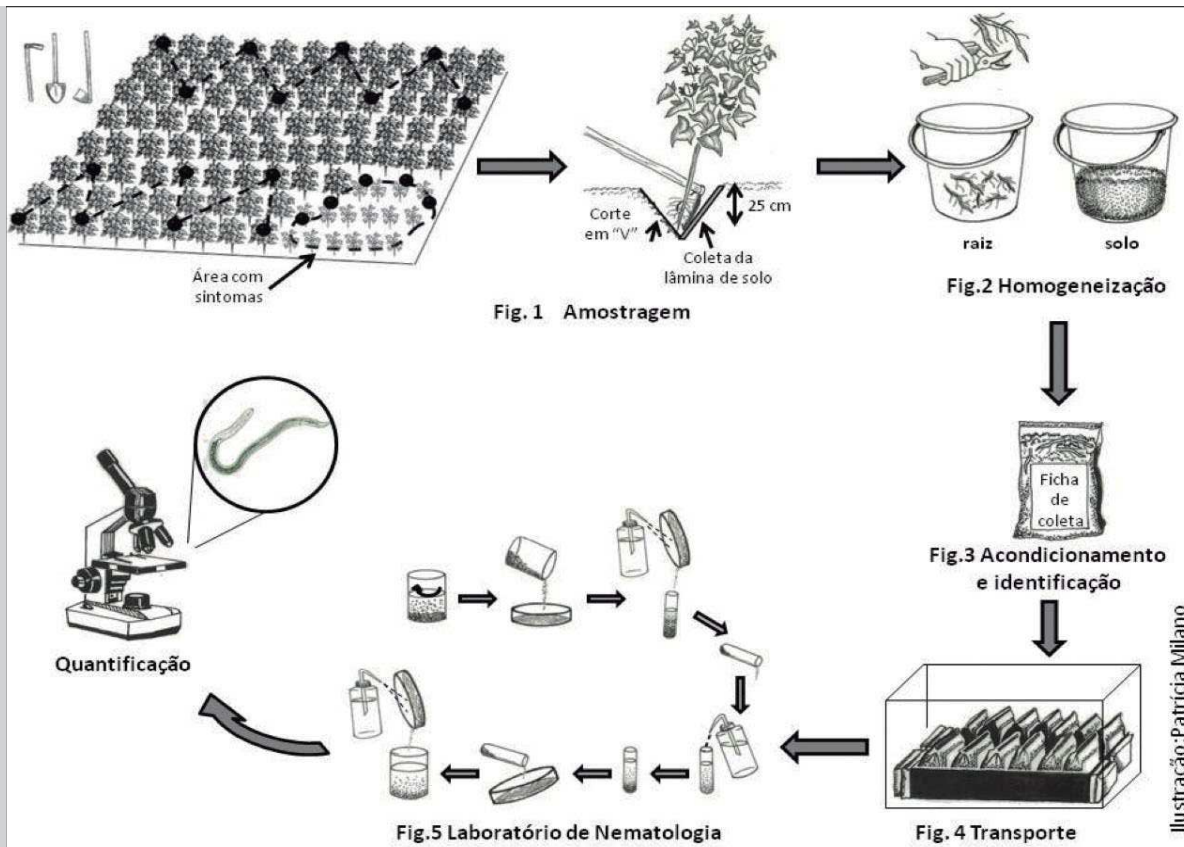
medida importante é nunca coletar na entressafra com solo excessivamente seco, principalmente nas condições do Cerrado brasileiro (agosto-setembro).

Segundo Galbieri et al. (2015), o caminhamento para coleta em determinado talhão pode ser efetuado em zigue-zague, em função de a distribuição de nematoides no campo não ser uniforme, com formação de agregados (reboleiras). Devem-se coletar as amostras na linha de plantio, na região da rizosfera das plantas. Os nematoides vão permanecer preferencialmente onde houver maior quantidade de raiz; assim, recomenda-se a coleta na profundidade de 0-25 cm. No caso de *R. reniformis*, observam-se populações mais elevadas em profundidade maior, na faixa de 20-40 cm, em determinados períodos do ano, o que justifica fazer esse procedimento em áreas com suspeita do nematoide. Coletar entre 20 e 25 subamostras a cada, no máximo, 10 ha. Deve-se evitar fazer a amostragem no centro das reboleiras, pois, nesse local, possivelmente as plantas/raízes já se encontram muito danificadas, podendo a população de nematoides apresentar baixa densidade. Nessas condições, recomenda-se amostrar as plantas/raízes nas bordas de áreas com plantas saudáveis. Formar uma amostra composta de, no mínimo, 500 cm³ de solo e 20 g de raízes por área amostrada. Lembrar-se de que as maiores quantidades de nematoides estão nas raízes laterais e radículas, e não na raiz pivotante. O material coletado, solo ou raiz, tem de ser devidamente homogeneizado, identificado, acondicionado e transportado para análise em laboratório (Figura 7).

No Brasil, existem diferentes laboratórios que prestam serviços de análise nematológica. Antes do procedimento, é conveniente informar-se com os técnicos do laboratório sobre orientações para as coletas. É importante atentar-se que diferentes laboratórios podem expressar resultados em proporções diferentes em seus laudos, visto não haver um padrão oficial no Brasil ou mesmo no mundo. Para solo, as mais utilizadas no Brasil expressam o número de nematoides em 200 cm³ ou 100 cm³ e, para raízes, em 5 g ou 10 g.

Para interpretação mais cuidadosa dos laudos de análise nematológica, é importante o conhecimento da biologia das espécies e suas relações com o hospedeiro. Na Figura 8, é possível ver um esquema diagramático do posicionamento do parasitismo em relação à anatomia radicular dos três diferentes gêneros de nematoides parasitas do algodoeiro. Observa-se que no gênero *Rotylenchulus*

Figura 7. Esquema de amostragem, homogeneização, acondicionamento, identificação e transporte de amostras de solo e raiz na cultura do algodoeiro para quantificação de nematoides (Galbieri et al., 2015).



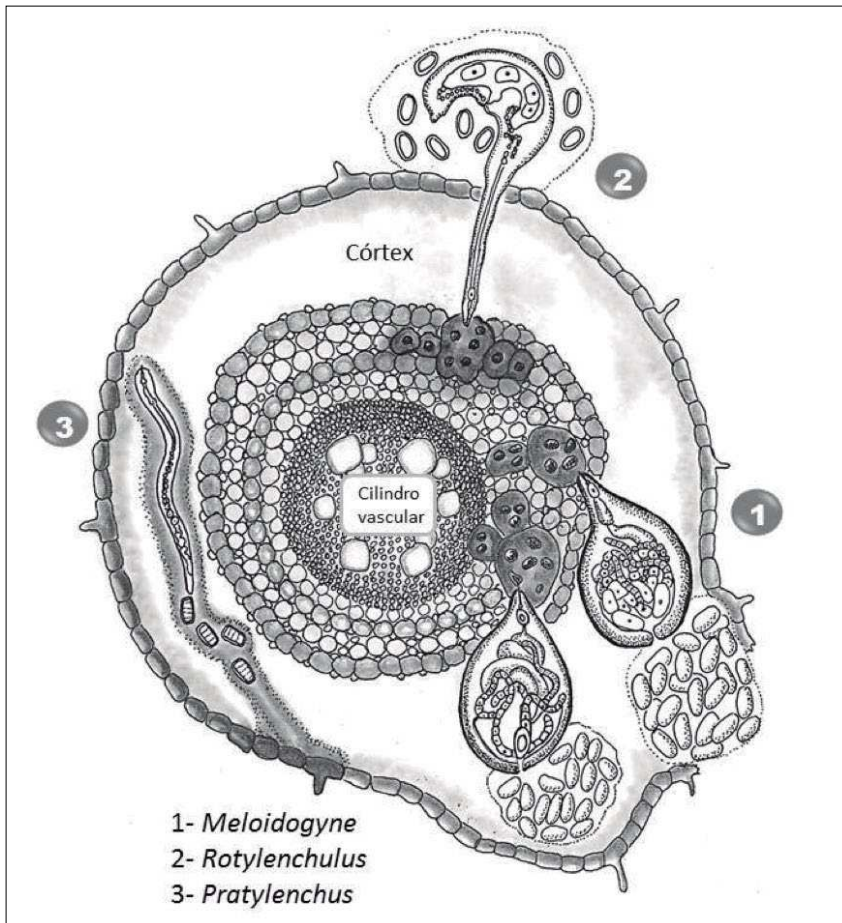


Figura 8. Representação diagramática do posicionamento do parasitismo de três diferentes gêneros de nematoides em relação à anatomia radicular (adaptado de Hunt et al., 2005; Gheysen & Jones, 2006).

a deposição dos ovos pela fêmea acontece mais externamente nas raízes (semiendoparasita). Para *Meloidogyne*, parte da colocação dos ovos acontece na superfície radicular (endoparasita). Já para o gênero *Pratylenchus*, a postura é isolada, principalmente dentro do sistema radicular, na região do córtex.

O posicionamento do nematoide em relação ao sistema radicular, associado ao número médio de ovos produzidos por fêmea, tem influência na evolução do número de espécimes de nematoide no

decorrer da cultura. Na Figura 9, é possível observar a relação entre o número de indivíduos dos referidos nematoides no solo com o número no sistema radicular. Essa relação foi obtida a partir de dados de 1.799 amostras coletadas na cultura do algodoeiro no Estado de Mato Grosso. No entanto, para a composição da relação solo-raiz, foram consideradas somente as médias em que o nematoide ocorreu, ou seja, 439 amostras com *M. incognita*, 230 com *R. reniformis* e 1.730 com *P. brachyurus*. Foram consideradas unidades de 200 cm³ de solo e 5 g de raiz, em coletas realizadas entre 60 e 120 dias após o plantio da cultura do algodoeiro. É possível observar maior quantidade de nematoides reniformes no solo do que no interior das raízes, comparativamente a *P. brachyurus*, que apresentou relação no sentido oposto, ou seja, maior número de nematoides no interior das raízes em comparação às duas outras espécies. Por esse motivo, a amostragem de raízes torna-se fundamental para a quantificação de *P. brachyurus*.

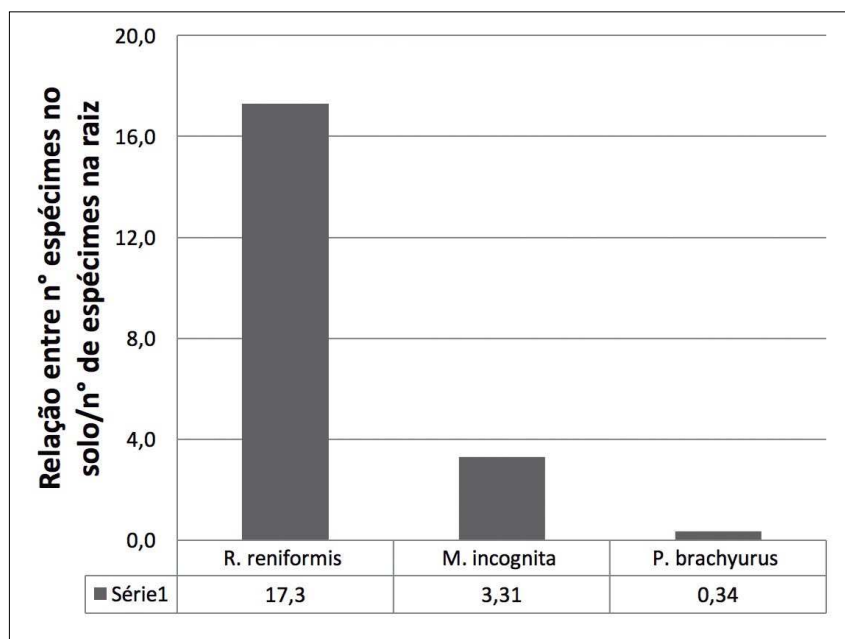


Figura 9. Relação entre o número médio de espécimes de nematoides no solo/raiz (solo = 200 cm³ e raiz = 5 g). Amostras coletadas em 60-120 dias após o plantio em 1.799 talhões com algodoeiro nas safras de 2011 a 2015, no Estado de Mato Grosso. Relação solo-raiz feita por médias populacionais a partir das amostras em que o nematoide ocorreu.

6. Considerações Finais

Este capítulo teve por objetivo apresentar informações básicas da biologia geral das principais espécies de nematoides e toparasitas que incidem sobre a cultura do algodoeiro, como introdução aos demais capítulos, voltados para os métodos de manejo nas condições do Cerrado brasileiro.

Há diferenças expressivas entre a biologia, a ecologia e os sintomas provocados pelas três principais espécies de nematoides do algodoeiro no Brasil (*M. incognita*, *R. reniformis* e *P. brachyurus*). É desejável que técnicos envolvidos com a produção de algodão conheçam essas particularidades, visando o aprimoramento do processo decisório sobre medidas de manejo.

Referências

ABRAPA– Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. Estatísticas: Produção mundial. [Brasília], 2016. Disponível em: <http://www.abrapa.com.br/estatisticas/Paginas/producao-mundial.aspx>. Acesso em 29 fev., 2016.

AGRIOS, G. Plant diseases caused by nematodes. In: Agrios, G. (ed). Plant pathology, Elsevier Academic Press, San Diego, Estados Unidos, 2004. p. 825-874.

AL-HAZMI, A. S.; AL-NADARY, S. N. Interaction between *Meloidogyne incognita* and *Rhizoctonia solani* on green beans. Saudi Journal of Biological Sciences, 22:570-574, 2015.

ASMUS G. L. Ocorrência de nematóides toparasitos em algodoeiro no estado de Mato Grosso do Sul. Nematologia Brasileira, v. 28(1), p. 77-86, 2004.

ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M.; SAZAKI, C. S. S.; FERRAZ, M. A. Reação de algumas culturas de cobertura utilizadas no sistema plantio direto a *Meloidogyne incognita*. Nematologia Brasileira, 29(1):47-52, 2005.

ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M.; SILVA, R. A.; GALBIERI, R. Manejo de nematoides. In: Freire, E.C. (ed.). Algodão no cerrado do Brasil. Abrapa, Brasília, Brasil: Gráfica e Editora Positiva, 2015. p.445-483.

ASMUS, G. L.; ISHIMI, C. M. Flutuação populacional de *Rotylenchulus reniformis* em solo cultivado com algodoeiro. Pesq. Agropec. Bras., 44(1):51-57, 2009.

- BARTLEN, D. G.; JONES, M. G. K.; HAMMES, U. Z. Vascularization and nutrient delivery as root-knot nematode feeding in host roots. *Journal of Experimental Botany*, 65(7):1789-1798, 2014.
- BRIDGE, J. Nematodes. In: Hillocks, R. J. (ed). *Cotton disease*. CAB International, Londres, Reino Unido, 1992. p. 331-353.
- BRODIE, B. B.; COOPER, W. E. Relation of plant parasitic nematodes to post-emergence damping-off of cotton. *Phytopathology*, 54:1023-1027, 1964.
- CAUQUIL, J.; SHEPHERD, R. L. Effect of root-knot nematode-fungi combinations on cotton seedling disease. *Phytopathology*, 60:448-451, 1970.
- CONAB. Safras – grãos safra 2014/2015 [acessado 01 de fevereiro 2016] Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>
- CIA, E.; SALGADO, C. L. Doenças do algodoeiro (*Gossypium* spp.). In: Kimati, H.; Amorim, L.; Rezende, J. A. M.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L. E. A. (eds.). *Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas*. 4 ed, v. 2, São Paulo, Brasil, Agronômica Ceres, 2005. p. 41-52.
- DAVIS, R. F.; WEBSTER, T. M. Relative host status of selected weeds and crops for *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis*. *Journal of Cotton Science*, 9:41-46, 2005.
- DEVAY, J. E.; GUTIERREZ, A. P.; PULLMAN, G. S.; WAKEMAN, R. J.; GARBBER, R. H.; JEFFERS, D. P.; SMITH, S. N.; GOODELL, P. B.; ROBERTS, P. A. Inoculum densities of *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* and *Meloidogyne incognita* in relation to the development of *Fusarium* wilt and the phenology of cotton plants (*Gossypium hirsutum*). *Ecology and Epidemiology*, 87(3):341-346, 1997.
- DECRAEMER, W.; HUNT, D. J. Structure and classification. In: Perry, R. N.; Moens, M. (eds). *Plant Nematology*. Wallingford, Oxfordshire, Reino Unido: CAB International, 2006. p. 3-32.
- EVANS, A. A. F.; PERRY, R. N.; Survival mechanisms. In: Perry, R.; Moens, M.; Starr, J. *Root-Knot nematodes*, Cambridge, Reino Unido: CBA International, 2009. p. 201-222.
- FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematoides. In: Bergamin Filho, A.; Kimati, H.; Amorim, L. (Eds). *Manual de Fitopatologia*. São Paulo, Brasil: Agronômica Ceres, 1995. p. 168-201.

FUJIMOTO, T.; HASEGAWA, S.; OTOBE, K.; MIZUKUBO, T. 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, 2010.

GALBIERI, R.; INOMOTO, M. M.; SILVA, R. A.; ASMUS, G. L. Manejo de fitonematoides na cultura do algodoeiro em Mato Grosso. In: Belot, J. L. (ed), *Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso*. Cuiabá, Brasil: Editora Casa da Árvore, 2015. p.214-225.

GHEYSEN, G.; JONES, J. T. Molecular aspects of Plant-nematodes interaction. In: Perry, R. N.; Moens, M. *Plant Nematology*. Wallingford, Oxfordshire, Reino Unido: CAB International, 2006. p. 234-254.

GOULART, A. M. C. Aspectos gerais sobre nematoides-das-lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*). *Boletim de pesquisa e desenvolvimento* 219, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF; Brasil, 2008. 30 p.

GRECO, N.; Di VITO, M. Population dynamics and damage levels. In: Perry, R.; Moens, M.; Starr, J. *Root-Knot nematodes*, Cambridge, Reino Unido: CBA International, 2009. p. 246-274.

HUNT, D. J.; LUC, M.; MANZANILLA-LÓPEZ, R. H. Identification, morphology and biology of plant parasitic nematodes. In: Luc, M.; Sikora, R. A.; Bridge, J. (Eds). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*, Wallingford, Oxfordshire, Reino Unido: CAB International, 2005. p. 11-52.

HUSSEY, R. S.; JANSSEN, G. J. W. Root-Knot nematodes: *Meloidogyne* species. In: Starr, J. L.; Cook, R.; Bridge, J. (Eds). *Plant resistance to parasitic nematodes*. Wallingford, Oxon, Reino Unido, Oxon: CAB International, 2002. p. 43-70.

INOMOTO, M. M.; GOULART, A. M. C.; MACHADO, A. C. Z.; MONTEIRO, A. R. Effect of population densities of *Pratylenchus brachyurus* on the growth of cotton plants. *Fitopatologia Brasileira*, 26(2):192-196, 2001.

JONES, M. G. K.; FOSU-NYARKO, J. Molecular biology of root lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.) and their interaction with host plants. *Annals of Applied Biology*, 164:163-181, 2014.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 14(9):946-961, 2013.

MACHADO, A. C. Z.; BELUTI, D. B.; SILVA, R. A.; SERRANO, M. A. S.; INOMOTO, M. M. Avaliação de danos causados por *Pratylenchus brachyurus* em algodoeiro. *Fitopatol. Bras.*, 31(1):11-16, 2006.

MOENS, M.; PERRY, R. N.; STARR, J. L. Meloidogyne species – a diverse group of novel and important plant parasites. In: Perry, R. N.; Moens, M.; Starr, J. L. *Root-knot nematodes*. CAB International, Wallingford, Reino Unido, 2009. p. 1-17.

MOURA, R. M. Gênero *Meloidogyne* e a meloidoginose. Parte I. Revisão Anual de Patologia de Plantas – RAPP, Passo Fundo, Brasil, 1996. p. 4:209-244.

NICOL, J. M.; TURNER, S. J.; COYNE, D. L.; NIJS, L. D.; HOCKLAND, S.; TAHNA MAAFI, Z. Current nematode threats to world agriculture. In: Jones, J.; Cheysen, G; Fenoll, C. (eds), *Genomics and molecular genetics of Plant-Nematode Interactions*. Springer País Baixos, Science+Business Media B.V, 2011. p. 21-43.

NOE, J. P. Nematoides parasitas de plantas. In: Trigiano, R. N.; Windham, M. T.; Windham, A. S. *Fitopatologia: conceitos e exercícios de laboratório*. Porto Alegre, RS, Brasil: Artmed, 2010. p. 83-96.

PALMATEER, A. J.; LAWRENCE, K. S.; SANTEN, E.; MORGAN-JONES, G. Interaction of *Rotylenchulus reniformis* with seedling disease pathogens of cotton. *Journal of Nematology*, 36(2):160-166, 2004.

ROBINSON, A. F.; AKRIDGE, R.; BRADFORD, J. M.; COOK, C. G.; GAZAWAY, W. S.; KIRKPATRICK, T. L.; LAWRENCE, G.W.; LEE, G.; MCGAWLEY, E. C.; OVERSTREET, C.; PADGETT, B.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; WESTPHAL, A.; YONG, L. D. Vertical distribution of *Rotylenchulus reniformis* in cotton fields. *Journal of Nematology*, 37(3):265-271, 2005.

ROBINSON, A. F.; INSERRA, R. N.; CASWELL-CHEN, E. P.; VOVLAS, N.; TROCCOLI, A. *Rotylenchulus* species: identification, distribution, host ranges, and crop plant resistance. *Nematropica*, 27(2):127-180, 1997.

SASSER, J. N. Root-Knot nematodes: a global menace to crop production. *Plant Dis.*, 64:36-41, 1980.

SINGH, S. K.; HODDA, M.; ASH, G. J. Plant-parasitic nematodes of potential phytosanitary importance, their main host and reported yield losses. *OEPP/EPPO Bulletin*, 43(2):334-374, 2013.

STARR, J. L.; Cotton. In: Barker, K. R.; Pederson, G. A.; Windhan, G. L. (ed.). *Plant and nematode interaction*. American Society of Agronomy, Madison, Estados Unidos, 1998. p. 359-379.

STARR, J. L.; CARNEIRO, R. G.; RUANO, O. Nematode parasites of cotton and other tropical fibre crops. In: Luc, M.; Sikora, R.A.; Bridge, J. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture, Wallingford, Oxfordshire, Reino Unido: CAB International, 2005. p. 733-750.

STARR, J. L.; KOENNING, S. R.; KIRKPATRICK, T. L.; ROBINSON, A. F.; ROBERTS, P. A.; NICHOLS, R. L. The future of nematode management in cotton. *Journal of Nematology*, 39(4):283-294, 2007.

WEAVER, D. B. Cotton nematodes. In: Fang, D. D.; Percy, R. G. (eds). *Cotton*, Madison, Estados Unidos: ASA, CSSA and SSSA, 2015. p.1-24.