

Brasília, DF / Setembro, 2024

Reação de cultivares de soja e agressividade de duas raças de *Meloidogyne enterolobii* em condições de casa de vegetação

Jorge Bleno da Silva Verssiani⁽¹⁾, Caio Felipe de Barros Souza⁽²⁾, Paulo Sergio dos Santos⁽³⁾, Carlos Alberto Arrabal Arias⁽⁴⁾, Juvenil Enrique Cares⁽⁵⁾ e Regina Maria Dechechi Gomes Carneiro⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Pesquisador, Staphyt Brasil, Conchal, SP, ⁽²⁾ Fitopatologista autônomo, Unicampo, Maringá, PR. ⁽³⁾ Pesquisador, Staphyt Brasil, Formosa, GO. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁵⁾ Professor, Universidade de Brasília, Brasília, DF. e ⁽⁶⁾ Pesquisadora, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, DF.

Resumo – Várias cultivares de soja atualmente disponíveis no mercado apresentam resistência aos nematoides-das-galhas, incluindo *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita*. Entretanto, pouco se sabe a respeito da reação das cultivares a *Meloidogyne enterolobii*. Recentemente, uma nova raça dessa espécie foi detectada no Brasil parasitando algodão e soja. Esse nematoide tem o potencial de representar um problema em ambas as culturas, uma vez que é patogênico e virulento a várias plantas que possuem genes de resistência a outras espécies de *Meloidogyne*. O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas das principais cultivares de soja da Embrapa, com resistência confirmada a algumas espécies de *Meloidogyne*, às duas populações (goiabeira e algodoeiro) de *M. enterolobii* detectadas no Brasil. Concomitantemente, este estudo teve como objetivo caracterizar a agressividade dessas raças em cultivares de soja. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, em esquema fatorial com 16 cultivares × duas raças de *M. enterolobii*, totalizando 32 tratamentos × oito repetições, e avaliados com duas repetições ao longo do tempo. Ambas as raças de *M. enterolobii* se reproduziram em todos os genótipos de soja (com ou sem resistência genética conhecida), embora com valores moderados a baixos em comparação com sua reprodução em tomateiro. *M. enterolobii* raça do algodoeiro foi considerada estatisticamente mais agressiva às cultivares de soja do que a *M. enterolobii* raça de goiabeira. Apenas ‘BRS 7180 IPRO’ foi moderadamente resistente a ambas as raças, nas duas conduções do experimento, e as demais foram pouco suscetíveis ou suscetíveis. Tendo em vista a importância e as perspectivas de expansão da cultura da soja, os resultados deste estudo contribuem para uma melhor compreensão sobre as repostas de resistência e de agressividade das duas raças de *M. enterolobii* em soja.

Termos para indexação: *Glycine max*, nematoide-das-galhas da goiabeira, raças, resistência.

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia
Parque Estação Biológica,
PqEB Av. W5 Norte (final)
www.embrapa.br/
recursos-geneticos-e-biotecnologia
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Priscila Grynberg

Secretária-executiva

Ana Flavia do N. Dias

Membros

Andrielle Camara Amaral

Lopes, Bruno Machado Teles

Walter, Carolina Vianna

Morgante, Débora Pires Paula,

Edson Junqueira Leite, Marcos

Aparecido Gimenes, Solange

Carvalho Barrios Roveri Jose e

Sueli Correa Marques de Mello.

Revisão de texto

Regina Maria Delchechi Gomes
Carneiro

Normalização bibliográfica

Rosamires R. Galvão

(CRB-1/2122)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Adilson Werneck

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Reaction of soybean cultivars and aggressiveness of two races of *Meloidogyne enterolobii* in a greenhouse

Abstract – Several soybean cultivars currently available on the market are resistant to root-knot nematodes, including *Meloidogyne javanica* and *M. incognita*. However, little is known about the reaction of cultivars to *M. enterolobii*. Recently, a new race of this species was detected in Brazil parasitizing cotton and soybeans. This nematode has the potential to represent a problem in both crops, as it is pathogenic and virulent to several plants that have resistance genes to other *Meloidogyne* species. The objective of this study was to evaluate the responses of Embrapa's main soybean cultivars, with confirmed resistance to some species of *Meloidogyne*, to the two populations (guava and cotton) of *M. enterolobii* detected in Brazil. Additionally, this study aimed to characterize the aggressiveness of these races in soybean cultivars. The experiments were conducted in a greenhouse, in a factorial scheme with 16 cultivars × two races of *M. enterolobii*, resulting in 32 treatments × eight repetitions, and evaluated with two replications over time. Both races of *M. enterolobii* reproduced in all soybean genotypes (with or without known genetic resistance), although with moderate to low values compared to their reproduction in tomato. *M. enterolobii* cotton race was considered statistically more aggressive to soybean cultivars than *M. enterolobii* guava race. Only 'BRS 7180 IPRO' was moderately resistant to both races, in both experiments, and the others were slightly susceptible or susceptible. Considering the importance and prospects for expanding soybean cultivation, the results of this study contribute to a better understanding of the resistance and aggressiveness responses of the two races of *M. enterolobii* in soybeans.

Index terms: *Glycine max*, guava root-knot nematode, races, resistance.

Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é considerada uma das leguminosas mais antigas consumidas pela humanidade (Arias et al., 2017). No Brasil, é a cultura com maior área cultivada e a elevada produção decorre dos bons preços de comercialização nas últimas safras e do desenvolvimento de tecnologias para a cultura. Na safra 2021/2022, o País atingiu um volume total de 125.552,3 mil toneladas e a produtividade média alcançada foi de 3.029 kg ha⁻¹ (Conab, 2022).

O potencial produtivo da soja é influenciado dentre vários fatores, pelo ataque de pragas e doenças, cujos agentes são capazes de limitar a produção e causar perdas econômicas. Espécies do gênero *Meloidogyne* Göldi, 1887, comumente conhecidas como nematoides-das-galhas (NGs), estão frequentemente associadas ao cultivo da soja com ampla distribuição geográfica (Jones et al., 2013; Juhász et al., 2013). As principais espécies de NGs para a cultura da soja no Brasil são *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949 e *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949. A mais comum, *M. javanica*, tem ampla ocorrência e causa perdas de 10-40% em solos arenosos ou médio-arenosos (Teixeira, 2013). A segunda é *M. incognita*, que predomina em áreas previamente cultivadas com cafeeiro ou algodoeiro, e está associada à sucessão das culturas soja-algodão e soja-milho (Castro et al., 2003; Mazzetti et al., 2019). Também, são nematoides importantes para a cultura, *Heterodera glycines* Ichinohe, 1952, *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929) Filipjev & Schuurmans-Stekhoven, 1941 e *Rotylenchulus reniformis* Linford & Oliveira, 1940.

O sintoma típico do parasitismo de nematoides do gênero *Meloidogyne* é a formação de engrossamentos nas raízes denominados galhas, resultante da hiperplasia de células parenquimáticas do cilindro central e do córtex radicular. Observações histopatológicas mostram que o sítio de alimentação da fêmea se localiza no parênquima vascular do cilindro central da raiz e é formado por células hipertrofiadas multinucleadas, denominadas células gigantes (Huang; Maggenti, 1969). Como sintoma reflexo, as folhas das plantas atacadas podem apresentar amarelecimento por deficiência de nitrogênio e manchas cloróticas ou necrose entre as nervuras, o que caracteriza o sintoma chamado de folha carijó (Mazzetti et al., 2019).

Dentro do gênero *Meloidogyne*, *Meloidogyne enterolobii* Yang & Eisenback, 1983 (= *M. mayaguensis* Rammah & Hirschmann, 1988) emergiu como a principal preocupação nematológica para o cultivo de goiaba em vários países do mundo (Carneiro et al., 2021). Este nematoide tende a apresentar comportamento agressivo em relação às plantas hospedeiras, resultando em alta densidade populacional e causando muitas galhas, o que pode levar à morte das plantas (Castagnone-Sereno, 2012). Em comparação com outras espécies de NGs, *M. enterolobii* é conhecida por exibir alto nível de virulência contra várias espécies vegetais que são fontes de genes de resistência aos nematoides-das-galhas. Isso representa um desafio significativo para o manejo eficaz dessa espécie de nematoide.

Nesse sentido, *M. enterolobii* é capaz de se desenvolver em genótipos que possuem resistência às principais espécies de *Meloidogyne*, incluindo algodoeiro resistente a *M. incognita*, batata-doce, tomateiro (gene *Mi-1*), batateira (gene *Mh*), soja (gene *Mir1*), pimentão (gene *N*), pimenta-doce (gene *Tabasco*) e feijão-caupi (gene *Rk*) (Castagnone-Sereno, 2012). A exemplo disso, *M. enterolobii* foi encontrada em uma casa de vegetação comercial, induzindo galhas severas nas raízes do porta-enxerto *Capsicum* sp. 'Snooker', utilizado em cultivos de pimentão, portador dos genes *Me1* e *Me3/Me7*, provocando desfolhamento da planta, perdas de rendimento e redução da qualidade dos frutos (Pinheiro et al., 2015).

Nos EUA, *M. enterolobii* foi detectada na região de Goldsboro, Condado de Wayne, Carolina do Norte, causando sérios danos às lavouras de soja e algodão. O mesmo aconteceu em batata-doce resistente na Carolina do Sul e, atualmente, o nematoide é considerado um problema quarentenário nas regiões onde ocorre. Desde que foi detectado no Brasil, *M. enterolobii* tem sido comumente relatado em goiabeiras em vários estados (Carneiro et al., 2021). Também foi observado em outras culturas, embora com ocorrência limitada, mas causando danos consideráveis.

Estudos anteriores mostraram que a população de *M. enterolobii* da goiabeira não parasita o algodoeiro (Carneiro et al., 2006); porém, mais recentemente, surgiram os primeiros relatos de uma nova raça de *M. enterolobii* que parasita o algodoeiro no Brasil (Souza et al., 2022). Esses registros foram realizados, em Minas Gerais e na Bahia, em algodoeiro resistente cultivar 'IMA 5801B2RF', portador dos genes *qMi-C11* e *qMi-C14* que conferem resistência a *M. incognita* (Galbieri et al., 2020; Souza et al., 2022). No entanto, vale ressaltar que, no Estado da Bahia, a ocorrência foi restrita a uma área específica.

A primeira detecção de *M. enterolobii* em soja no Brasil ocorreu em Ituverava, Estado de São Paulo (Almeida et al., 2008). Desde então, não houve mais relatos de sua presença nessa cultura. No entanto, em 2020, a ocorrência de *M. enterolobii* em algodoeiro e em soja foi confirmada no Estado de Minas Gerais, município de Paracatu (Galbieri et al., 2020).

A incorporação de resistência genética em cultivares de soja desempenha um papel crucial no desenvolvimento de programas para controle

de nematoides, oferecendo genótipos adaptados ao cultivo em áreas infestadas. Diversos estudos têm sido conduzidos para identificar fontes de resistência em acessos de soja. Por exemplo, por meio da triagem fenotípica de 2.370 acessos de soja, foi possível identificar 'PI 230977' como fonte de resistência a *M. javanica*, bem como 'PI 200538' como fonte de resistência a *Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949 (Luzzi et al., 1987, 1997). Em outro estudo, várias linhagens de soja e fontes de resistência relatadas anteriormente foram avaliadas em relação a diferentes espécies de nematoides e observou-se que 'PI 595099' e 'PI 230977' mostraram resistência a *Meloidogyne* spp. e a algumas raças de *H. glycines* (Davis et al., 1998).

A herança da resistência a *M. javanica* foi identificada como quantitativa e com alta herdabilidade em 'PI 595099' e 'CD 201' (Silva et al., 2001). No entanto, os genes de resistência da cultivar 'PI 595099' ainda não foram incorporados ao germoplasma das cultivares lançadas pela Embrapa.

[...] Apesar de o material ter múltiplas resistências, não alcançou mérito nas diversas regiões onde foi avaliado, o que, possivelmente, tenha sido devido a problemas de adaptabilidade", conforme informado por Carlos Alberto A. Arias (comunicação pessoal)¹.

Atualmente, o mercado brasileiro oferece mais de 80 cultivares de soja resistentes ou moderadamente resistentes a nematoides. No entanto, apenas algumas cultivares apresentam forte resistência a *M. javanica* (Alekcevetch et al., 2021). Vale ressaltar que a resistência presente nas cultivares brasileiras de soja é derivada apenas de 'Bragg', uma cultivar norte-americana em que a resistência tem sido relatada como quantitativa (Silva et al., 2001; Dias et al., 2010a).

A identificação de genes diferencialmente expressos em soja parasitada por nematoides do gênero *Meloidogyne* (Passianotto et al., 2017; Alekcevetch et al., 2021) é fundamental para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético e estratégias biotecnológicas voltadas para a obtenção de cultivares resistentes. Essa abordagem já apresenta resultados promissores, como demonstram as cultivares obtidas pelo Programa de Melhoramento de Soja da Embrapa. Para a cultura da soja, as pesquisas realizadas até o momento no Brasil têm se limitado à busca de alternativas para o controle das espécies *M. incognita* e *M. javanica*

¹ E-mail recebido pelo Dr. Carlos Alberto Arrabal Arias, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR, em 14 de fevereiro 2023.

e outros nematoides. No entanto, são poucos os estudos que buscam alternativas de resistência genética para controlar *M. enterolobii*, detectado em lavouras de soja e algodão nos Estados Unidos (Ye et al., 2013), e no Brasil em soja (Almeida et al., 2008) e recentemente em algodão (Galbieri et al., 2020).

Dadas as perspectivas atuais, *M. enterolobii* é um patógeno emergente em vários estados brasileiros, sendo considerado patogênico para a soja, bem como para genótipos de outras culturas que apresentam resistência a outras espécies de *Meloidogyne* (Dias et al., 2010b). Logo, o objetivo deste estudo foi identificar alternativas eficazes de controle de *M. enterolobii* em cultivares de soja da Embrapa, que apresentam resistência a *M. javanica* e *M. incognita*, e avaliar sua reação a duas raças de *M. enterolobii* já detectadas no Brasil. Adicionalmente, o estudo buscou comparar a agressividade (baseada em Fatores de Reprodução) dessas duas raças hospedeiras nas diferentes cultivares de soja avaliadas.

Material e métodos

A raça de *M. enterolobii* proveniente de goiabeira foi obtida junto a Embrapa Semiárido e a raça de algodoeiro junto ao Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMA). A identificação do inóculo em nível de espécie (Figura 1) foi realizada pela técnica de eletroforese de isoenzimas, com revelação da enzima esterase (Carneiro; Almeida, 2001). A multiplicação dos nematoides foi realizada em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) 'BRS Tospodoro', que é suscetível a *M. enterolobii*. As plantas foram mantidas em casa de vegetação no Instituto Phytus-Staphyt, no município de Formosa, no Estado de Goiás.

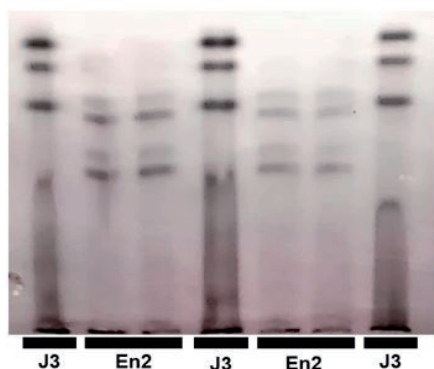


Figura 1. Fenótipo de esterase de *Meloidogyne enterolobii* (Est En2)* de goiabeira (direita) e algodoeiro (esquerda) e *M. javanica* (Est J3)** como padrão de referência.* Este fenótipo refere-se ao padrão de esterase da espécie *M. enterolobii*. ** Este fenótipo refere-se ao padrão de esterase da *M. javanica*

Essa cultivar específica de tomateiro, resistente a *M. incognita* e *M. javanica*, foi escolhida para evitar a contaminação com outras espécies de *Meloidogyne* na casa de vegetação. O estudo da reação de cultivares de soja a duas raças de *M. enterolobii* foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial (16 x 2) com 32 tratamentos e oito repetições, repetidos em duas épocas distintas (Experimentos 1 e 2). Foram avaliadas 16 cultivares de soja (fator A) para as duas raças de *M. enterolobii* (fator B). Dentre os genótipos de soja selecionados (Tabela 1), 12 foram disponibilizados pela Embrapa como resistentes a *M. javanica* e, ou *M. incognita*, enquanto os demais são suscetíveis (padrão 'Embrapa 20' e testemunhas regionais). Além desses tratamentos, também foram realizadas oito repetições com tomateiro 'Santa Clara', hospedeira clássica, suscetível às duas raças de *M. enterolobii*.

Para a realização dos Experimentos 1 e 2, duas sementes das cultivares de soja foram semeadas em vasos plásticos com capacidade para 1,7 L, preenchidos com uma mistura de solo, areia e substrato Bioplant na proporção 1:1:1 esterilizada (121°C/2 horas). Quatro dias após a emergência (DAE), foi realizado o desbaste para que ficasse uma planta por vaso.

O inóculo foi obtido por lavagem e trituração da raiz de plantas de tomate de acordo com o método de Hussey e Barker (1973), modificado por Boneti e Ferraz (1981), utilizando NaOCl 0,5% em liquidificador por 30 segundos, ao invés de agitação manual. Quando as plantas atingiram 10 cm de altura, foram inoculadas 15 ml da suspensão, contendo 5.000 ovos de *M. enterolobii* por planta. O inóculo foi distribuído em três orifícios de 2 cm de profundidade, distantes 1,5 cm do hipocótilo da planta. A temperatura na casa de vegetação variou de 19,5 °C a 33,5 °C para o Experimento 1, e de 11,8 °C a 29,3 °C para o Experimento 2.

O crescimento populacional do nematoide em soja foi verificado a partir de plantas suplementares das testemunhas. A partir dessa verificação, aos 75 dias após a inoculação (dezembro de 2021 a fevereiro de 2022) para o primeiro experimento, e 90 dias (abril a julho de 2022) para o segundo, foram avaliadas as seguintes variáveis: massa de matéria fresca da raiz (MMFR), índices de galhas (IG) e de massas de ovos (IMO), número total de ovos no sistema radicular (PF), número total de ovos por g de raiz (NOGR) e o fator de reprodução (FR).

Tabela 1. Cultivares comerciais de soja avaliadas quanto à reação a *Meloidogyne enterolobii*.

Trat.	Cultivares	Detentor	Origem da resistência	Reação Meloidogine javânica	Reação Meloidogine incognita
01	BRS 7380 RR ⁽¹⁾	Embrapa	IND	MR	R
02	BRS 7980 ⁽¹⁾	Embrapa	Bedford	R	R
03	BRS 8781 RR ⁽¹⁾	Embrapa	Santa Rosa	R	R
04	BRS 8780 ⁽¹⁾	Embrapa	Bedford	MR	R
05	BRS 7481 ⁽¹⁾	Embrapa	Centennial	R	R
06	BRS 6680 ⁽¹⁾	Embrapa	BRS 284	MR	S
07	BRS 5980 IPRO ⁽¹⁾	Embrapa	IND	MR	S
08	BRS 7780 IPRO ⁽¹⁾	Embrapa	IND	S	R
09	BRS 7180 IPRO ⁽¹⁾	Embrapa	BRS 284/B08-0002	R	R
10	BRS 256 RR ⁽¹⁾	Embrapa	Conquista /Bragg	R	MR
11	BRS Favorita RR ⁽¹⁾	Embrapa	Conquista /Bragg	R	MR
12	BRS Valiosa RR ⁽¹⁾	Embrapa	Conquista /Bragg	R	MR
13	Embrapa 20 ⁽²⁾	Embrapa	IND	S	S
14	BMX Desafio RR ⁽³⁾	Brasmax	IND	S	S
15	BMX Bônus IPRO ⁽³⁾	Brasmax	IND	S	S
16	M 8372 IPRO ⁽³⁾	Monsoy	IND	S	S
	Tomateiro 'Santa Clara' ⁽⁴⁾	Topseed	-	S	S

⁽¹⁾Padrão de resistência; ⁽²⁾Padrão de suscetibilidade; ⁽³⁾Testemunhas regionais suscetíveis; ⁽⁴⁾Testemunha clássica (*Solanum lycopersicum* cv. 'Santa Clara'). R = Resistente; MR = Modernamente resistente; S = Suscetível.. Indisponível = informação não disponível.

As raízes foram imersas em solução corante de Floxina B a 15 mg L⁻¹ por 20 minutos (Hartman; Sasser, 1985) para coloração da massa externa de ovos e quantificação do IG e IMO, sendo índice 0: nenhuma galha ou massa de ovos; índice 1: 1-2 galhas ou massas de ovos; índice 2: 3-10 galhas ou massas de ovos; índice 3: 11-30 galhas ou massas de ovos; índice 4: 31-100 galhas ou massas de ovos; e índice 5: mais de 100 galhas ou massas de ovos por sistema radicular (Hartman; Sasser, 1985). Os ovos totais e juvenis de segundo estágio (J2) avaliados no sistema radicular foram extraídos pelo método de Hussey e Barker (1973), modificado por Boneti e Ferraz (1981) com utilização de NaOCl a 1%. A quantificação do número de ovos e eventuais J2 na suspensão, para cada repetição, foi realizada utilizando lâmina de Peter, em microscópio óptico. Posteriormente, o fator de reprodução (FR) foi determinado pela divisão da população final (Pf) pela população inicial (Pi = 5.000) (Oostenbrink, 1966).

As reações das cultivares de soja às duas raças de *M. enterolobii* foram classificadas de acordo com os critérios de reprodução estabelecidos por Taylor (1967), com pequenas modificações, para distinguir os níveis de resistência de cada genótipo de soja. Este critério estabeleceu a suscetibilidade/resistência da planta hospedeira e foi definido da seguinte forma: a reprodução do nematoide acima de 50% do padrão de suscetibilidade designa uma hospedeira suscetível (S); 25-50% designa como

planta de pouca suscetibilidade (PS); 10-25%, uma planta moderadamente resistente (MR); 1-10%, uma planta resistente (R); menos de 1,0%, uma planta altamente resistente (AR); e 0%, uma planta imune (I). Para o cálculo dos critérios de adequação da hospedeira, a soja 'Embrapa 20' foi utilizada como padrão de suscetibilidade, cujo FR, por ser alto, foi considerado corresponder a 100% da capacidade de reprodução do nematoide.

Os resultados obtidos foram analisados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk) e os dados não normais foram submetidos à transformação logarítmica [$\log(x + 1)$]. Após a transformação, foram submetidos à análise de variância para o primeiro e segundo experimentos individualmente. O teste de Hartley foi realizado para verificar a homogeneidade da variância entre os experimentos (Ramalho et al., 2005) e, uma vez confirmada a homogeneidade, as médias das variáveis foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As tabelas mostram as médias originais sem transformação. A análise de correlação de Pearson foi realizada para examinar a relação do fator de reprodução (FR) com outras variáveis: os índices de galhas (IG) e de massas de ovos (IMO) e número de ovos por g de raiz (NOGR).

Resultados

Durante as duas épocas de avaliação (Experimento 1 e Experimento 2), os valores de massa de matéria fresca de raiz indicaram que todas as cultivares apresentaram crescimento normal, independentemente do parasitismo das duas raças do patógeno. Isso garantiu uma avaliação precisa das variáveis (Tabelas 2 e 3).

As análises de correlação de Pearson, para as variáveis estudadas (Tabela 4), revelaram uma correlação positiva e significativa entre os índices de galhas (IG) e de massas de ovos (IMO), número de ovos por g de raiz (NOGR) e o fator de reprodução (FR). Como todas as variáveis foram correlacionadas, a discussão foi concentrada nos resultados do IG e FR, que são as variáveis mais comumente usadas para avaliar a resistência da soja aos NGs, tanto em casa de vegetação quanto em condições de campo.

Sintomas de galhas grandes em soja foram observados nos tratamentos padrões de suscetibilidade (soja 'Embrapa 20', tomateiro 'Santa Clara') e nas cultivares comerciais ('BMX Bônus IPRO', 'BMX Desafio RR' e 'M 8372 IPRO') que não possuem genes de resistência (Figura 2). As médias dos índices de galhas e de massas de ovos, no Experimento 1 (Tabela 2), variaram de $(1,7-1,4) \leq IG \leq (5,0-5,0)$ e $(2,3-2,3) \leq IMO \leq (5,0-5,0)$ para as raças de *M. enterolobii* oriundas da goiabeira e do algodoeiro, respectivamente. Valores similares foram observados no Experimento 2 (Tabela 3). Com base nos resultados de ambos os experimentos, *M. enterolobii* raça goiabeira apresentou os menores índices de galhas nas cultivares 'BRS 7980', 'BRS 8781 RR', 'BRS 7180 IPRO', 'BRS 256 RR', 'BRS Favorita RR' e 'BRS Valiosa RR'; enquanto para *M. enterolobii* raça algodoeiro, os menores índices foram observados em 'BRS 7380 RR', 'BRS 256 RR', 'BRS Favorita' e 'BRS Valiosa RR'.

Ao considerar o FR, observou-se que os níveis populacionais de *M. enterolobii* foram de baixos a moderados (Tabela 5), em comparação com aqueles observados em tomateiro. Porém, nenhum dos genótipos de soja avaliados, incluindo todos os acessos, apresentou $FR < 1,0$, considerado altamente resistente. Entretanto, pelo contrário, os genótipos escolhidos como referência de suscetibilidade (tomateiro 'Santa Clara' e soja 'Embrapa 20'), os controles regionais ('BMX Bônus IPRO',

'BMX Desafio RR' e 'M 8372 IPRO') e alguns dos genótipos que possuem genes de resistência a *M. javanica* e/ou *M. incognita* ('BRS 5980 IPRO' e 'BRS 8780') apresentaram os maiores valores de FR de *M. enterolobii* (Tabela 5).

No Experimento 1, Tabela 5, as cultivares foram classificadas em três grupos estatísticos para resposta a *M. enterolobii* raça goiabeira, com os menores valores de fator de reprodução (FR) observados nas cultivares 'BRS 7180 IPRO' (1,88) e 'BRS 7980' (2,18). No Experimento 2, as cultivares foram agrupadas em quatro níveis estatísticos para *M. enterolobii* raça goiabeira, com os menores FRs ($2,10 \leq FR \leq 4,09$) observados nas seguintes cultivares: 'BRS 7380 RR', 'BRS 8781 RR', 'BRS 7481', 'BRS 7780 IPRO', 'BRS 256 RR', 'BRS Favorita RR', 'BRS 7180 IPRO' e 'BRS 7980' (Tabelas 5).

Em ambos os experimentos com *M. enterolobii* raça algodoeiro, as cultivares foram agrupadas em cinco e seis grupos estatísticos, respectivamente. Na primeira avaliação, o menor grupo estatístico apresentou valores entre $3,79 \leq FR \leq 5,39$, sendo o menor FR observado para a cultivar BRS 7180 IPRO. Na segunda avaliação, o menor grupo estatístico correspondeu às cultivares BRS 7180 IPRO e BRS 7980 com FRs de 2,93 e 4,10, respectivamente.

A avaliação de todas as cultivares de soja revelou que ambas as raças de *M. enterolobii* (goiabeira e algodoeiro) foram capazes de se desenvolver e reproduzir em suas raízes (Tabelas 2, 3, 5). De acordo com os critérios de Taylor (1967), as cultivares de soja avaliadas apresentaram diferentes graus de reação (Tabela 5). Os padrões de suscetibilidade (soja 'Embrapa 20' e tomateiro 'Santa Clara') apresentaram maiores FRs para ambas as populações, indicando a viabilidade do inóculo de *M. enterolobii*.

A aplicação dos critérios de Taylor (1967) permitiu classificar os níveis de resistência de cada genótipo de soja em relação às duas raças de *M. enterolobii*, levando em consideração o FR da soja 'Embrapa 20' como referência de suscetibilidade. Cinco cultivares foram classificadas como suscetíveis (S) ('BRS 8780', 'BRS 5980 IPRO', 'BMX Desafio RR', 'BMX Bônus IPRO', 'M8372 IPRO') (Tabelas 1, 5). Oito cultivares foram classificadas com pouca

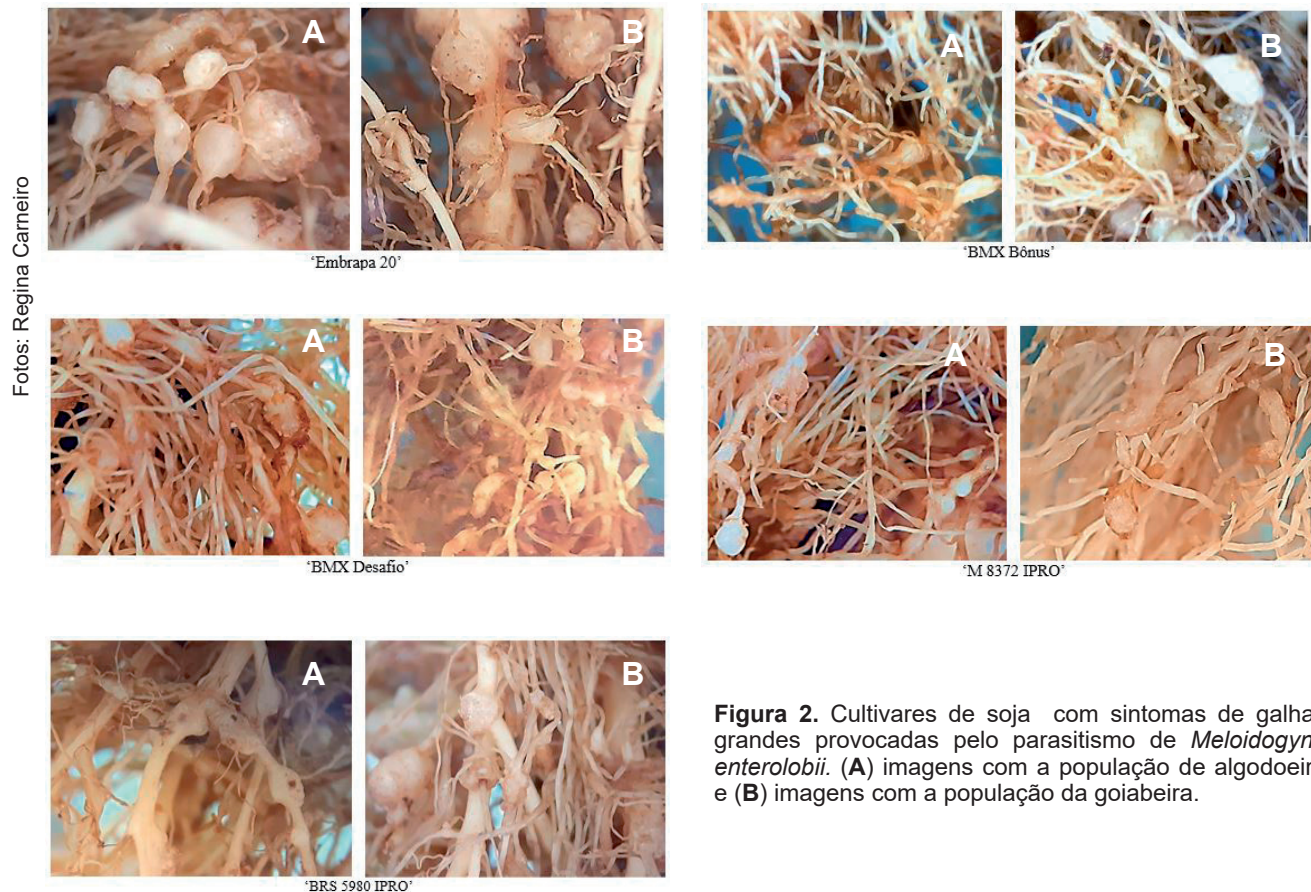


Figura 2. Cultivares de soja com sintomas de galhas grandes provocadas pelo parasitismo de *Meloidogyne enterolobii*. (A) imagens com a população de algodoeiro e (B) imagens com a população da goiabeira.

Tabela 2. Reação de cultivares de soja, inoculadas com 5.000 ovos e eventuais juvenis de segundo estágio de duas raças de *Meloidogyne enterolobii*, baseada nas variáveis massa fresca de raiz (MFR), índices de galhas (IG) e de massas de ovos (IMO), população final (PF) e número total de ovos por grama de raiz (NOGR) das cultivares avaliadas aos 75 dias após a inoculação (Experimento 1). Formosa, Goiás, Brasil.

Cultivares	Experimento 1									
	MFR		IG		IMO		PF		NOGR	
	Raça goiabeira	Raça algodoeiro	Raça goiabeira	Raça algodoeiro	Raça goiabeira	Raça algodoeiro	Raça goiabeira	Raça algodoeiro	Raça goiabeira	Raça algodoeiro
BRS 7380 RR	08,95	09,88	2,0	2,5	1,9	3,1	18.771 b A ⁽¹⁾	36.979 d B	2.105 c A	3.751 b B
BRS 7980	16,46	16,86	1,9	3,1	1,5	2,7	10.896 c A	21.896 e B	675 d A	1.407 e B
BRS 8781 RR	15,18	13,80	1,7	2,9	2,0	2,9	19.417 b A	22.479 e A	1.323 d A	1.665 e A
BRS 8780	17,13	18,18	3,2	5,0	3,4	4,5	48.146 a A	71.750 a B	2.978 b A	4.236 b B
BRS 7481	16,44	15,44	2,4	2,8	2,1	3,2	19.021 b A	49.083 c B	1.217 d A	3.176 c B
BRS 6680	12,26	12,28	3,8	4,3	3,5	3,7	23.333 b A	37.083 d B	1.912 c A	3.038 c B
BRS 5980 IPRO	10,08	10,73	3,5	4,1	4,0	4,1	51.083 a A	67.083 b B	4.933 a A	6.252 a B
BRS 7780 IPRO	15,06	14,20	2,8	4,0	2,7	3,8	18.813 b A	26.938 e A	1.237 d A	1.962 d B
BRS 7180 IPRO	15,28	18,95	1,8	3,3	1,4	2,6	9.375 c A	18.938 e A	616 d A	1.014 e A
BRS 256 RR	16,98	17,51	1,9	2,5	2,3	2,3	19.083 b A	26.458 e A	1.114 d A	1.518 e A
BRS Favorita RR	17,56	18,18	1,8	2,3	2,2	2,9	22.792 b A	35.104 d B	1.331 d A	1.951 d A
BRS Valiosa RR	16,41	16,96	1,9	2,4	2,1	3,0	27.938 b A	37.292 d A	1.759 c A	2.240 d A
Embrapa 20	18,18	19,85	5,0	5,0	5,0	5,0	56.521 a A	77.708 a B	3.210 b A	3.981 b B
BMX Desafio RR	18,78	22,46	4,7	5,0	5,0	5,0	47.021 a A	64.438 b B	2.621 b A	3.203 c A
BMX Bônus IPRO	17,79	20,01	4,3	5,0	5,0	5,0	44.667 a A	58.688 c B	2.553 b A	3.241 c A
M 8372 IPRO	19,76	21,53	4,8	5,0	5,0	5,0	42.750 a A	57.292 c B	2.261 c A	2.798 c A
Tomateiro 'Santa Clara'	18,90	22,36	5,0	5,0	5,0	5,0	19.1271	22.4396	10.277	10.114
<i>P</i> valor ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
CV ⁽³⁾ (%)	7,55	7,55	7,17	7,17	6,60	6,60	2,20	2,20	3,33	3,33

Os valores médios foram transformados em log (x + 1) para análise e os dados originais são apresentados na tabela. ⁽¹⁾As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si e comparam as cultivares dentro da raça de *Meloidogyne enterolobii*, enquanto médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si e comparam as duas raças (goiabeira e algodoeiro) dentro das cultivares, conforme teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (P ≤ 0,05). ⁽²⁾Valor de P da interação cultivar x raça. ⁽³⁾CV = Coeficiente de variação com transformação.

Tabela 3. Reação de cultivares de soja, inoculadas com 5.000 ovos e eventuais juvenis de segundo estágio de duas raças de *Meloidogyne enterolobii*, baseada nas variáveis massa fresca de raiz (MFR), índices de galhas (IG) e de massas de ovos (IMO), população final (PF) e número total de ovos por grama de raiz (NOGR) das cultivares avaliadas aos 90 dias após a inoculação (Experimento 2). Formosa, Goiás, Brasil.

Experimento 2										
Cultivares	MFR		IG		IMO		PF		NOGR	
	Raça goiabeira	Raça algodoeiro	Raça goiabeira	Raça algodoeiro	Raça goiabeira	Raça algodoeiro	Raça goiabeira	Raça algodoeiro	Raça goiabeira	Raça algodoeiro
BRS 7380 RR	12,38	10,09	2,3	2,2	2,2	2,4	20.438 d A ⁽¹⁾	31.631 d B	1.730 c A	3.186 b B
BRS 7980	17,34	17,01	1,6	2,9	1,4	2,2	13.031 d A	20.475 f A	764 c A	1.203 d A
BRS 8781 RR	18,65	18,05	1,4	3,1	1,8	3,1	17.188 d A	25.256 e A	954 c A	1.398 d A
BRS 8780	19,71	21,01	3,7	4,9	3,9	4,1	42.021 b A	58.238 b B	2.382 b A	2.766 b A
BRS 7481	15,29	16,46	2,0	3,0	2,6	3,8	14.875 d A	52.125 b B	987 c A	3.192 b B
BRS 6680	14,03	14,05	4,1	4,0	3,1	3,0	29.333 c A	29.494 e A	2.211 b A	2.169 c A
BRS 5980 IPRO	10,18	14,93	3,3	4,0	3,8	4,2	56.292 a A	70.481 a B	6.616 a A	4.975 a B
BRS 7780 IPRO	17,65	15,73	2,5	3,5	1,9	3,0	19.563 d A	22.856 e A	1.126 c A	1.479 d A
BRS 7180 IPRO	12,84	19,80	1,4	2,9	1,3	2,3	10.500 d A	14.625 f A	1.057 c A	745 d A
BRS 256 RR	17,23	17,99	1,6	2,3	2,3	2,8	17.771 d A	24.544 e A	1.050 c A	1.360 d A
BRS Favorita RR	18,41	19,50	1,4	2,1	2,6	3,2	17.063 d A	40.425 c B	925 c A	2.084 c B
BRS Valiosa RR	17,05	17,66	1,4	2,2	2,8	3,4	23.500 c A	42.188 c B	1.421 c A	2.426 b B
Embrapa 20	18,74	19,93	5,0	5,0	5,0	5,0	58.521 a A	69.656 a B	3.210 b A	3.517 b A
BMX Desafio RR	20,21	21,29	4,8	5,0	5,0	5,0	51.375 a A	55.369 b A	2.554 b A	2.594 b A
BMX Bônus IPRO	19,15	20,95	4,6	5,0	5,0	5,0	45.896 b A	54.281 b B	2.443 b A	2.583 b A
M 8372 IPRO	20,83	21,71	4,9	5,0	5,0	5,0	45.646 b A	62.588 a B	2.220 b A	2.923 b A
Tomateiro 'Santa Clara'	16,00	17,38	5,0	5,0	5,0	5,0	167.467	178.292	10.445	10.497
P valor ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
CV ⁽³⁾ (%)	6,79	6,79	6,26	6,26	5,54	5,54	2,02	2,02	3,47	3,47

Os valores médios foram transformados em $\log(x + 1)$ para análise e os dados originais são apresentados na tabela. ⁽¹⁾As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si e comparam as cultivares dentro da raça *M. enterolobii*, enquanto médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si e comparam as duas raças (goiabeira e algodoeiro) dentro das cultivares, conforme teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$). ⁽²⁾Valor de P da interação cultivar x raça. ⁽³⁾CV = Coeficiente de variação com transformação.

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson (R) entre as variáveis: índices de galhas (IG), de massa de ovos (IMO), número de ovos por grama de raiz (NOGR) e fator de reprodução (FR) das plantas de soja infectadas por *Meloidogyne enterolobii* realizados para a média das duas raças (goiabeira e algodoeiro).

	Experimento 1					Experimento 2				
		IG	IMO	NOGR	FR		IG	IMO	NOGR	FR
IG	R de Pearson	—				IG	R de Pearson	—		
IMO	R de Pearson	0.886 ***	—			IMO	R de Pearson	0.794 ***	—	
		<.001						<.001		
NOGR	R de Pearson	0.433 ***	0.459 ***	—		NOGR	R de Pearson	0.350 ***	0.499 ***	—
		<.001	<.001					<.001	<.001	
FR	R de Pearson	0.838 ***	0.870 ***	0.771 ***	—	FR	R de Pearson	0.610 ***	0.765 ***	0.816 ***
		<.001	<.001	<.001				<.001	<.001	<.001

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Tabela 5. Reação de cultivares de soja inoculadas com 5.000 ovos de duas raças de *Meloidogyne enterolobii*, com base no parâmetro FR e classificados segundo os critérios estabelecidos por Taylor (1967), Formosa, Goiás, Brasil.

Cultivares	Experimento 1				Experimento 2			
	Raça goiabeira		Raça algodoeiro		Raça goiabeira		Raça algodoeiro	
	Reação ⁽³⁾	Reação ⁽³⁾	Reação ⁽³⁾	Reação ⁽³⁾	Reação ⁽³⁾	Reação ⁽³⁾	Reação ⁽³⁾	
BRS 7380 RR	3.76 b A ⁽¹⁾	LS	7.40 d B ⁽¹⁾	LS	4.09 d A ⁽¹⁾	LS	6.33 d B ⁽¹⁾	LS
BRS 7980	2.18 c A	MR	4.38 e B	LS	2.61 d A	MR	4.10 f B	LS
BRS 8781 RR	3.88 b A	LS	4.50 e A	LS	3.44 d A	LS	5.05 e A	LS
BRS 8780	9.63 a A	S	14.35 a B	S	8.40 b A	S	11.65 b B	S
BRS 7481	3.80 b A	LS	9.82 c B	S	2.98 d A	LS	10.43 b B	S
BRS 6680	4.67 b A	LS	7.42 d B	LS	5.87 c A	S	5.90 e A	LS
BRS 5980 IPRO	10.22 a A	S	13.42 b B	S	11.26 a A	S	14.10 a B	S
BRS 7780 IPRO	3.76 b A	LS	5.39 e B	LS	3.91 d A	LS	4.75 e A	LS
BRS 7180 IPRO	1.88 c A	MR	3.79 e B	MR	2.10 d A	MR	2.93 f A	MR
BRS 256 RR	3.82 b A	LS	5.29 e B	LS	3.55 d A	LS	4.91 e B	LS
BRS Favorita RR	4.56 b A	LS	7.02 d B	LS	3.41 d A	LS	8.09 c B	S
BRS Valiosa RR	5.59 b A	LS	7.46 d B	LS	4.70 c A	LS	8.44 c B	S
Embrapa 20 ⁽⁴⁾	11.30 a A	S	15.54 a B	S	11.70 a A	S	13.93 a B	S
BMX Desafio RR	9.40 a A	S	12.89 b B	S	10.28 a A	S	11.07 b A	S
BMX Bônus IPRO	8.93 a A	S	11.74 c B	S	9.18 b A	S	10.86 b B	S
M 8372 IPRO	8.55 a A	S	11.46 c B	S	9.13 b A	S	12.52 a B	S
Tomateiro 'Santa Clara'	38.25	S	44.88	S	33.49	S	35.66	S
Média Geral			7.43				7.23	
CV ⁽²⁾ (%)			9.79				8.82	

Médias dos fatores de reprodução [FR = população final (PF) / população inicial (Pi = 5.000)] de cultivares de soja inoculadas com duas raças de *Meloidogyne enterolobii*, avaliadas aos 75 dias (primeiro experimento) e 90 dias (segundo experimento) após a inoculação.

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si e comparam cultivares dentro da raça de *M. enterolobii*, enquanto médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si e comparam as duas raças (de goiabeira e algodoeiro) dentro de cultivares, segundo o teste Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). Os valores médios foram transformados em $\log(x + 1)$ e os dados originais mantidos na tabela. ⁽²⁾CV = Coeficiente de variação após transformação. ⁽³⁾Crítérios de classificação propostos por Taylor (1967) com modificações, onde S = Suscetível, LS = Pouco suscetível, MR = Moderadamente resistente, R = Resistente, HR = Altamente resistente e I = Imune. ⁽⁴⁾Cultivar padrão de suscetibilidade de soja (Embrapa 20) utilizada como controle padrão para a classificação de Taylor (1967).

suscetibilidade (PS): 'BRS 7380 RR', 'BRS 8781 RR', 'BRS 7481', 'BRS 6680', 'BRS 7780 IPRO', 'BRS 256 RR', 'BRS Favorita RR' e 'BRS Valiosa RR', todas com genes de resistência a *Meloidogyne* spp. (Tabelas 1, 5). Uma cultivar foi considerada moderadamente resistente (MR) ('BRS 7180 IPRO') para ambas as raças (goiabeira e algodoeiro) de *M. enterolobii* e, 'BRS 7980 MR', apenas para a raça goiabeira, ambas com resistência a *M. javanica* e *M. incognita* (Tabelas 1, 5). Nenhuma cultivar foi altamente resistente (AR) ou imune (I), segundo os critérios de Taylor (1967).

A análise fatorial dos dados revela que *M. enterolobii* raça algodoeiro apresentou maior agressividade em relação *M. enterolobii* raça goiabeira para a maioria das cultivares. Isso é corroborado pelos números mais altos de nematoides nas cultivares de soja submetidas à população do algodoeiro e por níveis significativos ($P < 0,05$) na interação 'raça × cultivar', conforme mostrado nas Tabelas 2 e 3. O FR analisado na

Tabela 5 reforça essa tendência. A análise estatística mostrou diferenças significativas (maiúsculas) entre as populações, com apenas algumas exceções (Tabela 5). Este estudo representa o primeiro registro de variações observadas na agressividade de duas raças de *M. enterolobii* em cultivares de soja.

Discussão

A escolha de genótipos de soja resistentes a espécies de *Meloidogyne* pode ser uma estratégia eficaz para reduzir os níveis populacionais desses fitonematoides no solo (Passianotto et al., 2017; Alekcevetch et al., 2021). Segundo esses autores, embora não existam cultivares com índices de galhas (IG) próximos de zero, as fontes com notas para IG de 1-2,5, ou seja, com 10-30% do sistema radicular infectados, com a presença de pequenas galhas, foram consideradas resistentes (Dall'Agnol; Antonio, 1982). Infelizmente, estudos mais recentes não consideraram o FR como variável essencial

para a fenotipagem dos genótipos, uma vez que a avaliação de grandes números de acessos é menos trabalhosa quando se utiliza o IG.

Em 1966, Oostenbrink introduziu o fator de reprodução (FR) como uma forma de aferir a capacidade reprodutiva dos nematoides: $FR = Pf/Pi$, onde as variáveis Pf e Pi representam as populações final e inicial, respectivamente. No entanto, nenhum grau específico de designação de resistência, por exemplo, altamente resistente, moderadamente resistente ou suscetível, foi baseado nesta proposta de uso da variável. Taylor (1967) desenvolveu um sistema de classificação de “resistência” do hospedeiro que envolvia a comparação do FR do nematoide em plantas avaliadas com o de uma cultivar suscetível conhecida da mesma espécie, considerada como referência de suscetibilidade, termo adotado também por Sasser et al. (1984). No estudo ora apresentado, foi observada uma correlação positiva e significativa entre IG e FR, que está de acordo com os resultados obtidos para a cultura da soja em trabalhos recentes (Passianotto et al., 2017; Alekcevetch et al., 2021).

No entanto, no caso de outras culturas, como o algodoeiro e o cafeeiro, ou para certos acessos resistentes, confiar apenas em critérios de IG pode não ser preciso (Lopes et al., 2019). Para o cafeeiro, essa correlação (IG e FR) não foi estatisticamente significativa, pois depende dos sintomas causados pelas diferentes espécies de NGs. É o caso de *Meloidogyne paranaensis* Carneiro, Carneiro, Abrantes, Santos & Almeida, 1996 e *M. incognita*, cujos sintomas não envolvem a formação de galhas típicas, impossibilitando o uso do IG como parâmetro para quantificar a resistência (Lima et al., 2015).

Os resultados aqui relatados corroboram aqueles obtidos por Dias et al. (2010b), ao estudar o IG e o FR de mais de 80 genótipos de soja, incluindo várias fontes de resistência a *Meloidogyne* spp. Esses autores também observaram valores de FR não muito altos (máximo 28,1), quando classificaram os genótipos pelos critérios de Canto-Saénz (1983). Porém, esse critério confunde certas terminologias, inclusive, o termo “tolerante” ($IG < 2$, $FR > 1,0$). No entanto, isso foi posteriormente esclarecido nas definições de Roberts (2002). Essa questão é particularmente relevante para a cultura da soja que apresenta correlação positiva e significativa entre IG e FR.

Dias et al. (2010b) concluíram também que a maioria das cultivares foi suscetível a *M. enterolobii*. Entretanto, pelos critérios de Taylor (1967), pode-se observar que as cultivares PI 595099 e BRS Favorita se comportaram como moderadamente resistentes e, ‘BRS Valiosa’ e ‘Bragg’ foram classificadas como cultivares de baixa suscetibilidade. Das 16 cultivares de soja da Embrapa aqui avaliadas, ‘BRS 7980’ e ‘BRS 7180 IPRO’ foram consideradas MR. Notavelmente, a resistência observada é de natureza quantitativa, conforme apontado por Silva et al. (2001) e Dias et al. (2010b).

Dias et al. (2010b) demonstraram que a resistência de genótipos de soja a *M. enterolobii* é comparável com aquela observada para *M. javanica*, com poucas fontes de resistência; diferente das várias fontes de resistência contra *M. incognita*. Outros estudos que investigaram a reação de cultivares de soja a *M. javanica* também relataram que todas as cultivares exibiram suscetibilidade ao nematoide (Asmus; Andrade, 1996; Mendes et al., 2001). Vale ressaltar que há inconsistência significativa entre os testes de resistência realizados em soja (Sharma; Rodriguez Castro, 1982; Dall’Agnol et al., 1984; Embrapa, 1994; Balardin et al., 2022). Essa variação nos testes de resistência pode ser atribuída a vários fatores, incluindo a variabilidade patogênica das populações de nematoides em diferentes regiões, bem como condições de campo variáveis em áreas naturalmente infestadas. Além disso, a falta de homogeneidade nas áreas onde os experimentos foram conduzidos também pode contribuir para a discrepância dos resultados (Mendes et al., 2001).

Em alguns estudos anteriores, bem como em outros mais recentes, o uso de metodologia inadequada resultou em valores de FR muito baixos, dificultando a identificação precisa de genótipos resistentes, não permitindo uma distinção confiável entre cultivares resistentes e suscetíveis (Mazzetti et al., 2019; Balardin et al., 2022). Os resultados ora encontrados não foram comparados com resultados obtidos em estudos anteriores. Alguns deles chegaram a conclusões equivocadas que não refletem a realidade científica, visto que as fontes de resistência convencionais e os marcadores moleculares, muitas vezes, foram negligenciados (Mazzetti et al., 2019; Balardin et al., 2022).

Em ambos os experimentos, cujos resultados são, aqui, apresentados, a viabilidade do inóculo utilizado foi confirmada pela agressividade detectada nos padrões de suscetibilidade, incluindo

o tomateiro 'Santa Clara' e a soja 'Embrapa 20'. A soja 'Embrapa 20' ('Doko RC') também foi utilizada em outros estudos como controle suscetível para *M. enterolobii* (Dias et al., 2010a, 2010b). Alguns estudos têm utilizado esta cultivar como padrão de suscetibilidade para validar inoculações de *M. javanica*, *M. incognita* e *M. ethiopica* Whitehead, 1968, bem como *H. glycines* e *R. reniformis* (Campos et al., 2006; Dias et al., 2010a, 2010b).

Neste estudo, foram avaliadas 16 cultivares de soja em duas repetições ao longo do tempo. Confirmou-se o parasitismo de ambas as raças de *Meloidogyne enterolobii* (goiabeira e algodoeiro) (Carneiro et al., 2006; Galbieri et al., 2020; Souza et al., 2022) com valores de FR variáveis, embora todos com $FR > 1,0$. No entanto, os valores de FR obtidos ($FR = 1,88 - 15,54$) não foram elevados quando comparados aos FR observados nos tomateiros ($FR = 33,49 - 44,88$) do mesmo ensaio, que foram cerca de duas vezes maiores que aqueles observados nas cultivares de soja. Observou-se, então, que as duas raças de *M. enterolobii* avaliadas apresentaram menor capacidade reprodutiva na soja. No entanto, a detecção feita por Almeida et al. (2008) e Ye et al. (2013) mostraram danos severos nas lavouras de soja no Brasil e nos EUA, respectivamente, demonstrando o potencial de *M. enterolobii* em causar danos a esta cultura.

Embora os níveis populacionais de *M. enterolobii* na soja, no presente estudo, tenham sido baixos a moderados, maiores valores de IG e FR foram observados para *M. enterolobii* raça algodoeiro, mostrando uma maior agressividade que foi estatisticamente confirmada. Isso sugere que diferentes populações da mesma espécie de nematoide podem exibir diferentes graus de patogenicidade, como demonstrado para *M. javanica* (Tihohod et al., 1988; Rammah; Hirschmann, 1990). Além do mais, conforme mencionado anteriormente, a resistência presente nas cultivares brasileiras de soja é derivada de apenas uma fonte, a 'Bragg'. Nesta cultivar, a resistência é relatada como quantitativa (Dias et al., 2010a).

Atualmente, deve-se dar atenção às medidas de controle locais como as implementadas nos EUA e que impedem a disseminação de *M. enterolobii* (Ye et al., 2013). No Brasil, ao contrário, o nematoide-das-galhas da goiabeira foi levado para diferentes estados em mudas contaminadas. Além das restrições locais, esforços devem ser envidados para

identificar fontes efetivas de resistência como foi feito para a goiabeira (Carneiro et al., 2021), uma vez que outras populações/raças desse nematoide ainda não foram estudadas e o patógeno poderá se tornar um problema muito sério em culturas economicamente importantes (Castagnone-Sereno, 2012; Silva et al., 2021; Souza et al., 2022).

Este é o primeiro estudo em cultivares de soja que indicou resistência parcial e diferenças na agressividade de duas raças de *M. enterolobii* (goiabeira e algodoeiro). Outros estudos sobre raças e variabilidade intraespecífica de populações de *M. enterolobii* são necessários para identificar as reais ameaças à cultura da soja e a outras culturas, inclusive, importantes commodities da economia brasileira.

Conclusões

O presente estudo confirmou variações dos valores de FR de *M. enterolobii* entre as cultivares de soja estudadas quanto à resistência ao nematoide. 'BRS 7180 IPRO' foi considerada moderadamente resistente para ambas as raças (goiabeira e algodoeiro) e 'BRS 7980 MR', apenas para a raça goiabeira. Além disso, os resultados obtidos demonstraram algumas cultivares pouco suscetíveis e outras consideradas suscetíveis. De uma maneira geral, estatisticamente, a raça de algodoeiro foi mais agressiva às cultivares avaliadas.

Referências

- ALEKCEVETCH, J. C.; PASSIANOTTO, A. L. L.; FERREIRA, E. G. C.; SANTOS, A. B.; SILVA, D. C. G.; DIAS, W. P.; BELZILE, F.; ABDELNOOR, R. V.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C. Genome-wide association study for resistance to the *Meloidogyne javanica* causing root-knot nematode in soybean. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 134, p. 777-792, 2021. Doi: 10.1007/s00122-020-03723-9.
- ALMEIDA, E. J.; SOARES, P. L. M.; SILVA, A. R.; SANTOS, J. M. Novos registros sobre *Meloidogyne mayaguensis* no Brasil e estudo morfológico comparativo com *M. incognita*. **Nematologia Brasileira**, v. 32, p. 236-241, 2008.
- ARIAS, D.; VIEIRA, P. A.; CONTINI, E.; FARINELLI, B.; MORRIS, M. **Agricultural productivity growth in Brazil**; recent trends and future prospect. Washington: World Bank Group, 2017.
- ASMUS, G. L.; ANDRADE, P. J. M. Reação de cultivares de soja recomendadas para o Estado do Mato

- Grosso do Sul a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 74-79, 1996.
- BALARDIN, R. R.; BELLÉ, C.; PIOVESAN, B. C.; NORA, D. D.; RAMOS, R. F.; LOPES, A. N.; SANTOS, P. S.; ANTONIOLLI, Z. I. Reproduction of *Meloidogyne javanica* in soybean genotypes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, n. 2, e20191427, 2022. DOI: 10.1590/0001-3765202220191427.
- BONETI, J.; FERRAZ, J. B. S. Modificações do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, n. 6, p. 533, 1981.
- CAMPOS, H. D.; CAMPOS, V. P.; POZZA, E. A. Efeito do tempo, substrato e temperatura na penetração de juvenis do segundo estágio de *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines* em soja. **Summa Phytopathologica**, v. 32, n. 2, p. 156-160, 2006.
- CANTO-SAENZ, M. The nature of resistance to *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White, 1919) Chitwood 1949. In: CARTER, C. C. (Ed.). Proceedings of the Third Research and Planning Conference on Root-knot Nematodes *Meloidogyne* spp.: March 22-26, 1982. Lima, Peru: **International Meloidogyne Project**, 1983. p. 160-165
- CARNEIRO, R. G.; MÔNACO, A. P. A.; MORITZ, M. P.; NAKAMURA, K. C.; SCHERER, A. Identificação de *Meloidogyne mayaguensis* em goiabeira e em plantas invasoras, em solo argiloso no Estado do Paraná. **Nematologia Brasileira**, v. 30, p. 293-298, 2006.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematoides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 35-44, 2001.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; SANTOS, M. F. A.; CASTRO, J. M. C. e. Nematodes. In: MITRA, S. Guava: botany, production and uses. Boston: **CAB International**, 2021. p. 270-284
- CASTAGNONE-SERENO, P. *Meloidogyne enterolobii* (= *M. mayaguensis*): profile of an emerging, highly pathogenic, root-knot nematode species. **Nematology**, v. 14, p. 133-138, 2012.
- CASTRO, J. M. C.; LIMA, R. D.; CARNEIRO, R. M. D. G. Isoenzimatic variability in Brazilian populations of *Meloidogyne* spp. from soybean. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 1-12, 2003.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, décimo segundo levantamento, safra 2021/22, setembro**. Brasília, DF, CONAB, 2022. Estava CONAB.
- DALL'AGNOL, A.; ANTONIO, H. Reação de genótipos de soja aos nematoides das galhas *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 6, p. 51-68, 1982.
- DALL'AGNOL, A.; ANTONIO, H.; BARRETO, J. N. Reação de 850 genótipos de soja aos nematoides de galhas *Meloidogyne javanica* e *M. incognita*. **Nematologia Brasileira**, v. 8, p. 67-112, 1984.
- DAVIS, E. L.; MEYERS, D. M.; BURTON, J. W.; BARKER, K. R. Resistance to root-knot, reniform, and soybean cyst nematodes in selected soybean breeding lines. **Journal of Nematology**, v. 30, n. 4s, p. 530-541, 1998.
- DIAS, W. P.; FREITAS, V. M.; RIBEIRO, N. R.; MOITA, A. W.; CARNEIRO, R. M. D. G. Reação de genótipos de milho a *Meloidogyne mayaguensis* e *M. ethiopica*. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 98-105, 2010a.
- DIAS, W. P.; FREITAS, V. M.; RIBEIRO, N. R.; MOITA, A. W.; HOMECHINS, M.; PARPINELLI, N. M. B.; CARNEIRO, R. M. D. G. Reação de genótipos de soja a *Meloidogyne enterolobii* e *M. ethiopica*. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 220-225, 2010b.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil - 1994/95**. Londrina, 1994. 127 p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 77).
- GALBIERI, R.; DAVIS, R. F.; SCOZ, L. B.; BELOT, J. L.; SKANTAR, A. M. First report of *Meloidogyne enterolobii* on cotton in Brazil. **Plant Disease**, v. 104, n. 8, p. 2295, 2020. Doi: 10.1094/PDIS-02-20-0365-PDN.
- HARTMAN, R. M.; SASSER, J. N. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal pattern morphology. In: BARKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER, J. N. (Ed.). **An advanced treatise on Meloidogyne**. Raleigh: North Carolina State University Graphics, 1985. p. 69-77.
- HUANG, C. S.; MAGGENTI, A. R. Mitotic aberrations and nuclear changes of developing giant cells in *Vicia faba* caused by root knot nematode *Meloidogyne javanica*. **Phytopathology**, v. 59, p. 447-455, 1969.
- HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Reporter**, v. 57, p. 1025-1028, 1973.
- JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, p. 946-961, 2013.
- JUHÁSZ, A. C. P.; PÁDUA, G. P.; WRUCK, D. S. M.; FAVORETO, L.; RIBEIRO, N. R. Desafios fitossanitários para a produção de soja. **Informe Agropecuário**, v. 34, p. 66-75, 2013.
- LIMA, E. A.; FURLANETTO, C.; NICOLE, M.; GOMES, A. C. M. M.; ALMEIDA, M. R. A.; JORGE-JÚNIOR, A.; CORREA, V. R.; SALGADO, S. M.; FERRAO, M. A. G.; CARNEIRO, R. M. D. G. The multi-resistant reaction of drought-tolerant coffee 'Conilon Clone 14' to *Meloidogyne* spp. and late hypersensitive-like response in *Coffea canephora*. **Phytopathology**, v. 105, n. 6, p. 805-814, 2015.
- LOPES, C. M. L.; CARES, J. E.; PERINA, F. J.; NASCIMENTO, G. F.; MENDONÇA, J. S. F.; MOITA, A. W.; CASTAGNONE-SERENO, P.; CARNEIRO, R. M. D. G. Diversity of *Meloidogyne incognita* populations from cotton and aggressiveness to *Gossypium* spp. accessions. **Plant**

Pathology, v. 68, p. 816-824, 2019.

LUZZI, B. M.; BOERMA, H. R.; HUSSEY, R. S. Resistance to three species of root-knot nematode in soybean. *Crop Science*, v. 27, p. 258-262, 1987. Doi: 10.2135/cropsci1987.0011183X002700020027x.

LUZZI, B. M.; BOERMA, H. R.; HUSSEY, R. S.; WOOD, E. D. Registration of javanese root-knot nematode resistant soybean germplasm line G93-9223. *Crop Science*, v. 37, p. 1035-1036, 1997.

MAZZETTI, V. C. G.; VISINTIN, G. L.; VALÉRIO, I. P.; CAMERA, J. N.; DEUNER, C. C.; SOARES, P. L. M. Reaction of soybean cultivars to *Meloidogyne javanica* and *Meloidogyne incognita*. *Revista Ceres*, v. 66, n. 3, p. 220-225, 2019.

MENDES, M. L.; CAMILO, O. C.; VICENTE, F. R.; RODRIGUEZ, P. B. N. Reação de genótipos de soja [Glycine max (L.) Merrill] a *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885). Chitwood, 1949. *Nematologia Brasileira*, v. 25, p. 89-93, 2001.

OOSTENBRINK, M. **Major characteristics of the relation between nematodes and plants**. Wageningen: Veenman, 1966. (Mendelingen / Landbouwhoghe School Wageningen, 66-4). (Mededeling / Laboratorium voor phytopathologie, Serie Nematodologie, 42).

PASSIANOTTO, A.; SONAH, H.; DIAS, W. P.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; BELZILE, F.; ABD-ELNOOR, R. V. Genome-wide association study for resistance to the southern root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in soybean. *Molecular Breeding*, v. 37, n. 12, 148, 2017. Doi: 10.1007/s11032-017-0744-3.

PINHEIRO, J. B.; BOITEUX, L. S.; ALMEIDA, M. R. A.; PEREIRA, R. B.; GALHARDO, L. C. S.; CARNEIRO, R. M. D. G. Primeiro relato de *Meloidogyne enterolobii* em porta-enxertos *Capsicum* transportando os *Me1* e *Me3 / ME7* genes no Brasil Central. *Nematropica*, v. 45, p. 184-188, 2015.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras, MG: UFLA, 2005.

RAMMAH, A.; HIRSCHMANN H. Morphological comparison of three host races of *Meloidogyne javanica*. *Journal of Nematology*, v. 22, n. 1, p. 56-68, 1990. PMID: 19287689; PMCID: PMC2619011.

ROBERTS, P. A. Concepts and consequences of resistance. In: STARR, J. L.; COOK, R.; BRIDGE, J. (Ed.). **Plant resistance to parasitic nematodes**. Wallingford, UK: CAB International, 2002. p. 23-42.

SASSER, J. N.; CARTER, C. C.; HARTMAN, K. M. **Standardization of host suitability studies and reporting of resistance to root-knot nematodes**. Raleigh: North Carolina State University Press/ USDA, 1984. 7 p.

SHARMA, R. D.; RODRIGUEZ CASTRO, L. H. Efeito da densidade de população inicial do nematodeo *Meloidogyne javanica* sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária**

Brasileira, v. 17, n. 3, p. 469-477, 1982.

SILVA, E. M.; SOUZA POLLO, A.; NASCIMENTO, D. D.; FERREIRA, R. J.; DUARTE, S. R.; FERNANDES, J. P. P.; SOARES, P. L. M. First report of root-knot nematode *Meloidogyne enterolobii* infecting sweetpotato in the state of Rio Grande do Norte, Brazil. *Plant Disease*, v. 105, n. 5, p. 1571, 2021. Doi: 10.1094/PDIS-11-20-2472-PDN.

SILVA, J. F. V.; FERRAZ, L. C. C. B.; ARIAS, C. A. Herança da resistência a *Meloidogyne javanica* em soja. *Nematropica*, v. 31, p. 209-217, 2001.

SOUZA, C. F. de B.; GALBIERI, R.; BELOT, J.-L.; NEGRI, B. F.; PERINA, F. J.; CARES, J. E.; CARNEIRO, R. M. D. G. Occurrence of a new race of *Meloidogyne enterolobii* and avirulent *M. incognita* populations parasitizing cotton in western Bahia state, Brazil. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, v. 121, 101874, 2022.

TAYLOR, A. L. **Introluction to research on plant nematology**. Rome: FAO, 1967.

TEIXEIRA, R. A. **Reação de cultivares de soja a *Meloidogyne incognita* e *M. javanica***. 2013. 60 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 2013. Goiás, 2013.

TIHOHOD, D.; FERRAZ, L. C. C. B.; VERDELHO, M. A. R. Avaliação da resistência de cultivares de soja a *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885). Chitwood, 1949. *Nematologia Brasileira*, v. 12, p. 141-148, 1988.

YE, W. M.; KOENNING, S. R.; ZHUO, K.; LIAO, J. L. First report of *Meloidogyne enterolobii* on cotton and soybean in North Carolina, United States. *Plant Disease*, v. 97, n. 9, p. 1262, 2013. Doi: 10.1094/PDIS-03-13-0228-PDN.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA