

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ARLAM FERNANDES DA SILVA

HERANÇA DA RESISTÊNCIA DE ACESSO DE CAFEIEIRO AMPHILLO A
Meloidogyne paranaensis

VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023

ARLAM FERNANDES DA SILVA

**HERANÇA DA RESISTÊNCIA DE ACESSO DE CAFEIEIRO AMPHILLO A
*Meloidogyne paranaensis***

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

Orientadora: Dalila Sêni Buonicontro

Coorientadora: Eveline Teixeira Caixeta Moura

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586h
2023
Silva, Arlam Fernandes da, 1995-
Herança da resistência de acesso ao cafeeiro Amphillo a
Meloidogyne paranaensis / Arlam Fernandes da Silva. – Viçosa,
MG, 2023.

1 dissertação eletrônica (60 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Dalila Sêni Buonicontro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.667>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Café - Doenças e pragas. 2. Café - Melhoramento
genético. 3. Nematoda em plantas. I. Buonicontro, Dalila Sêni,
1984-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia.
III. Título.

CDD 22. ed. 571.92


ARLAM FERNANDES DA SILVA

HERANÇA DA RESISTÊNCIA DE ACESSO DE CAFEIEIRO AMPHILLO A
Meloidogyne paranaensis


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

APROVADA: 03 de agosto de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **ARLAM FERNANDES DA SILVA**
Data: 24/10/2023 11:51:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Arlam Fernandes da Silva
Autor

Documento assinado digitalmente
 **DALILA SENI BUONICONTRO**
Data: 25/10/2023 07:18:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dalila Sêni Buonicontro
Orientadora

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, e por todos os dias em que me deu saúde e força.

À minha esposa Lila Lima, por todo apoio que me deu em mais uma conquista.

Aos meus pais, por todos os valores a mim ensinados, e aos meus irmãos, por terem sempre me apoiado.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de cursar o Mestrado.

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

Ao Consórcio Pesquisa Café pelo financiamento desse projeto (S.I. 10.18.20.039.00.05).

À minha orientadora, professora Dra. Dalila Sêni Buonicontro, pela orientação, paciência e pelos ensinamentos.

À minha coorientadora Dr. Eveline Teixeira Caixeta Moura, pelos valiosos ensinamentos na parte de genética e melhoramento no desenvolvimento do trabalho.

Ao Laboratório de Nematologia, pela infraestrutura para a realização deste trabalho.

Aos colegas de trabalho, Amanda, José Neto, Taynara, Maria Luíza, Marcela, Etiene, Vítor e Gabriel, pela amizade e auxílio na realização deste trabalho.

Aos pesquisadores Sônia Maria de Lima Salgado, Moysés Nascimento, Antônio Carlos Baião de Oliveira, Antônio Alves Pereira pelas contribuições no presente trabalho.

BIOGRAFIA

ARLAM FERNANDES DA SILVA, filho de José Ribeiro da Silva e Avelina Fernandes da Silva, nasceu em 24 de agosto de 1995, em Campos Lindos, Tocantins.

Em agosto de 2020, graduou-se em Agronomia pelo Centro Universitário Católica do Tocantins, em Palmas, Tocantins.

Em 03 de março de 2022 iniciou no Programa de Pós-graduação, em nível de Mestrado, em Fitopatologia, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em 03 de agosto de 2023.

RESUMO

SILVA, Arlam Fernandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2023. **Herança da resistência do acessório de café amphillo a *Meloidogyne paranaensis***. Orientadora: Dalila Sêni Buonicontro. Coorientadora: Eveline Teixeira Caixeta Moura.

Meloidogyne paranaensis é hoje umas das principais ameaças à cafeicultura brasileira, dada a sua elevada agressividade ao cafeeiro associado à sua gradativa disseminação para as principais regiões produtoras de café. O seu manejo é dependente do uso da resistência genética associada a outras estratégias de controle. Fontes de resistência a esse nematoide foram encontradas em cafeeiros silvestres de *Coffea arabica*. Esses cafeeiros resistentes representam importante fonte de variabilidade genética para o desenvolvimento de novas cultivares resistentes a *Meloidogyne* spp.. Objetivou-se estudar a herança da resistência do acesso silvestre de *C. arabica*, Amphillo, ao nematoide da espécie *M. paranaensis*. Foram fenotipados 304 genótipos da geração F₂ oriunda do cruzamento de MG 0179-P3-R1♀ e Catiguá MG2-P14♂, em que o genitor feminino das progênies testadas, o acesso MG 0179-P3-R1 que carrega a característica da resistência, era resultante do cruzamento entre germoplasma ‘Amphillo’ e linhagens da cultivar Catuaí Vermelho. Os indivíduos do primeiro experimento foram inoculados com 5.000 ovos, e os do segundo experimento foram inoculados com 10.000 ovos, ambos de *M. paranaensis*. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação. Aos 180 dias da inoculação, foi realizada a fenotipagem para o caractere relacionado à resistência, com base no fator de reprodução (FR). Um total de 234 indivíduos foram resistentes (FR < 1) e 70 suscetíveis (FR ≥ 1) a *M. paranaensis*. Os valores de FR foram submetidos ao teste Qui-quadrado a nível de 5% de significância para determinar a segregação para 1, 2 e 3 genes, os resultados obtidos pelo teste Qui-quadrado sugerem quatro interpretações. Na primeira, a resistência é governada por um gene, com dominância completa, demonstrados pela segregação de 3:1 ($\chi^2=0,6316$; P=42,68%). Na segunda, a resistência é governada por dois genes, um dominante e outro recessivo, indicada pelo padrão de segregação de 13:3 ($\chi^2=3,6491$; P=5,61%). Na terceira, a resistência é governada por três genes, um gene dominante independente, um gene dominante e outro recessivo complementar, indicado pelo padrão de segregação 51:13 ($\chi^2=1,3832$; P=23,96%). Na quarta interpretação, inferiu-se que é governada por três genes, um gene dominante independente e dois recessivos complementares, indicado pelo padrão de segregação 49:15 ($\chi^2=0,0286$; P=86,56%). Conclui-se, que a herança da resistência do Amphillo MR 2-

161 a *M. paranaensis* é controlada por pelo menos um gene com dominância completa, complementado por um ou mais genes de dominância incompleta.

Palavras-chave: Nematoides das galhas radiculares. Resistência genética. *Coffea arabica*.

ABSTRACT

SILVA, Arlam Fernandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2023. **Heritage of the resistance of amphillo coffee accessor to *Meloidogyne paranaensis***. Advisor: Dalila Sêni Buonicontro. Co-advisor: Eveline Teixeira Caixeta Moura.

Meloidogyne paranaensis is currently one of the main threats to Brazilian coffee growing, given its high level of aggressiveness towards the coffee tree and its gradual spread to the main coffee producing regions. Its management depends on the use of genetic resistance combined with other control strategies. Sources of resistance to this nematode have been found in wild coffee trees of *Coffea arabica*. These resistant coffee trees represent an important source of genetic variability for the development of new cultivars resistant to *Meloidogyne* spp. The aim was to study the inheritance of the resistance of the wild accessions of *C. arabica*, Amphillo, to the nematode species *M. paranaensis*. A total of 304 genotypes were phenotyped from the F2 generation resulting from crossing MG 0179-P3-R1♀ and Catiguá MG2-P14♂, in which the female genitor of the progenies tested, access MG 0179-P3-R1, which carries the resistance trait, was the result of crossing the 'Amphillo' germplasm with strains of the Catuaí Vermelho cultivar. The individuals in the first experiment were inoculated with 5,000 eggs, and those in the second experiment were inoculated with 10,000 eggs, both of *M. paranaensis*. The experiments were conducted in a greenhouse. At 180 days after inoculation, phenotyping was carried out for the resistance-related trait, based on the reproduction factor (RF). A total of 234 individuals were resistant ($RF < 1$) and 70 susceptible ($RF \geq 1$) to *M. paranaensis*. The FR values were subjected to the chi-square test at the 5% level to determine segregation for 1, 2 and 3 genes, the results obtained by the chi-square test suggesting four interpretations. In the first, resistance is governed by one gene, with complete dominance, demonstrated by the 3:1 segregation ($\chi^2=0.6316$; $P=42.68\%$). In the second, resistance is governed by two genes, one dominant and the other recessive, indicated by the 13:3 segregation pattern ($\chi^2=3.6491$; $P=5.61\%$). In the third, resistance is governed by three genes, an independent dominant gene, a dominant gene and a complementary recessive gene, indicated by the 51:13 segregation pattern ($\chi^2=1.3832$; $P=23.96\%$). In the fourth interpretation, it was inferred that it is governed by three genes, one independent dominant gene and two complementary recessive genes, indicated by the 49:15 segregation pattern ($\chi^2=0.0286$; $P=86.56\%$). It can be concluded that the inheritance

of resistance of Amphillo MR 2-161 to *M. paranaensis* is controlled by at least one gene with complete dominance, complemented by one or more genes with incomplete dominance.

Keywords: Root-knot nematodes. Genetic resistance. *Coffea arabica*.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	11
CAPÍTULO 1: MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEEIRO PARA RESISTÊNCIA A <i>Meloidogyne</i> spp. E ESTUDO DE HERANÇA.....	13
1.1. CAFEICULTURA BRASILEIRA: HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS GERAIS	14
1.2. MELOIDOGINOSSES DO CAFEEIRO.....	16
1.3. MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEEIRO VISANDO RESISTÊNCIA AO <i>Meloidogyne</i> spp.....	23
1.3.1. O germoplasma de Amphillo e seu potencial como fonte de resistência a <i>Meloidogyne</i> spp.	25
1.3.2. Estudo de herança genética.....	26
1.4. REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 2: HERANÇA DA RESISTÊNCIA DE ACESSO DE CAFEEIRO AMPHILLO A <i>Meloidogyne paranaensis</i>	39
2.1. INTRODUÇÃO.....	42
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
2.4. CONCLUSÃO.....	58
2.5. REFERÊNCIAS	58

INTRODUÇÃO GERAL

O café é uma das *commodities* de maior destaque do agronegócio brasileiro, tendo relevante contribuição para o produto interno bruto (CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL - CECAFE, 2022). A importância da cafeicultura vai além da produção, renda, importação e exportação, visto que possui uma posição relevante no mercado de trabalho, como geradora de mais de 8 milhões de empregos, tanto no meio rural, mão-de-obra nas lavouras, quanto no meio urbano, em indústrias de torrefação e cooperativas (SANTOS; SILVA; FURTADO, 2009). Porém, o cafeeiro é uma das plantas cultivadas que sofrem com o parasitismo de patógenos como os nematoides das galhas radiculares.

Dezenove espécies de *Meloidogyne* spp. parasitas do cafeeiro já foram relatadas no mundo até o momento (CARNEIRO; COFCEWICZ, 2008). No Brasil, três espécies de nematoides das galhas são especialmente prejudiciais à cultura do café: *M. incognita* CHITWOOD, 1949 (KOFOID; WHITE, 1919; CHITWOOD, 1949), *M. paranaensis* (CARNEIRO et al., 1996) e *M. exigua* Göldi, 1887 (CAMPOS; VILLAIN, 2005). O controle desses patógenos é de fundamental importância para evitar os danos causados pelo parasitismo aos cafeeiros que culminam na queda da produtividade e na diminuição da vida útil do cafezal. O manejo de nematoides fitoparasitas é um desafio, pois uma vez presentes em uma área, sua erradicação é praticamente impossível. Várias estratégias de manejo podem ser utilizadas, incluindo a utilização de nematicidas, rotação de culturas, destruição das plantas atacadas, uso de mudas sadias, porta-enxerto resistente e o emprego de variedades resistentes, que é considerada a estratégia mais econômica e eficaz (BERTRAND; ANTHONY, 2008). Esta última é utilizada principalmente para o controle de nematoides endoparasitas sedentários, como das espécies do gênero *Meloidogyne*, que apresentam uma interação especializada com suas plantas hospedeiras (ROBERTS, 2002). Apesar do empenho dos programas de melhoramento para o desenvolvimento de cultivares de *C. arabica* resistentes a esses fitonematoides, o avanço dos trabalhos encontra limitações comuns ao melhoramento de espécies perenes como o cafeeiro, como o longo tempo e área demandados para a avaliação de um ciclo completo da cultura, bem como para a realização dos clássicos testes de resistência, principalmente no que concerne a avaliação do comportamento de diferentes fontes de germoplasma em áreas infestadas (SALGADO; CARNEIRO; PINHO, 2011).

Os genótipos silvestres de *C. arabica* e a variedade Amphillo são fontes de resistência a *M. paranaensis* (ANZUETO et al., 2001; BOISSEAU et al., 2009). Amphillo é uma variedade de café que foi introduzida no Brasil em 1953 originária da Etiópia, e registrada como IAC

1167-19. A planta Amphillo MR 2-161, proveniente da geração IAC 1167-19, foi selecionada como resistente a *M. incognita* em condições de campo e estufa nos anos de 1970 (FAZUOLI, 1986). Desde então, plantas do genótipo Amphillo têm sido utilizadas em programas de melhoramento de *C. arabica* como fontes de resistência a nematoides. Em 2014, (SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014) identificaram como promissores os cafeeiros da população de Híbrido de Timor UFV 408-01 e genótipos F3 derivadas do cruzamento entre ‘Catuaí Vermelho’ e Amphillo MR 2-161, e potencialmente resistentes ao *M. paranaensis*. Esses genótipos são importantes para o programa de melhoramento genético do cafeeiro, podendo contribuir no desenvolvimento de novas cultivares de café resistentes a nematoides. Em *C. canephora*, os cruzamentos envolvendo quatro parentais femininos e oito parentais masculinos, resultaram em níveis variáveis de resistência, dependendo dos parentais usados, o que aponta a importância do rastreamento e conhecimento sobre os genótipos antes da realização dos cruzamentos controlados (BERTRAND; ANTHONY; LASHERMES, 2001).

O presente trabalho teve como objetivo realizar a fenotipagem da geração F₂ do híbrido C68P-9 de *C. arabica*, pertencente ao germoplasma Amphillo MR 2-161, para resistência ao *M. paranaensis*, como parte inicial de um estudo de herança da resistência.

REFERÊNCIAS

ANZUETO, F.; BERTRAND, B.; SARAH, J.L.; ESKES, A.B.; DECASY, B. Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. **Euphytica**. v.1, p.1-8, 2001.

BERTRAND, B.; ANTHONY, F. Genetics of resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and breeding. In: SOUZA, R.M. (Ed.). **Plant Parasitic Nematodes of coffee**. Dordrecht: Springer, 2008a. p. 165–190.

BERTRAND, B.; ANTHONY, F.; LASHERMES, P. Breeding for resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica* by introgression of resistance genes of *Coffea canephora*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 50, n. 5, p. 637-643, 2001.

BOISSEAU, M.; BOISSEAU, M.; ARIBI, J.; SOUSA, F.R.D.; CARNEIRO, R.M.; ANTHONY, F. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 1, p. 38–41, 2009.

CAMPOS, V.P.; VILLAIN, L. Parasitas de nematóides do café, cacau e chá. In: Luc, M.; Sikora, R.A.; Ponte, J. (eds). Nematóides parasitas de plantas na agricultura tropical e subtropical. Wallingford, Reino Unido: **CAB International**, 2005. p. 529-579.

CARNEIRO, R.M.D.G.; CARNEIRO, R.G.; ABRANTES, I.M.O.; SANTOS M.S. N.A.; ALMEIDA, M.R.A. *Meloidogyne paranaensis* n. sp. (Nemata: Meloidogynidae) a root-

knot nematode parasitizing coffee in Brazil. **Journal of Nematology**, v. 28, n. 2, p. 177-189, 1996.

CARNEIRO, R.M.D.G.; COFCEWICZ, E.T. Taxonomy of Coffee-Parasitic Root-Knot Nematodes, *Meloidogyne* spp. In: **Plant-Parasitic Nematodes of Coffee**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. p. 87–122.

CHITWOOD, B.G. —Root-knot nematodes —Part 1. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. **Proceedings of Helminthological Society**, v. 16, p. 90-104, 1949.

CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL - CECAFE. Relatório mensal abril 2022. Disponível em: <<https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-deexportacoes/>>. Acesso em: 29 de junho. 2023.

FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, N.; YAMADA, J. (Eds). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 87-113.

KOFOID, C.A.; WHITE, W.A. A new nematode infection of man. **Journal of American Med. Association**, v. 72, p. 567-569, 1919.

ROBERTS, P.A. Concepts and consequences of resistance. In: STAR, J.L. et al. (Ed). **Plant resistance to parasitic nematodes**. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2002.p. 23-41.

SALGADO, S.M.L. de; CARNEIRO, R.M.D.G.; PINHO, R.S.C. de. Aspectos técnicos dos nematóides parasitas do cafeeiro. **Boletim Técnico**. v.98. Lavras: EPAMIG, 2011. p.60.

SALGADO, S.M.L.; REZENDE, J.C.; NUNES, J.A.R. Selection of coffee progenies for resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in infested area. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 94-101, 2014.

SANTOS, J. R.; SILVA, A. C.; FURTADO, R. P. A importância econômica da cafeicultura no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 47, n. 4, pp. 767-785, out./dez. 2009.

**CAPÍTULO 1: MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEIRO PARA
RESISTÊNCIA A *Meloidogyne* spp. E ESTUDO DE HERANÇA**

1.1.CAFEICULTURA BRASILEIRA: HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS GERAIS

O café é uma das principais *commodities* no mercado internacional e de fundamental importância para a balança comercial de diversos países da América Latina, África e Ásia, nos quais a cafeicultura é a principal fonte de renda de milhões de pequenos e médios agricultores (AVELINO et al., 2015; BIKILA; SAKIYAMA; CAIXETA, 2017; GARTNER; MCCOUCH; MONCADA, 2013).

No Brasil, o cafeeiro foi introduzido no Pará em 1727, proveniente de Caiena, Capital da Guiana Francesa, pelo oficial Francisco de Mello Palheta, a pedido do Governador Geral da capitania do Maranhão, capitão João da Maia da Gama (MARTINS, 2008). As sementes e mudas trazidas da Guiana Francesa pertenciam a espécie *Coffea arabica* L. 'Typica', originárias daquelas implantadas no 'Jardin des Plantes' de Paris (MARTINS, 2008; CARVALHO et al., 2007). Estas foram usadas para a formação de pequenas plantações, limitadas ao Norte e Nordeste do Brasil colônia até grande parte do século XVIII (MARTINS, 2008). Com o declínio econômico, no final do século XVIII, a Coroa portuguesa iniciou ações para incentivar o cultivo de café no Brasil, estabelecendo-se os primeiros cafezais na província do Rio de Janeiro e progressivamente expandindo para toda a região Sudeste. Já no final da primeira metade do século XIX o café ocupava posição central na balança comercial (MARTINS, 2008), importância que perdura até os dias de hoje. Já o conilon (*Coffea canephora*) foi introduzido no país a partir do estado do Espírito Santo, em 1912, trazido por Jerônimo Monteiro, ex-governador do Espírito Santo (BANDES, 1987; FERRÃO et al., 2007; MERLO, 2012; VARGAS, 2012). Esse estado hoje é referência brasileira e mundial no desenvolvimento da cafeicultura do Conilon.

A expansão da produção de café ocorreu principalmente na região do Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, e na região da Zona da Mata, em Minas Gerais. Essas regiões apresentavam solos férteis, relevo adequado e clima favorável, características essenciais para o cultivo do café arábica, que é a espécie predominante no Brasil. Entretanto, a partir da segunda metade do século XX, houve uma expansão do cultivo do café para outras regiões, como para o Cerrado brasileiro. O Cerrado é uma vasta área de planalto com características distintas, como solos ácidos, altas temperaturas e uma estação seca bem definida. Inicialmente, acreditava-se que essas condições não eram adequadas para o cultivo do cafeeiro, mas os avanços tecnológicos e as pesquisas agrônômicas mostraram o contrário (CARVALHAES, 2019).

Hoje, o Brasil é o maior produtor e exportador do grão, com uma área plantada estimada em 2,26 milhões de hectares, sendo 1,8 milhão de hectares para lavouras em produção, com

crescimento de 1,9% sobre a safra 2022, e 400,6 mil hectares de área em formação, o que resulta em um aumento de 0,8% de área total cultivada em comparação à safra de 2022. Das lavouras em produção, estima-se que 1,5 milhão de hectares foram dedicados ao café arábica e 389 mil hectares ao café conilon. Minas Gerais é o maior produtor de *C. arabica* e o estado do Espírito Santo é o maior produtor de *C. canephora*, ambos os estados gerando 70% da produção nacional e os outros 30%, produzidos pelos estados de SP, BA, PR e RO (CONAB, 2023). De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a área plantada com café no Brasil teve um aumento de 37%, e a produtividade média das lavouras aumentou cerca de 70% nos últimos 30 anos. Em 1990, a área total era de aproximadamente 1,9 milhão de hectares, enquanto em 2020, esse número subiu para cerca de 2,2 milhões de hectares. Esse crescimento pode ser atribuído à expansão de novas áreas produtoras, como no Cerrado brasileiro, além do aumento do cultivo em regiões tradicionais, como Minas Gerais e São Paulo (CONAB, 2023).

As variedades da espécie de *C. arabica* mais plantadas são ‘Catuaí’ e ‘Mundo Novo’. Elas são bastante apropriadas para regiões de maior altitude e de clima ameno (MATIELLO et al., 2010). Enquanto as variedades mais plantadas de *C. canephora* são: ‘Conilon’ clones 14, 1534 e 02. Esses genótipos são favorecidos pela boa adaptação às áreas com predominância de baixas altitudes, clima com temperaturas mais quentes e umidade relativa do ar mais elevada (GUERREIRO FILHO, 2006). As espécies *C. arabica* e o *C. canephora* são amplamente cultivadas e diferem em termos de características morfológicas e agrônômicas. O *C. arabica* é uma espécie de cafeeiro mais delicada e exigente em termos de cultivo. Possui folhas maiores e mais largas, além de frutos ovais, quando maduros. Apresenta um sabor mais suave e aromático e preços mais elevados em comparação ao *C. canephora*. Por outro lado, o *C. canephora*, conhecido como café robusta, é uma espécie mais rústica e resistente a doenças, adaptada a climas mais quentes e altitudes mais baixas. Suas folhas são menores e mais estreitas, e os frutos são mais redondos quando maduros. O café robusta tem um sabor mais intenso e amargo e preços mais baixos (CLIFFORD, 2000; DAVIS et al., 2000).

A situação atual do mercado e da demanda mundial de café é influenciada por diversos fatores. O café continua sendo uma das bebidas mais populares em todo o mundo, com um consumo global crescente ao longo dos anos. Uma das tendências observadas é o aumento do consumo de cafés especiais e de origem única. Isso tem impulsionado o mercado de cafés especiais, que geralmente são produzidos em pequena escala e possuem um valor agregado maior. Além dos cafés especiais, os *blends* também continuam sendo populares. Os principais importadores do café brasileiro, tradicionalmente são os maiores consumidores como os Estados Unidos, a Alemanha, o Japão, a França e a Itália. As projeções indicam um aumento

no consumo mundial de café, impulsionadas pelo aumento do consumo nos países em desenvolvimento e do consumo dos cafés especiais (ABIC, 2020). Nesse cenário, o Brasil, como grande produtor de café, tem a oportunidade de expandir suas exportações e mesmo ampliar o consumo interno de cafés especiais. Contudo, para garantir a sustentabilidade dessa alta produtividade, alguns desafios precisam ser superados. Fatores como variações climáticas, doenças e pragas afetam o rendimento e a rentabilidade da cultura e, conseqüentemente, a disponibilidade e os preços do café. Dentre esses, os fitonematoides, em especial os nematoides das galhas radiculares (*Meloidogyne* spp.) merecem destaque.

1.2. MELOIDOGINOSSES DO CAFEIEIRO

As espécies do gênero *Meloidogyne* Chitwood, 1949, são conhecidas como nematoides causadores das galhas nas raízes e estão entre os fitopatógenos mais danosos aos cultivos, pois possuem ampla distribuição geográfica, muitas vezes interagem com outros fitopatógenos formando complexos de doenças, são de difícil controle e causam queda na produção e na qualidade de várias culturas economicamente importantes (MÔNACO et al., 2009; STROZE, 2013). Os danos causados por *Meloidogyne* spp. ao cafeeiro variam em função da espécie do parasita, suscetibilidade da cultivar, tipo de solo, clima e nível tecnológico da lavoura (BARBOSA et al., 2004; BOISSEAU et al., 2009; CAMPOS; SRIVAPALAN; GNANAPRAGASAM, 1990). Em lavouras constituídas por genótipos suscetíveis, a infecção das plantas pode causar prejuízos que variam desde perdas moderadas, com reduções de 10-20% na produção, até danos graves às lavouras, com perdas de até 80% do sistema radicular do cafeeiro levando à morte das plantas (BERTRAND et al., 1997; BERTRAND; ANTHONY, 2008). Os nematoides do gênero *Meloidogyne* são endoparasitas sedentários obrigatórios, que evoluíram uma complexa interação com suas plantas hospedeiras. Estes apresentam dimorfismo sexual estabelecido durante o desenvolvimento pós-embriônico. Fatores ambientais tais como variação de temperatura afetam a diferenciação sexual, a reprodução e a sua fecundidade (MOURA, 1996; GOMES, 2006; STROZE, 2013).

A fase de invasão do sistema radicular é iniciada quando os juvenis de segundo estágio (J2), pré-parasíticos, penetram nas raízes e migram intercelularmente até a região de diferenciação do cilindro vascular, onde selecionam cerca de seis células, nas quais injetam secreções produzidas nas glândulas esofagianas, por meio do estilete (JONES; GOTO, 2011). Esse processo desencadeia a formação das células gigantes, que são as células especializadas de alimentação desse patógenos, induzidas por eventos sucessivos de divisão mitótica

acitocinética e endorreducação celular, gerando células hipertrofiadas com múltiplos núcleos alargados (SMANT; HELDER; GOVERSE, 2018). Ao final, tais células assumem características de células de transferência, funcionando com dreno de nutrientes e água, que são direcionados para a nutrição desses nematoides (JONES; GOTO, 2011). Paralelo a isso, pode ocorrer a hiperplasia das células adjacentes às células gigantes, resultando na formação das galhas radiculares. Como sintomas reflexo desse parasitismo, observa-se na parte aérea das plantas clorose e desfolha, que são sintomas típicos de deficiência nutricional, redução do crescimento e depauperamento geral, podendo causar a morte da planta (DANEEL, 2017).

Espécies de *Meloidogyne* são altamente adaptáveis e pode se reproduzir de maneiras diferentes, dependendo da espécie. As espécies desse gênero podem se reproduzir assexuadamente, por meio de um processo conhecido como partenogênese mitótica ou meiótica, ou por anfimixia, ocorrendo a junção dos gametas masculino e feminino, na fertilização, dando origem ao núcleo do zigoto. Contudo, entre as espécies que atacam o cafeeiro o modo de reprodução mais comum é por partenogênese (CASTAGNONE-SERENO, 2006). O conhecimento sobre as formas de reprodução do *Meloidogyne* é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo e controle eficazes para proteger as plantas contra esses nematoides fitoparasitas.

Dezenove espécies de *Meloidogyne* já foram relatadas infectando o cafeeiro (CARNEIRO; COFCEWICZ, 2008; HUMPHREYS-PEREIRA et al., 2014; TRINH et al., 2019). Nos cafezais brasileiros, *M. exigua* é a espécie mais amplamente encontrada, seguida por *M. incognita* e *M. paranaensis*, *M. coffeicola* é menos frequente, enquanto *M. javanica* e *M. hapla* são encontradas ocasionalmente, sem relatos de danos (FERRAZ, 2008; STEFANELO et al., 2019). As que apresentam maior relevância econômica são *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis*, devido aos danos significativos que causam aos hospedeiros (Figura 1) impactando na produtividade e longevidade da cultura (SANTOS et al., 2018a, SANTOS et al., 2018b, SANTOS et al., 2021). Essas três espécies têm causado perdas econômicas significativas na cultura do café, uma vez que podem causar danos diretos e indiretos à produtividade. Tem-se uma estimativa de que a redução da produção mundial de café, devido ao parasitismo dos nematoides, seja, em média, de 15%, no Brasil, estima-se um valor médio de mais ou menos de 20% (OLIVEIRA et al., 2018). Desta forma, os agricultores precisam adotar estratégias de manejo, que envolvam o uso de mudas livres de fitonematoides, cultivares resistentes, manejo do solo e uso de nematicidas (químicos ou microbiológicos). Além disso, para a escolha de medidas adequadas de manejo, baseadas na resistência genética,

em práticas culturais e controle biológico, é fundamental a identificação correta das espécies presentes nos cafezais, já que diferentes espécies de *Meloidogyne* podem infectar o cafeeiro.

No anos recentes, *M. paranaensis* e *M. incognita* tem se tornado as espécies de fitonematoides mais prejudiciais ao cafeeiro devido à sua agressividade, podendo até levar à morte das plantas. A detecção de *M. paranaensis* em Minas Gerais tem preocupado os profissionais envolvidos na cafeicultura nessa região, uma vez que sua presença representa um risco para a produção de café (CASTRO et al., 2008). A suscetibilidade e intolerância da maioria das cultivares de *C. arabica* a esses nematoides são limitações significativas tanto para a implantação de novos cafezais em áreas infestadas quanto para o manejo das plantações já contaminadas (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2001).

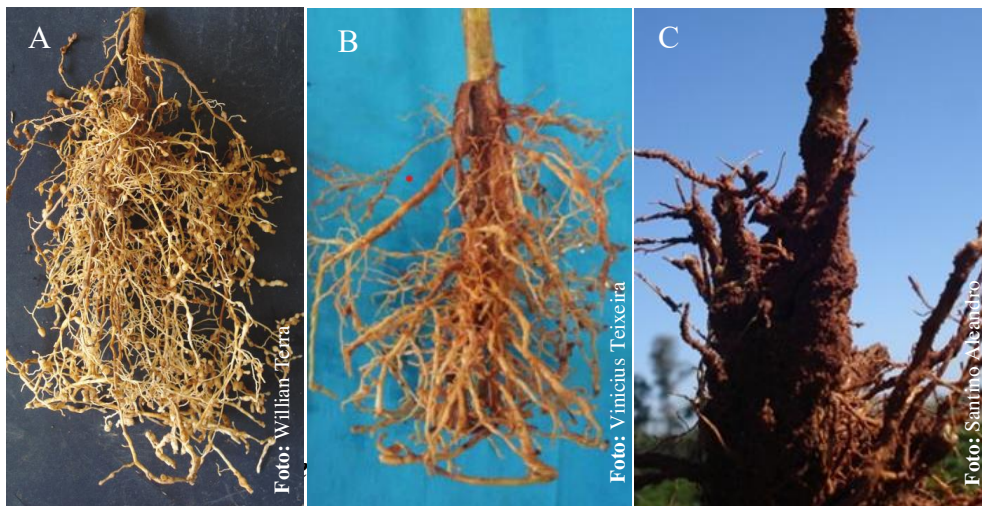


Figura 1: Sintomas induzidos por. (A): *Meloidogyne exigua*; (B): *M. incognita* e (C): *M. paranaensis* em cafeeiro.

Meloidogyne paranaensis foi relatada pela primeira vez no Brasil em 1996, infectando plantas de *C. arabica* em lavouras no estado do Paraná. Por mais de 20 anos antes da descrição, a espécie foi confundida com *M. incognita*, até então descrita como raça 4 (CARNEIRO et al., 1996). Esse fitonematoide destaca-se pela sua agressividade causando a destruição do sistema radicular, resultando em elevado grau de depauperamento das plantas (CARNEIRO et al., 2008) (Figura 1C). Esses danos causados pelo patógeno incluem as perdas indiretas, como a deficiência no uso dos fertilizantes, potencializados por danos provocados pelo déficit hídrico decorrentes das mudanças climáticas (SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014). Após cerca de dois anos do início da infecção das raízes parasitadas por *M. paranaensis*, essas apresentam descascamento e rachaduras, com alguns pontos de engrossamento em que se mostram lesões necróticas, e dependendo da densidade populacional em uma área, o recomendável é a renovação do talhão com cultivar resistente (CASTRO et al., 2008). É considerada a espécie de

Meloidogyne mais limitante à cafeicultura brasileira, já que as principais cultivares comerciais de *C. arabica* são suscetíveis a esse patógeno (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2007). As principais formas de disseminação de fitonematoide, incluindo *M. paranaensis*, é por meio de mudas infectadas, implementos agrícolas infestados e pelo escoamento de água da chuva ou de irrigação (FOGANHOLI, 2012). Desta forma, medidas como construção de curvas de níveis e bacias de contenção de água, uso de culturas antagonistas nas ruas, intensificação da fiscalização da qualidade sanitária das mudas de cafeeiro e limpeza de máquinas e implementos agrícolas podem prevenir a rápida disseminação desses patógenos para novas áreas (SALGADO; PINHEIRO; OLIVEIRA, 2007).

Menos de três décadas após a descrição, *M. paranaensis* está disseminada em quase todas as regiões cafeeiras do Brasil (Figura 2), com relatos nos estados do Paraná (CARNEIRO et al., 1996, 2004; KRZYZANOWSKI et al., 2001), São Paulo (CARNEIRO et al., 2004; LORDELLO; LORDELLO; FAZUOLI, 2001), Espírito Santo (BARROS et al., 2011, 2014), Goiás (SILVA; OLIVEIRA; ZAMBOLIM, 2009) e Minas Gerais (CASTRO; CAMPOS; NAVES, 2003; SALGADO et al., 2018; FERNANDES et al., 2019; TERRA et al., 2019). Neste último estado, o maior produtor nacional de *C. arabica* e onde a cafeicultura desempenha importante papel econômico e social, a espécie já foi identificada nos municípios de Serra do Salitre, Patrocínio (CASTRO; CAMPOS; NAVES, 2003), Piumhi, Carmo da Cachoeira (CASTRO et al., 2008; SALGADO et al., 2018), Indianópolis, Araguari (FERNANDES et al., 2019), Carmo do Paranaíba, Monte Carmelo, Rio Paranaíba (TERRA et al., 2019), Campos Altos, Estrela do Sul, Patos de Minas e São Gotardo (LONDE et al., 2023). Esse nematoide também foi detectado em outros países do continente americano, como Guatemala (VILLAIN et al., 2013), México (LOPEZ-LIMA et al., 2015) e no Havaí (CARNEIRO et al., 2004).

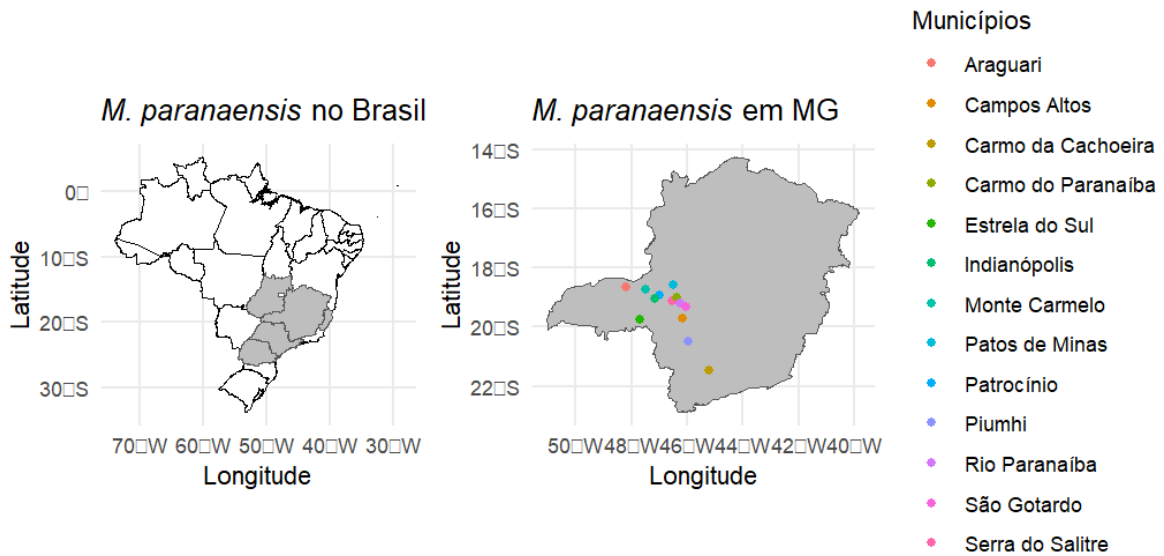


Figura 2: Distribuição de *Meloidogyne paranaensis* nos estados brasileiros e em municípios de Minas Gerais.

Na região do Cerrado mineiro, responsável por 25% produção de café gerada no estado, a cafeicultura utiliza o que há de mais moderno, inovador e tecnológico, o que resulta em alta rendimento da cultura. Recentemente, em resposta à denúncia de declínio do vigor e da produção do café por parte dos cafeicultores dessa região, foi realizada uma investigação das causas por meio de um levantamento (TERRA et al., 2019). Neste, foram coletadas 153 amostras em 105 fazendas de 11 municípios. *M. paranaensis* foi encontrado em 11,4% das fazendas amostradas em sete municípios produtores de café (TERRA et al., 2019). Até onde sabemos, este foi o primeiro relato de *M. paranaensis* em Araguari, Carmo do Paranaíba, Indianópolis, Monte Carmelo e Rio Paranaíba. Anteriormente, *M. paranaensis* havia sido detectado em apenas dois outros municípios da região do Cerrado mineiro, Serra do Salitre e Patrocínio (CASTRO; CAMPOS; NAVES, 2003).

1.2.2. Manejo integrado de *Meloidogyne* spp. no cafeeiro

As medidas de controle de fitonematoides mais eficientes são aquelas que evitam a entrada e a disseminação do nematoide na área, por meio de mudas contaminadas, solo infestado aderido às máquinas e implementos, além da água de enxurradas, provenientes de talhões ou áreas já infestadas (SALGADO; REZENDE, 2010). O uso de mudas livres de nematoides é fundamental para a prevenção da disseminação desses patógenos, garantindo o estabelecimento de plantas saudáveis e produtivas. Além disso, contribui para reduzir a

necessidade de tratamentos químicos e outras medidas de controle, diminuindo os custos de produção e minimizando o impacto ambiental.

A produção de mudas de cafeeiro é regulamentada no Brasil pela Instrução Normativa nº 30, de 24 de agosto de 2010, emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2010). Essa normativa estabelece os requisitos técnicos e os padrões de classificação para a produção, a comercialização e o transporte de mudas de café. A instrução normativa também define critérios para a obtenção do "Certificado de Qualidade de Mudas de Café" (CQM), que atesta a conformidade das mudas com os padrões estabelecidos. Esses órgãos têm a atribuição de verificar o cumprimento das legislações vigentes e dos requisitos estabelecidos pela Instrução Normativa nº 30. Essa fiscalização envolve inspeções periódicas nas propriedades produtoras de mudas, verificação da documentação e certificação das mudas, além de ações de educação e conscientização dos produtores quanto à importância da produção de mudas livres de nematoides e à adoção de boas práticas agrícolas. A existência de legislação específica para a produção, comercialização e transporte de mudas de cafeeiro varia entre os estados produtores. Embora a Instrução Normativa nº 30/2010 seja aplicável em todo o território nacional, alguns estados podem ter normas complementares para atender às particularidades regionais (CASTRO et al., 2011; SOUZA et al., 2009). Castro et al. (2011) destacaram que para que haja sustentabilidade na produção dessas mudas, a preocupação com a qualidade fitossanitária deve ser priorizada pelos viveiristas e pelos órgãos de fiscalização no que se refere aos nematoides.

Dada a maior agressividade de *M. paranaensis* às cultivares suscetíveis de arábica cultivados no Brasil, o manejo de áreas infestadas com esse patógeno não é tarefa fácil. Dentre as alternativas recomendadas incluem a remoção das plantas sintomáticas seguida pelo uso de medida que diminua a população residual no solo (ex: uso de nematicida ou plantio de plantas antagonistas) antes do replantio empregando uma cultivar resistente, dentre outras medidas culturais. A implantação de tais medidas aumenta o custo de produção. A introdução de *M. paranaensis* nos cafezais brasileiros tem desestimulado os cafeicultores, que podem vender a terra ou abandonar a atividade e substituir os cafezais por lavouras de grãos (TERRA et al., 2019).

Para lidar com esse problema, necessariamente o cafeicultor precisa implantar o manejo integrado de nematoides, que é uma abordagem que engloba a implantação contínua de diferentes estratégias que visam a diminuição da população desses patógenos no solo e conseqüentemente, dos danos à cultura. Nesse inclui o uso de mudas livres de nematoides, uso

de cultivar resistentes, adubação equilibrada, controle biológico, controle químico, manejo de plantas invasoras, uso de plantas antagonistas nas ruas, dentre outras estratégias.

No mercado brasileiro há seis nematicidas químicos registrados para uso na cultura do cafeeiro (MAPA, 2023). Os princípios ativos registrados para uso no cafeeiro são, Fluopiram, Terbufós, Fostiazato, Abamectina, Fluensulfona e Cadusafós. O fluopiram atua na transmissão de impulsos nervosos, bloqueando os canais de nicotina na membrana celular, o terbufós, cadusafós e o fostiazato atuam inibindo a enzima acetilcolinesterase, que é responsável pela quebra da acetilcolina, um neurotransmissor que transmite sinais nervosos, a abamectina atua no sistema nervoso, como modulador alostérico dos canais de cloreto de glutamato, já o modo de ação da fluensulfona é desconhecido. Os produtos são geralmente aplicados no solo quando a cultura já está implantada ou no sulco, durante o plantio da cultura. Muitos nematicidas químicos têm amplo espectro de ação, sendo alguns considerados muitas vezes biocidas, causando distúrbio ambiental e fitotoxidez (Spurr, 1985).

O mercado de produtos microbiológicos tem crescido nos últimos anos no Brasil e tais ferramentas podem agregar no manejo integrado de fitonematoides do cafeeiro. Na cafeicultura, os produtos biológicos utilizados são a base de bactérias e fungos. Dentre as bactérias utilizadas, o gênero de maior sucesso no controle biológico de nematoides é o *Bacillus*, com as espécies mais utilizadas *B. subtilis*, *B. methylotrophicus*, *B. licheniformis* e *B. amyloliquefaciens*. Os fungos mais comumente encontrados em produtos comerciais são *Purpureocillium lilacinum* (*Paecilomyces lilacinus*), *Pochonia chlamydosporia* e espécies de *Trichoderma*. (ARPIN et al., 2019). Hoje há cerca de 87 produtos microbiológicos registrados para o controle do nematoides das galhas, e geralmente as aplicações desses produtos são feitas via solo, quando a cultura já estar instalada ou via sulco durante a instalação da lavoura, porém a eficácia dos mesmos não é satisfatória na maioria das vezes para a cultura do café (CARVALHO et al., 2018).

O uso de cultivares resistentes às espécies de *Meloidogyne*, que limitam a produção de café, é crucial no manejo integrado de fitonematoides, já que a natureza perene do cafeeiro diminui a eficiência de controle das medidas baseadas nos métodos químicos e biológicos (ALBUQUERQUE et al., 2010; VILLAIN et al., 2010). Há 14 cultivares registradas que apresentam resistência a alguma espécie de *Meloidogyne* (SANTOS et al., 2023), (Tabela 1).

Tabela 1: Lista de cultivares de café registradas no Brasil resistentes aos nematoides das galhas *Meloidogyne* spp.

Cultivares	<i>Meloidogyne</i> spp.	Fontes
Apoatã IAC 2258	<i>M. exigua</i> , <i>M. incognita</i> , <i>M. paranaensis</i>	Pereira et al., 2011; Andreazi et al., 2013
Catiguá MG-3	<i>M. exigua</i>	Botelho et al., 2008; Pereira et al., 2011
Catimor CIFC 446	<i>M. exigua</i>	Bertrand; Anthony; Lashermes, 2001
Catucaí 785/15	<i>M. exigua</i>	Salgado; Carneiro; Pinho, 2011
IAC-Herculândia	<i>M. exigua</i> , <i>M. incognita</i> e <i>M. paranaensis</i>	IAC, 2023
IAPAR-59	<i>M. exigua</i>	Anthony et al., 2005
Icatu H4782-7514	<i>M. exigua</i>	Bertrand; Anthony; Lashermes, 2001
Icatu Vermelho IAC 925	<i>M. paranaensis</i>	Fatobene et al., 2014
IPR 100	<i>M. paranaensis</i>	Sera et al., 2002; Andreazi et al., 2013
IPR 106	<i>M. incognita</i> , <i>M. paranaensis</i>	Sera et al., 2002; Sera, 2017
Kouilou clone CcK	<i>M. incognita</i> , <i>M. paranaensis</i>	Fatobene et al., 2014
Robusta Apoatã	<i>M. exigua</i>	Toruan-Mathius et al., 1995; Villain et al., 1996
Robusta IAC C2291	<i>M. incognita</i> , <i>M. paranaensis</i>	Fatobene et al., 2014
Sarchimor IAPAR 59	<i>M. exigua</i>	Bertrand; Anthony; Lashermes, 2001
Timor 1343	<i>M. exigua</i>	Bertrand; Anthony; Lashermes, 2001

Apesar de haver cultivares resistentes disponíveis, nota-se que há poucas opções que possuem resistência ao *M. paranaensis*, ou mesmo que tenham resistência múltipla às espécies de *Meloidogyne* (Tabela 1). Há de se considerar a necessidade contínua pela busca por novas fontes de resistências a esses patógenos, já que relatos de campo da suplantação da resistência presente nessas cultivares não são raros, evidenciando a rápida adaptabilidade e evolução das populações de *Meloidogyne* spp. (SERA et al., 2017).

1.3. MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEIEIRO VISANDO RESISTÊNCIA AO *Meloidogyne* spp.

No Brasil, as principais cultivares de café mais plantadas são: ‘Catuaí Vermelho’, ‘Catuaí Amarelo’, ‘Mundo Novo’, ‘Bourbon’, ‘Catimor’ e ‘Icatu’ (MAPA, 2023). E a maioria são suscetíveis às várias espécies de *Meloidogyne*, principalmente *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis* (GONÇALVES et al., 2004). A alta susceptibilidade e intolerância dessas cultivares a esses nematoides constitui um fator limitante à cafeicultura (SALGADO; CARNEIRO; PINHO, 2011). Por isso, a busca nos bancos de germoplasmas por fontes de resistência a esses patógenos tornou-se uma prioridade para os programas de melhoramento do

cafeeiro no Brasil (FERRAZ, 2008; LIMA et al., 2015; SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014; SERA et al., 2007).

As fontes de resistência a *Meloidogyne* spp., dentro do germoplasma do cafeeiro, estão presentes em *C. canephora* (GONÇALVES et al., 1996; RIBEIRO et al., 2005), *C. congensis* (SERA et al., 2005, 2007) e *C. dewevrei* (KANAYAMA et al., 2009; SERA et al., 2005, 2006). Além dessas, o germoplasma de Amphillo vem sendo explorado e possui grande potencial para resistência a *M. paranaensis* e à seca, uma vez que apresenta um sistema radicular bem robusto. Genótipos de Amphillo já foram relatados apresentando resistência à raça 2 de *M. exigua* (GONÇALVES et al., 1996) e progênies F3 derivadas do cruzamento entre Catuaí Vermelho e Amphillo MR 2-161 apresentaram resistência a *M. paranaensis* em experimento de campo (SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014).

Alguns cruzamentos entre *C. arabica* e *C. canephora* originaram plantas resistentes a *M. incognita* e *M. paranaensis*, porém essas foram segregantes para essa característica. A segregação de características nas progênies resultantes do cruzamento com *C. canephora*, quando se trata da resistência ao nematoide *M. paranaensis*, é resultado da complexidade genética da resistência, influência dos parentais envolvidos no cruzamento e dos mecanismos de defesa complexos associados à resistência. Esses fatores contribuem para a ampla variação genética e fenotípica nas progênies, resultando em uma segregação mais pronunciada das características desejadas (GONÇALVES; FERRAZ, 1987; GONÇALVES et al., 1996; GONÇALVES; LIMA; FAZUOLI, 1998).

O porta-enxerto Apotã IAC-2258 de *C. canephora* que vem sendo utilizado como porta-enxerto para o *C. arabica* é resistente a *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis* (FAZUOLI et al., 1987) podendo ser feito o plantio em áreas infestadas (FAZUOLI et al., 1987). Entretanto, as populações de *C. canephora* apresentam frequência variável de plantas resistentes a diferentes espécies e raças de *Meloidogyne* spp. Existem fontes de resistência a *M. paranaensis* nas duas espécies de cafeeiros cultivadas, *C. arabica* e *C. canephora*. Em *C. arabica*, um estudo de cruzamentos entre três cultivares e oito plantas de cafeeiro selvagens identificou três plantas selvagens que produziram famílias híbridas F1 resistentes (ANZUETO et al., 2001). Em *C. canephora*, um estudo de cruzamentos entre quatro parentais fêmeas e oito parentais machos identificou níveis variáveis de resistência, dependendo dos parentais usados. Esses estudos destacam o mérito de rastrear os recursos genéticos antes de realizar cruzamentos controlados para identificar fontes de resistência a *M. paranaensis* (BERTRAND; ANTHONY; LASHERMES P, 2001).

A resistência de plantas a doenças pode ser pré ou pós-infeccional, sendo que a segunda é mais frequente. No caso da resistência pós-infeccional, apesar da penetração dos nematoides nas raízes, ocorre uma redução no seu desenvolvimento e reprodução (ROBERTS, 2002; SALGADO; CARNEIRO; PINHO, 2011). Em nível molecular, poucos genes de resistência (*R*) aos nematoides das galhas foram clonados. Estes poucos genes foram identificados em tomateiro, batateira, beterraba e soja (FULLER et al., 2008). Em *C. arabica*, a resistência genética a *M. exigua* é governada pelo gene *Mex-1*, o qual foi introgridido a partir da espécie *C. canephora* (NOIR et al., 2003). Esse gene já foi mapeado, porém, ainda não foi clonado. Estudos demonstraram que o gene apresenta dominância incompleta, permitindo em genótipos heterozigotos a penetração do nematoide, porém, inibindo a sua reprodução. Genótipos portadores desse gene apresentam reação de hipersensibilidade (HR) em resposta a tentativa de infecção pelo nematoide (ALPIZAR; ETIENNE; BERTRAND, 2007; NOIR et al., 2003).

Embora haja relatos de fontes de resistência ao *M. paranaensis*, essas são restritas e a natureza da resistência é pouco entendida. Os programas de melhoramento vêm buscando o desenvolvimento de cultivares resistentes a *M. paranaensis* associadas a característica de alta produtividade, qualidade de bebida e adaptação às condições edafoclimáticas nas regiões produtoras no Brasil. Para acelerar esse processo de busca por novas fontes de resistência e introgressão dessas nas cultivares elite, o uso de marcadores moleculares no melhoramento genético, de uso incipiente no melhoramento do cafeeiro, se faz necessário. Essa ferramenta permite a identificação de genes responsáveis por características desejáveis, que podem ser transmitidas de forma mais precisa para as gerações seguintes. Também podem ser usadas para identificar e selecionar indivíduos com características desejáveis, como resistência a doenças. Com isso, indivíduos portadores de características indesejadas serão eliminados nas fases iniciais do melhoramento, evitando o desperdício de recursos com a sua manutenção e permitindo que o programa de melhoramento foque em indivíduos com maior potencial (CAIXETA, 2015).

1.3.1. O germoplasma de Amphillo e seu potencial como fonte de resistência a *Meloidogyne* spp.

A variedade de café Amphillo é composta por plantas provenientes de sementes coletadas em Amphillo, na Etiópia, e primeiramente estudadas no Centro Agronômico Tropical de Investigação e Ensino (CATIE), na Costa Rica. Em 1953, o Instituto Agrônômico (IAC) recebeu 40 mudas de Amphillo dos Estados Unidos. A melhor planta dessa progênie foi

denominada como IAC 1167-19 e foi incorporada ao banco de germoplasma ativo do IAC. Sementes provenientes dessa planta e as mudas subsequentes foram avaliadas no início da década de 1970 no Instituto Biológico (IB) e no IAC, onde se constatou resistência a uma raça não identificada de nematoide *M. incognita*. Em 1974, o IAC também testou progênies dessa mesma planta em uma área infestada com *M. incognita* em Adamantina, mas apesar da certa resistência apresentada em campo, a produção foi baixa e o material foi eliminado (FAZUOLI, 1986).

Sementes coletadas dessa mesma planta foram enviadas ao Engenheiro Agrônomo Eugênio Kroll Rebel, do antigo Instituto Brasileiro de Café (IBC) em Maringá-PR, por volta do início de 1975. Em testes conduzidos em casa de vegetação, com infecção artificial, e em condições de campo, em colaboração com o IBC e o IAC, foi verificada a resistência desses genótipos a *M. incognita* (FAZUOLI, 1986). Algumas plantas foram selecionadas como resistentes a esse nematoide, mas existia a possibilidade de que fosse *M. paranaensis*, já que naquela época essa espécie ainda era confundida com *M. incognita*. Posteriormente, foram realizados diversos cruzamentos e as sementes desses cruzamentos foram enviadas ao IAC, EPAMIG, IAPAR, Universidade de Londrina, Maringá e outros locais. O IAC continuou a avaliar esse material genético para produção e outras características agronômicas, realizando cruzamentos, mas o trabalho não progrediu e várias seleções permanecem no campo (FAZUOLI, 1986).

Em 2017, foi realizado um estudo em que testaram 18 genótipos de *C. Arabica*, pertencentes ao banco de germoplasma da EPAMIG de Patrocínio-MG. Dentre esses genótipos, seis acessos do grupo Amphillo, sendo cinco provenientes do cruzamento entre ‘Catuaí Vermelho’ x Amphillo MR 2-161 e um resultado do cruzamento de Catuaí Vermelho x Amphillo MR 2-474, mostraram-se resistentes a *M. incognita* raça 1. Quatro desses acessos resultantes do cruzamento de ‘Catuaí Vermelho’ x Amphillo MR 2-161 e um acesso proveniente do cruzamento de ‘Catuaí Vermelho’ x Amphillo MR 2-474 também demonstraram resistência a *M. paranaensis* (PERES et al., 2017).

1.3.2. Estudo de herança genética

A compreensão da herança genética de diversas características agronômicas nas plantas cultivadas é de grande importância para o melhoramento vegetal. Um dos principais métodos utilizados para a investigação da arquitetura dos caracteres são os mapeamentos de QTL

(*Quantitative Trait Loci*), que são baseados na segregação entre marcadores e caracteres de interesse em populações oriundas de parentais contrastantes (ALQUDAH et al., 2020).

O estudo do controle genético de características requer que os genitores sejam endogâmicos, ou seja, que não estejam segregando e apresentem reações contrastantes para o traço de interesse. É importante obter as gerações F1, F2 e realizar retrocruzamentos (RCr e RCs). Em seguida, toda a população obtida, incluindo os genitores, deve ser avaliada para o traço de interesse, a fim de verificar a segregação fenotípica. Para características com distribuição discreta, as hipóteses de segregação são avaliadas por meio do teste de Qui-quadrado, que verifica se as diferenças entre as frequências observadas e esperadas são significativas em um determinado nível de probabilidade (RAMALHO et al., 2012). Para estudar as características com distribuição discreta, um ponto crucial é o teste da hipótese genética, que permite concluir, com uma margem de erro, sobre o padrão predominante de segregação: se é governado por um, dois ou mais genes, bem como o tipo de interação predominante (LIU et al., 1997).

O teste Qui-quadrado tem se mostrado uma abordagem prática e eficiente para esse propósito, uma vez que leva em conta os desvios entre os valores previstos e observados, além do número de observações. No entanto, o tamanho da amostra pode afetar os resultados desse teste, sendo recomendado que o tamanho mínimo seja de 100 indivíduos. Caso haja um número reduzido de informações, pode ser impossível discriminar as hipóteses genéticas (SCHUSTER; CRUZ, 2004). A falta de consideração adequada para uma hipótese genética pode levar a problemas de interpretação. Conclusões equivocadas sobre a natureza da herança da característica podem ocorrer devido ao tamanho insuficiente da amostra, sendo comum encontrar na literatura populações com amostras que não dão suporte à veracidade do tipo de segregação (SALGADO, 2012). Em situações em que há muitos genes envolvidos na resistência e não há um padrão de segregação mendeliana, o teste Qui-quadrado não é apropriado para estudar a herança. Nessas circunstâncias, é possível realizar o estudo por meio dos componentes de média e variância. Os componentes de médias permitem desenvolver um modelo e estimar os parâmetros a e d , que representam o afastamento de cada homozigoto e heterozigoto da média (m), respectivamente (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Em contraste, os componentes de variância apresentam algumas vantagens quando comparados às médias. Uma das principais implicações é que, nas estimativas de médias, o resultado é uma soma algébrica de cada loci individualmente, o que pode levar a interpretações errôneas quando os genes dominantes atuam em sentidos opostos em diferentes loci (minimizando ou anulando o efeito). A utilização da variância elimina essa possibilidade, pois

os efeitos de cada *locus* são elevados ao quadrado, impedindo que sejam anulados (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993).

1.4. REFERÊNCIAS

ABIC - Associação brasileira da indústria de café. Indicadores da Indústria de Café 2020. 2020. Disponível em: <https://www.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2020/>. Acesso em: 02 julho. 2023.

ALBUQUERQUE, E.V.S.; CARNEIRO, R.M.D.G.; COSTA, P.M.; GOMES, A.C.MM.; SANTOS, M.; PEREIRA, A.A.; GROSSI-DE-SA, M.F. Resistance to *Meloidogyne incognita* expresses a hypersensitive-like response in *Coffea arabica*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 127, n. 3, p. 365–373, 2010.

ALPIZAR, E.; ETIENNE, H.; BERTRAND, B. Intermediate resistance to *Meloidogyne exigua* root-knot nematode in *Coffea arabica*. **Crop Protection**, v. 26, n. 7, p. 903–910, 2007.

ALQUDAH, A.M.; SALLAM, A.; BAENZIGER, P.S.; & BÖRNER, A. GWAS: Fast-forwarding gene identification and characterization in temperate Cereals: lessons from Barley – A review. **Journal of Advanced Research**, v. 22, p. 119–135, 2020.

ANDREAZI, A.; SERA, G.H.; DE FARIA, R.T.; SERA, T.; SHIGUEOKA, L.H.; CARVALHO, F.G.; & CARDUCCI, F.C. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in *Coffea arabica* L. progenies. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 12, p. 1190–1196, 2015.

ANDREAZI, E.; SERA, G.H.; FARIA, R.T.; SERA, T.; SHIGUEOKA, L.H.; BRANDET, E.; CARVALHO, F.G.; CARDUCCI, F.C.; FORGERINI, R.R.C.; MARIUCCI JUNIOR, V. Resistência ao nematoide *Meloidogyne paranaensis* das cultivares de café IPR 100 e Apoatã IAC 2258 em diferentes níveis de inóculo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., Salvador. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA, 2013. p. 515-518.

ANTHONY, F.; TOPART, P.; ASTORGA, C.; ANZUETO, F.; & BERTRAND, B. La resistencia genética de *Coffea* spp. a *Meloidogyne paranaensis*: identificación y utilización para la caficultura latinoamericana. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, n. 67, p. 5–12, 2003.

ANTHONY, F.; TOPART, P.; SILVA, M.; MARTINEZ, A.; NICOLE, M. Hypersensitive like reaction conferred by the Mex-1 resistance gene against *Meloidogyne exigua* in coffee. **Plant Pathology**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 476-482, 2005.

ANZUETO, F.; BERTRAND, B.; SARAH, J.L.; ESKES, A.B.; DECASY, B. Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. **Euphytica**. v.1, p.1-8, 2001.

ARPIN, B.D.S.; TEODORO, M.; LIMA, I.D.M., BUONICONTRO, D.; COSTA, N. S. **Gerenciamento de nematoides no sistema de produção do cafeeiro'Conilon'**. 2019.

AVELINO, J.; CRISTANCHO, M.; GEORGIU, S.; IMBACH, P.; AGUILAR, L.; BORNEMANN, G.; MORALES, C. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. **Food Security**, v. 7, n. 2, p. 303–321, 2015.

BANDES. Banco de Desenvolvimento do Estado do Espírito Santo. Diagnóstico da cafeicultura capixaba: **o café robusta no Espírito Santo**. Vitória, ES: Bandes 1987, 88 p.

BARBOSA, D.H.S.G.; VIEIRA, H.D.; SOUZA, R.M.; VIANA, A.P.; SILVA, C.P. Field estimates of coffee yield losses and damage threshold by *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 49-54, 2004.

BARROS, A.F.; OLIVEIRA, R.D.L.; LIMA, I.D.M.; COUTINHO, R.R.; FERREIRA, A.O.; COSTA, A. Root-knot nematodes, a growing problem for Conilon coffee in Espírito Santo state, Brazil. **Crop Protection**, v. 55, p. 74–79, 2014.

BARROS, A.F.; OLIVEIRA, R.D.L.; ZAMBOLIM, L.; FERREIRA, A.O.; & COUTINHO, R.R. *Meloidogyne paranaensis* attacking coffee trees in Espírito Santo State, Brazil. **Australasian Plant Disease Notes**, v. 6, n. 1, p. 43–45, 2011.

BERTRAND, B.; AGUILAR, G.; BOMPARD, E.; RAFINON, A.; & ANTHONY, F. Comportement agronomique et résistance aux principaux déprédateurs des lignées de Sarchimor et Catimor au Costa Rica. **Plantations Recherche Développement**, v. 4, p. 312–321, 1997.

BERTRAND, B.; AGUILAR, G.; SANTACREO, R.; & ANZUETO, F. El mejoramiento genético en América Central. In: BERTRAND, B.; RAPIDEL, B. (Eds.). **Los Desafios de la Cafeicultura en América Central**. San José, Costa Rica: CIRAD, 1999. p. 327–367.

BERTRAND, B.; ANTHONY, F. Genetics of resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and breeding. In: SOUZA, R.M. (Ed.). **Plant Parasitic Nematodes of coffee**. Dordrecht: Springer, 2008. p. 165–190.

BERTRAND, B.; ANTHONY, F.; LASHERMES, P. Breeding for resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica* by introgression of resistance genes of *Coffea canephora*. **Plant Pathology**, v. 50, n. 5, p. 637-643, 2001.

BERTRAND, B.; ETIENNE, H.; ESKES, A.B. Growth, production and bean quality of *Coffea arabica* as affected by interspecific grafting: consequences for rootstock breeding. **Hort Science**. v. 36, p. 269-273, 2001.

BIKILA, B.A.; SAKIYAMA, N.S.; CAIXETA, E.T. SNPs Based Molecular Diversity of *Coffea canephora*. **Journal of Microbiology & Experimentation**, v. 5, n. 1, p. 1–5, 2017.

BOISSEAU, M.; BOISSEAU, M.; ARIBI, J.; SOUSA, F.R.D.; CARNEIRO, R.M.; ANTHONY, F. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 1, p. 38–41, 2009.

BOTELHO, C.E.; SOARES, T.L. OLIVEIRA, A.C.B.; PEREIRA, A.A. Cultivares de café e suas principais características agrônômicas e tecnológicas. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 29, n. 247, p. 31-41, 2008.

CAMPOS, V.P.; SRIVAPALAN, P.; GNANAPRAGASAM, N.S. Nematode parasites in coffee, cocoa and tea. In: LUC, M.; SIKORA, R.A.; BRIDGE, J. (Eds.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallington (UK): CAB, International, 1990. p. 387–430.

CARNEIRO, R.; TIGANO, M.; RANDIG, O.; ALMEIDA, M.R.; & SARAH, J. L. Identification and genetic diversity of *Meloidogyne* spp. (Tylenchida: Meloidogynidae) on coffee from Brazil, Central America and Hawaii. **Nematology**, v. 6, n. 2, p. 287–298, 2004.

CARNEIRO, R.M.D.G.; ALMEIDA, M.R.A.; QUÉNÉHERVÉ, P. Enzyme phenotypes of *Meloidogyne* spp. isolates. **Nematology**, v. 2, p. 645-654, 2000.

CARNEIRO, R.M.D.G.; CARNEIRO, R.G.; ABRANTES, I.M.O.; SANTOS M.S. N.A.; ALMEIDA, M.R.A. *Meloidogyne paranaensis* n. sp. (Nemata: Meloidogynidae) a root-knot nematode parasitizing coffee in Brasil. **Journal of Nematology**, v. 28, n. 2, p. 177-189, 1996.

CARNEIRO, R.M.D.G.; COFCEWICZ, E.T. Taxonomy of coffee-parasitic root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. In: SOUZA, R.M. (Ed). **Plant-Parasitic Nematodes of Coffee**. USA: APS Press & Springer, v. 1. 2008. p. 87-122.

CARNEIRO, R.M.D.G.; MESQUITA, L.F.G.; GONÇALVES, W.; PEREIRA, A.A. Pathogenicity of *Meloidogyne* spp. (Tylenchida: Meloidogynidae) from Brazil and Central America on two genotypes of *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 4, p. 309-312, 2008.

CARVALHAES, G.A. A history of coffee production and breeding for disease resistance in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 2, p. 153-163, 2019.

CARVALHO, A. **Histórico do desenvolvimento do cultivo do café no Brasil**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. 8 p. (IAC. Documentos, 34). Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacd34.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2023.

CARVALHO, A.M.D.; SALGADO, S.M.D.L.; MENDES, A.N.G.; PEREIRA, A.A.; BOTELHO, C.E.; TASSONE, G.A.T.; LIMA, R.R.D. Caracterização de genótipos de *Coffea arabica* L. Em área infestada pelo nematoide *Meloidogyne paranaensis*. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2017.

CARVALHO, J. A.; AGUIAR, R. O.; AGUIAR, L. O.; SOUZA, E. B.; & SILVA, L. S. Controle de nematoides das galhas em café. **Coffee Science**, v. 13, n. 2, p. 227-238. 2018.

CASTAGNONE-SERENO, P. Genetic variability and adaptive evolution in parthenogenetic root-knot nematodes. **Heredity**, v. 96, n. 4, p. 282-289. 2006.

CASTRO, J.D.C.; CAMPOS, V.P.; POZZA, E.A.; NAVES, R.D.L.; ANDRADE JÚNIOR, W.C.; DUTRA, M.R.; ... & SILVA, J.R. Levantamento de Fitonematóides em Cafezais do Sul de Minas Gerais. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 56–64, 2008.

CASTRO, J.M. da C. **Análise de risco e estabelecimento de padrões fitossanitários de nematoides associados à mudas de cafeeiro e goiabeira**. In: Simpósio De Manejo De Doenças De Plantas, 11., 2011, Lavras. Inovações tecnológicas em sanidade de sementes e materiais de propagação vegetativa: Anais. Brasília, DF: SBF; Lavras: UFLA, p. 75-86. 2011.

CASTRO, J.M.C.; CAMPOS, V.P.; NAVES, R.L. Ocorrência de *Meloidogyne paranaensis* em cafeeiros na região do Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, n. 5, p. 565–565, 2003.

CHITWOOD, B.G. —Root-knot nematodes —Part 1. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. **Proceedings of Helminthological Society**, v. 16, p. 90-104, 1949.

CLIFFORD, M.N. Chlorogenic acids and other cinnamates—nature, occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 1033-1043, 2000.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Cana-de-açúcar, Safra 2022/2023. Levantamento, janeiro de 2023. Disponível em, <https://www.conab.gov.br/ultimasnoticias/4857-safra-de-cafe-deve-encerrar-o-ciclo-de-2022-com-uma-producao-de-50-92-milhoes-de-sacas>: Acesso em: 02 janeiro 2023.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genéticos**. Viçosa. UFV, 390p. 1997.

DANEEL, M.S. Nematode pests of minor Tropical and Subtropical crops. In: FOURIE, H. Et al. (Eds.). **Nematology in South Africa: A View from the 21st Century**. Cham: Springer, 2017. P. 373–393.

DAVIS, E.L.; HUSSEY, R.S.; BAUM, T.J.; BAKKER, J.; SCHOTS, A.; ROSSO, M.N.; ABAD, P. Nematode parasitism genes. **Annual Review of Phytopathology**. v. 38, p. 365-396, 2000.

DIJKSTERHUIS, J.; VEENHUIS, M.; HARDER, W.; NORDBRING-HERTZ, B. Nematophagous fungi: physiological aspects and structure-function relationships. **Advances in Microbial Physiology**, v. 36, p. 111-143, 1994.

DINIZ, L.E.; SAKIYAMA, N.S.; LASHERMES, P.; CAIXETA, E.T.; OLIVEIRA, A.C.B.; ZAMBOLIM, E.M.; ... & ZAMBOLIM, L. Analysis of AFLP markers associated to the Mex-1 resistance locus in Icatu progenies. **Cropps Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, n. 4, p. 387–393, 2005.

DJIAN-CAPORALINO, C.; FAZARI, A.; ARGUEL, M.J.; VERNIÉ, T.; VANDECASTEELE, C.; FAURE, I., ... & ABAD, P. Root-knot nematode (*Meloidogyne spp.*) *Me* resistance genes in pepper (*Capsicum annuum* L.) are clustered on the P9 chromosome. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 114, n. 3, p. 473–486, 23 jan. 2007.

FATOBENE, B.J.R. Seleção de cafeeiros com resistência múltipla a nematoides do gênero *Meloidogyne*. 2014. 71 f. Tese (**Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical**) - Instituto Agronômico, Campinas, 2014.

FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, N.; YAMADA, J. (Eds). Cultura do cafeeiro: **fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 87-113.

FAZUOLI, L.C.; LIMA, M.M.A.de; GONÇALVES, W.; COSTA, W.M. da. Melhoramento do cafeeiro visando resistência a nematoides: utilização de porta-enxertos resistentes. In: **Congresso Paulista De Agronomia**, 6., 1987, Piracicaba. Anais... São Paulo: AEASP, p.171-180, 1987.

FAZUOLI, L.C.; LORDELLO, R.R.A. Fontes de resistência em espécies de cafeeiro a *Meloidogyne exigua*. **Sociedade Brasileira de Nematologia**. v.3, p.49-52, 1978.

FERNANDES, M.A.S; STEFANELO, D.R.; DA SILVA MATTOS, V.; BRAGHINI, M.T.; SALGADO, S.M.L.; & CARNEIRO, R.M.D.G. Primeiro Relato de *Meloidogyne izarcoensis* em cafezal no Estado de Minas Gerais e levantamento de *Meloidogyne* spp. em cafeeiros do Triângulo Mineiro. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, p. 7, 2019.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A da; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M.A.G.; De MUNER, L.H. (Eds.). **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. 702 p.

FERRAZ, L.C.B.F. World reports of *Meloidogyne*: Brazil. In: SOUZA, R.M. (Ed). **Plant Parasitic Nematodes of Coffee**. New York: APS Press & Springer, 2008. p.225-248.

FOGANHOLI, A.P.A.M. **Hospedabilidade de *Meloidogyne paranaensis* em plantas medicinais, composição química do óleo essencial de *Mentha pulegium* e efeito do parasitismo de *M. paranaensis* sobre as substâncias fenólicas e *M. pulegium***. 2012. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

GARTNER, G.A.L.; MCCOUCH, S.R.; MONCADA, M.D.P.A genetic map of an interspecific diploid pseudo testcross population of coffee. **Euphytica**, v. 192, n. 2, p. 305–323, 2013.

GOMES, A. C. M. M. **Resistência e caracterização histológica de acessos de *Pfaffia glomerada* a *Meloidogyne incognita***. Dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2006.

GONÇALVES, W.; FERRAZ, L.C.C.B. Resistência do cafeeiro a nematoides – II: testes de progênes e híbridos para *Meloidogyne incognita* raça 3. **Nematologia Brasileira**. v.11, p.125- 142, 1987.

GONÇALVES, W.; FERRAZ, L.C.C.B.; LIMA, M.D.; & SILVAROLLA, M.B. Reações de cafeeiros às raças 1,2 e 3 de *Meloidogyne incognita*. **Summa Phytopathologica**, v. 22, n. 2, p. 172-177, 1996.

GONÇALVES, W.; FERRAZ, L.C.C.B.; LIMA, M.M.A.; SILVAROLLA, M.B. Reação de cafeeiros às raças 1, 2 e 3 de *Meloidogyne incognita*. **Summa Phytopathologica**. v. 22, p.172- 177, 1996.

GONÇALVES, W.; LIMA, M.M.A. de; FAZUOLI, L.C. Resistência do cafeeiro à nematoides: III. Avaliação da resistência de espécies de *Coffea* e de híbridos interespecíficos a *Meloidogyne incognita* raça 3. **Nematologia Brasileira**, v. 12, p.47-54, 1988.

GONÇALVES, W.; RAMIRO, D.A.; GALLO, P.B.; GIOMO, G.S. Manejo de nematóides na cultura do cafeeiro. In: **Reunião Itinerante De Fitossanidade Do Instituto Biológico-Café**, 10., 2004, Mococa. Anais... Mococa: Instituto Biológico. p. 48-66, 2004.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M.B. Nematóides parasitos do cafeeiro. In: Zambolim, L. (Ed.). **Tecnologias de Produção de Café com Qualidade**. Viçosa: UFV, 2001. p. 199-267.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M.B. A luta contra a doença causada pelos nematoides parasitos do cafeeiro. **O Agrônomo**, v. 59, n. 1, p. 54–56, 2007.

GUERREIRO FILHO, Oliveiro. Coffee leaf miner resistance. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 109-117, 2006.

HUMPHREYS-PEREIRA, D.A.; FLORES-CHAVES, L.; GOMEZ, M.; SALAZAR, L.; GOMES-ALPIZAR, L.; ELLING, A.A. *Meloidogyne lopezi* n.sp. (Nematoda: Meloidogynidae), a new root-knot nematode associated with coffee (*Coffea arabica* L.) in Costa Rica, its diagnosis and phylogenetic relationship with other coffee-parasitising *Meloidogyne* species. **Nematology**, v. 16, p. 643-661, 2014.

ITO, D.S.; SERA, G.H.; SERA, T.; SANTIAGO, D.C.; KANAYAMA, F.S.; & DEL GROSSI, L. Progênes de café com resistência aos nematóides *Meloidogyne paranaensis* e raça 2 de *Meloidogyne incognita*. **Coffee Science**, v. 3, p. 156-163, 2008.

JATALA, P. Biological control of plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 24, p. 453-489, 1986.

JONES, M. G.K.; GOTO, D. B. Root-knot nematodes and giant cells. In: JONES, J.; GHEYSEN, G.; FENOLL, C. (eds). **Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions**. Springer: Dordrecht. 2011. p. 83-100.

KERMARREC, A.; SIRJUSINGH, C.; MAULÉON, H; SARAH, J.L. Biological control of weevils and whitegrubs on bananas in the Caribbean: a review. In: GOLD, C.S.; GEMMIL, B. (Ed.). **Biological and integrated control of highland banana and plantain pests and diseases**. Cotonou: Proceedings of a Research Coordination Meeting, p.155-170. 1993.

KRZYŻANOWSKI, A.A.; FIGUEIREDO, R.; SANTIAGO, D.C.; FAVORETO, L. Levantamento de espécies e raças de *Meloidogyne* em cafeeiros no estado do Paraná. **II Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil**, p. 1175–1181, 2001.

LIMA, E.A.; FURLANETTO, C.; NICOLE, M.; GOMES, A.C.; ALMEIDA, M.R.; JORGE-JÚNIOR, A.; CARNEIRO, R.M. 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.

LIMA, M.M.A.; GONÇALVES, W.; TRISTÃO, R.O. Avaliação de resistência de seleções de *Coffea canephora* e *C. congensis* à raça 3 de *Meloidogyne incognita*. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 14, Campinas. Trabalhos Apresentados... Rio de Janeiro: IBC, p.87- 88, 1987.

LIU, B.H. **Statistical Genomics: linkage mapping and QTL analysis**. Boca raton, Florida, USA: CRC Press, 610p. 1997.

LONDE, M.L. **Levantamento populacional do nematoide das galhas em cafeeiro do cerrado mineiro e identificação de *Meloidogyne exigua* por meio de amplificação isométrica medida por loop (LAMP)**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, MG. 2023.

LOPEZ-LIMA, D.; SÁNCHEZ-NAVA, P.; CARRION, G.; ESPINOSA DE LOS MONTEROS, A.; & VILLAIN, L. Corky-root symptoms for coffee in central Veracruz are linked to the root-knot nematode *Meloidogyne paranaensis*, a new report for Mexico. **European Journal of Plant Pathology**, v. 141, n. 3, p. 623–629, 2015.

LORDELLO, A.I.L.; LORDELLO, R.R.A.; FAZUOLI, L.C. Levantamento de espécies de *Meloidogyne* em cafeeiros no estado de São Paulo. **II Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil**, n. 19, p. 1182–1187, 2001.

MAPA - **Ministério da agricultura e pecuária**. Legislação para produção e transportes de mudas. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/semntes-e-mudas/publicacoes-semntes-e-mudas/INN40de30denovembrede2010.pdf>. Acesso em: 02 de julho de 2023.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa nº 30, de 24 de agosto de 2010. Estabelece normas para a produção de mudas de cafeeiro. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de agosto de 2010. Seção 1, p. 10.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema de Informação de Agrotóxicos. Brasília, DF: MAPA, 2023.

MARTINS, A.L. **História do Café**. São Paulo, Contexto, 316 p, 2008.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro e Varginha: MAPA E FUNDAÇÃO PRÓCAFÉ, edição 2010, 546p.

MERLO, P.M.S. Conilon Capixaba: 100 anos de desafios, crescimento e inovação. Vitória, ES: **Bumerangue Produção de Comunicação**, 2012. 99 p.

MÔNACO A.P.A.; CARNEIRO, R.G.; KRANZ, W.M.; GOMES, J.C.; SCHERER, A.; SANTIAGO, D.C. Reação de espécies de plantas daninhas a *Meloidogyne incognita* raças 1 e 3, a *M. javanica* e a *M. paranaensis*. **Nematologia Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 335 – 242, 2009.

MOURA, R.M. Gênero *Meloidogyne* e a meloidoginose. Parte I. In: LUZ, W.C. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 4, p. 209-244, 1996.

MUELLER, J.; KIRKPATRICK, T.; OVERSTREET, C.; KOENNING, S.; KEMERAIT, B.; NICHOLS, B. **Managing nematodes in cotton-based cropping system**. Cary, NC: Cotton, Inc., 2012.

MUNIZ, M.D.F.S.; CAMPOS, V.P.; MOITA, A.W.; GONÇALVES, W.; ALMEIDA, M.R.A.; SOUSA, F.R.D.; CARNEIRO, R.M.D. Reaction of coffee genotypes to different populations of *Meloidogyne* spp.: Detection of a naturally virulent *M. exigua* population. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 6, p. 370–378, 2009.

NOIR, S.; ANTHONY, F.; BERTRAND, B.; COMBES, M.C.; LASHERMES, P. Identification of a major gene (*Mex-1*) from *Coffea canephora* conferring resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica*. **Plant Pathology**. v. 52, p. 97-103, 2003.

OLIVEIRA, C. M. G. D.; ROSA, J. M. O. Nematoides parasitos do cafeeiro. Boletim técnico, 32. Instituto Biológico, São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, D.S.D. **Patogenicidade de populações de *Meloidogyne incognita*, provenientes de Minas Gerais e São Paulo, ao cafeeiro**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

PEREIRA, T.B.; SALGADO, S.M.L.; CARVALHO, G.R.; PEREIRA, A.A.; FERREIRA, A.D.; OLIVEIRA, L.P.V. Reação de genótipos de cafeeiro (*Coffea arabica* l.) a *Meloidogyne exigua* população do Sul de Minas. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 84-90, 2011.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ABREU, A.F.B.; NUNES, J.A.R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, p. 522, 2012.

RIBEIRO, R.C.F.; PEREIRA, A.A.; OLIVEIRA, C.H.; DE LIMA, R.D. Resistência de progênies de híbridos interespecíficos de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* a *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 11-16, 2005.

RITZINGER, C.H.S.P.; FANCELLI, M. Manejo integrado de nematóides na cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 331-338, 2006.

ROBERTS, P.A. Concepts and consequences of resistance. In: STAR, J.L. et al. (Ed). **Plant resistance to parasitic nematodes**. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2002.p. 23-41.

SALGADO, C.C. **Abordagem sobre estudo de herança de caracteres pela genética clássica e molecular**. Viçosa. 2012. 99 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Editora UFV. 2012.

SALGADO, S.M.L. de; CARNEIRO, R.M.D.G.; PINHO, R.S.C. de. Aspectos técnicos dos nematoides parasitas do cafeeiro. **Boletim Técnico**. v. 98. Lavras: EPAMIG, 2011. p.60.

SALGADO, S.M.L.; REZENDE, J.C. **Café Arábica do plantio a colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. v. 1, 794 p.

SALGADO, S.M.L.; REZENDE, J.C.; NUNES, J.A.R. Selection of coffee progenies for resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in infested area. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 94-101, 2014.

SALGADO, S.M.L.; TERRA, W.C.; FATOBENE, B.J.R.; BENTO, A.T.; PINHEIRO, I.C.L.; MATOS, C.S.M. **Deteção de *Meloidogyne paranaensis* em Carmo da Cachoeira, região Sul de Minas Gerais**. Circular Técnica, EPAMIG 269. Belo Horizonte, MG, Brazil, EPAMIG. 2018.

SALGADO, S.M.L.; PINHEIRO, J.B.; OLIVEIRA, R.D. de L. **Metodologia de amostragem em viveiro e em lavoura cafeeira para análise de nematoides**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 5p. (EPAMIG. Circular Técnica, 9).

SANTOS, H.F.; SALGADO, S.M.; SILVA, J.G.; CORREA, V.R.; MENDONÇA, J.S, CARNEIRO. Initial productive performance of coffee progenies in an area infested by *Meloidogyne paranaensis*. **Coffee Science**, v. 13, n. 4, p. 530–538, 2018a.

SANTOS, M. F. A.; SOUSA, G. P.; ALMEIDA, S. F.; MAIA, Y. M.; SALGADO, S. M. L.; VILELA, D. J. M.; CARNEIRO, R. M. D. G. Resistência de cultivares de café a *Meloidogyne* spp.: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 2, p. 9, 2023.

SANTOS, M.; SOUSA, G.; ALMEIDA, S.; MAIA, Y.; SALGADO, S.; VILELA, D.; & CARNEIRO, R. **Deteção de *Meloidogyne exigua* em cultivares de cafeeiro resistentes, usando marcadores moleculares e a influência de mecanismos tardios nos sintomas e na resistência ao nematoide**, Circular técnica, Brasília, n. 211, p. 9, 2021.

SANTOS, M.F.; SALGADO, S.M.; SILVA, J.G.; CORREA, V.R.; MENDONÇA, J.S.; CARNEIRO, R. *Meloidogyne incognita* parasitizing coffee plants in southern Minas Gerais, Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 43, n. 1, p. 95–98, 2018b.

SCHUSTER, I.; CRUZ, C.D. **Estatística genômica aplicada a populações derivadas de cruzamentos controlados**. Viçosa: Editora da UFV, 568p. 2004.

SERA, G. H.; SERA, T.; DE AZEVEDO, J.A.; DA MATA, J. S.; RIBEIRO FILHO, C.; DOI, D.S.; ... & DE BATISTA FONSECA, I.C. Porta-enxertos de café robusta resistentes aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 1 e 2. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 171-184, 2006.

SERA, G.H.; SERA, T.; ITO, D.S.; MATA, J.S.D.; AZEVEDO, J.A.D.; & RIBEIRO FILHO, C. Progenies de *Coffea arabica* cv IPR-100 resistentes ao nematoide *Meloidogyne paranaensis*. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 43-49, 2007.

SERA, G.H.; SERA, T.; ITO, D.S.; MATA, J.S.D.; AZEVEDO, J.A.D.; & RIBEIRO FILHO, C. Seleção de cafeeiros resistentes ao nematoide *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 2 e 1 em populações de “Icatu” (*Coffea arabica*). **SBPN Scientific Journal**, São Paulo, 2005. 1 CDROM.

SERA, T.; ALTÉIA, M.Z.; PETEK, M.R.; MATA, J.S. Novas cultivares para o modelo IAPAR de café adensado para o Paraná. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS**, Caxambu. Resumos... Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p. 432 – 434.

SERA, T.; MATA, J.S. da; SERA, G.H.; DOI, D.S.; ITO, D.S.; AZEVEDO, J.A. de; COTARELLI, V.M. Frequência de plantas resistentes aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 2 e 1 em populações da cultivar porta-enxerto Apoatã de *Coffea canephora*. **Scientific Journal**. v.8, p.17, 2004a.

SERA, T.S., MEDEIROS, R.M.; CORDEIRO, R.M.D.G.; RANDIG, O.; ALMEIDA, M.R.A.; SOUZA, V.C. Resistência a *Meloidogyne exigua* e *M. incognita* em cultivares e progênies de café (*Coffea arabica* L.). **Journal of Nematology**, v. 49, n. 4, p. 471-477, 2017.

SILVA, R. V.; OLIVEIRA, R. D.; & ZAMBOLIM, L. Primeiro Relato da Ocorrência de *Meloidogyne paranaensis* em Cafeeiro no Estado de Goiás. **Nematologia Brasileira**, v. 33 (2) – 20, June, p. 187–190, 2009.

SMANT, G.; HELDER, J.; GOVERSE, A. Parallel adaptations and common host cell responses enabling feeding of obligate and facultative plant parasitic nematodes. **The Plant Journal**, v. 93, n. 4, p. 686-702, 2018.

SOARES, P.L.M. **Estudo do controle biológico de fitonematoides com fungos nematófagos**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 217, pp, 2006.

SPURR, H.W. Mode of action of nematicides. In: SASSER, J.N.; CARTER, C.C. (Eds). An advanced treatise on *Meloidogyne*, v.1, **Biology and Control**, p. 269-276., 1985.

STEFANELO, D.R. et al. *Meloidogyne izalcoensis* parasitizing coffee in Minas Gerais state: the first record in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 44, n. 2, p. 209–212, 2019.

STIRLING, G.R. Biological control of plant parasitic nematodes. Progress, Problems and Prospects. UK: **CAB International**, Wallingford, 282 pp, 1991.

STROZE, C.T. 2013. Resistência de plantas medicinais a *Meloidogyne javanica* e *M. paranaensis*. **Dissertação Mestrado**. Londrina, PR, UEL. 62p.

TERRA, W.C.; DE LIMA SALGADO, S.M.; DOS REIS FATOBENE, B.J.; CAMPOS, V.P. Expanded geographic distribution of *Meloidogyne paranaensis* confirmed on coffee in Brazil. **Plant Disease**, v. 103, n. 3, p. 589-589, 2019.

TOMAZINI, M.D.; SILVA, R.A.; OLIVEIRA, C.M.; GONÇALVES, W.; FERRAZ, L.C.C.B.; INOMOTO, M.M. Resistência de genótipos de cafeeiros a *Pratylenchus coffeae* e *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 193-198, 2005.

TRINH, Q.P.; LE, T.M.L.; NGUYEN, T.D.; NGUYEN, H.T.; LIEBANAS, G.; & NGUYEN, T.A.D. *Meloidogyne daklakensis* n. sp. (Nematoda: Meloidogynidae), a new root knot nematode associated with robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) in the Western Highlands, Vietnam. **Journal of Helminthology**, v. 93, n. 2, p. 242–254, 2019.

VARGAS, A. (Ed.). 100 anos de conilon capixaba. Especial 100 anos de conilon capixaba. A Gazeta. Vitória, ES: **Caderno especial**, 2012. 48 p.

VILLAIN, L.; ARIBI, J.; RÉVERSAT, G.; ANTHONY, F. A high-throughput method for early screening of coffee (*Coffea* spp.) genotypes for resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). **European Journal of Plant Pathology**, v. 128, p. 451-458, 2010.

VILLAIN, L.; SARAH, J.L.; DECAZY, A.; MOLINA, A.; SIERRA, S. Evaluation of grafting onto *Coffea canephora* var. Robusta, and chemical treatment for control of *Pratylenchus* sp. in *C. arabica* cropping system. In: **International Nematology Congress**, 3., Guadeloupe. Proceedings... Guadeloupe: [s.n], 1996. p. 154-155.

VILLAIN, L.; SARAH, J.L.; HERNÁNDEZ, A.; BERTRAND, B.; ANTHONY, F.; LASHERMES, P.; CARNEIRO, R.M.D.G. Diversity of root-knot nematodes parasitizing coffee in Central America. **Nematropica**, v. 43, n. 2, p. 194–206, 2013.

**CAPÍTULO 2: HERANÇA DA RESISTÊNCIA DE ACESSO DE CAFEIEIRO
AMPHILLO A *Meloidogyne paranaensis***

RESUMO

Meloidogyne paranaensis é hoje umas das principais ameaças à cafeicultura brasileira, dada a sua elevada agressividade ao cafeeiro associado à sua gradativa disseminação para as principais regiões produtoras de café. O seu manejo é dependente do uso da resistência genética associada a outras estratégias de controle. Fontes de resistência a esse nematoide foram encontradas em cafeeiros silvestres de *Coffea arabica*. Esses cafeeiros resistentes representam importante fonte de variabilidade genética para o desenvolvimento de novas cultivares resistentes a *Meloidogyne* spp.. Objetivou-se estudar a herança da resistência do acesso silvestre de *C. arabica*, Amphillo, ao nematoide da espécie *M. paranaensis*. Foram fenotipados 304 indivíduos da geração F₂ oriunda do cruzamento entre MG 0179-P3-R1♀ e Catiguá MG2-P14♂, em que o genitor feminino das progênes testadas, o acesso MG 0179-P3-R1, portador da resistência ao nematoide, é resultante do cruzamento entre germoplasma ‘Amphillo’ e linhagens da cultivar Catuaí Vermelho. Os cafeeiros do primeiro experimento foram inoculados com 5.000 ovos, e os do segundo experimento foram inoculados com 10.000 ovos, ambos de *M. paranaensis*. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação. Aos 180 dias da inoculação, foi realizada a fenotipagem para o caractere relacionado à resistência, com base no fator de reprodução (FR). Um total de 234 indivíduos foram resistentes (FR < 1) e 70 suscetíveis (FR ≥ 1) a *M. paranaensis*. Os valores de FR foram submetidos ao teste Qui-quadrado a nível de 5% para determinar a segregação para 1, 2 e 3 genes, os resultados obtidos pelo teste Qui-quadrado sugerem quatro interpretações. Na primeira, a resistência é governada por um gene, com dominância completa, demonstrados pela segregação de 3:1 ($\chi^2=0,6316$; P=42,68%). Na segunda, a resistência é governada por dois genes, um dominante e outro recessivo, indicada pelo padrão de segregação de 13:3 ($\chi^2=3,6491$; P=5,61%). Na terceira, a resistência é governada por três genes, um gene dominante independente, um gene dominante e outro recessivo complementar, indicado pelo padrão de segregação 51:13 ($\chi^2=1,3832$; P=23,96%). Na quarta interpretação, inferiu-se que é governada por três genes, um gene dominante independente e dois recessivos complementares, indicado pelo padrão de segregação 49:15 ($\chi^2=0,0286$; P=86,56%). Conclui-se, que a herança da resistência do Amphillo MR 2-161 a *M. paranaensis* é controlada por pelo menos um gene com dominância completa, complementado por um ou mais genes de dominância incompleta.

Palavras-chaves: *Coffea arabica*. Resistência genética. Nematoide das galhas radiculares.

ABSTRACT

Meloidogyne paranaensis is currently one of the main threats to Brazilian coffee growing, given its high level of aggressiveness towards the coffee tree and its gradual spread to the main coffee producing regions. Its management depends on the use of genetic resistance combined with other control strategies. Sources of resistance to this nematode have been found in wild coffee trees of *Coffea arabica*. These resistant coffee trees represent an important source of genetic variability for the development of new cultivars resistant to *Meloidogyne* spp. The aim was to study the inheritance of the resistance of the wild accessions of *C. arabica*, Amphillo, to the nematode species *M. paranaensis*. A total of 304 genotypes were phenotyped from the F2 generation resulting from crossing MG 0179-P3-R1♀ and Catiguá MG2-P14♂, in which the female genitor of the progenies tested, access MG 0179-P3-R1, which carries the resistance trait, was the result of crossing the 'Amphillo' germplasm with strains of the Catuaí Vermelho cultivar. The individuals in the first experiment were inoculated with 5,000 eggs, and those in the second experiment were inoculated with 10,000 eggs, both of *M. paranaensis*. The experiments were conducted in a greenhouse. At 180 days after inoculation, phenotyping was carried out for the resistance-related trait, based on the reproduction factor (RF). A total of 234 individuals were resistant ($RF < 1$) and 70 susceptible ($RF \geq 1$) to *M. paranaensis*. The FR values were subjected to the chi-square test at the 5% level to determine segregation for 1, 2 and 3 genes, the results obtained by the chi-square test suggesting four interpretations. In the first, resistance is governed by one gene, with complete dominance, demonstrated by the 3:1 segregation ($\chi^2=0.6316$; $P=42.68\%$). In the second, resistance is governed by two genes, one dominant and the other recessive, indicated by the 13:3 segregation pattern ($\chi^2=3.6491$; $P=5.61\%$). In the third, resistance is governed by three genes, an independent dominant gene, a dominant gene and a complementary recessive gene, indicated by the 51:13 segregation pattern ($\chi^2=1.3832$; $P=23.96\%$). In the fourth interpretation, it was inferred that it is governed by three genes, one independent dominant gene and two complementary recessive genes, indicated by the 49:15 segregation pattern ($\chi^2=0.0286$; $P=86.56\%$). It can be concluded that the inheritance of resistance of Amphillo MR 2-161 to *M. paranaensis* is controlled by at least one gene with complete dominance, complemented by one or more genes with incomplete dominance.

Keywords: *Coffea arabica*. Genetic resistance. Root-knot nematode.

2.1. INTRODUÇÃO

Os cafezais estão sujeitos a estresses bióticos e abióticos que afetam, significativamente, a sua produção. Dentre os fatores bióticos, destacam-se os nematoides das galhas radiculares, *Meloidogyne* spp., que são responsáveis por danificar, drasticamente, o sistema radicular e, conseqüentemente, o desenvolvimento vegetativo e a produtividade, causando danos econômico (CASTRO et al., 2008). Além das perdas causadas na produção, a infestação pelos nematoides pode agravar as conseqüências de estresses abióticos, como o déficit hídrico, sobre o desenvolvimento e produção do cafeeiro. Neste contexto, a obtenção de cultivares resistentes ou tolerantes a *Meloidogyne* spp. é um dos principais objetivos nos programas de melhoramento genético do cafeeiro (SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014). Os nematoides das galhas representam a principal ameaça à cafeicultura mundial (BERTRAND; ANTHONY, 2008). No Brasil, *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis* são as espécies mais danosas ao cafeeiro. Os danos de *M. exigua* são observados na produção da cultura, sobretudo em lavouras de alto nível tecnológico (BARBOSA et al., 2004). O ataque de *M. incognita* e *M. paranaensis*, depauperam severamente o cafeeiro, podendo limitar economicamente a manutenção das lavouras infestadas ou a implantação de novos cafezais em solos por eles contaminados (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2001). O *M. paranaensis* apresenta o mais elevado risco à produção brasileira de café, devido sua agressividade e rápida disseminação, já estando presente em várias áreas produtoras, como no estado de Minas Gerais, maior produtor de café arábica no Brasil.

Considerando que as cultivares de café arábica mais plantadas são suscetíveis a *M. paranaensis* e que a entrada desse fitonematoide na lavoura culmina com o depauperamento e redução da produtividade do cafezal, a disseminação desse patógeno e dificuldade no manejo representam um desestímulo aos cafeicultores, que por vezes ou vendem suas terras ou abandonam a cafeicultura pela produção de grãos (TERRA et al., 2019). A resistência genética tem sido considerada a forma mais eficiente de controle de pragas e doenças por tratar-se de uma tecnologia econômica, não poluente e que, geralmente, não demanda mudanças nas práticas culturais (LUC; REVERSAT, 1985). No que diz respeito à resistência aos nematoides parasitos do cafeeiro, estratégias têm sido adotadas para a seleção de cultivares resistentes (BERTRAND; ANTHONY, 2008). Fontes de resistência a *M. paranaensis* foram encontradas em diferentes espécies cafeeiras, bem como em acessos silvestres de *C. arabica* oriundos da Etiópia. Para o melhoramento de cafeeiros arábica, o uso desses acessos silvestres resistentes

representa importante fonte de variabilidade para o desenvolvimento de novas cultivares. A transferência dos genes de resistência desses cafeeiros para cultivares melhoradas é facilitada pela hibridação com cultivares de mesma espécie, assim como, à recuperação mais rápida dos caracteres agronômicos do parental recorrente, contribuindo para abreviação do tempo e dos recursos investidos no melhoramento convencional da espécie (SILVAROLLA et al., 1998, ANZUETO et al., 2001; BOISSEAU et al., 2009; FATOBENE, 2014).

A cultivar de café arábica ‘Catuaí’ tem sido bastante utilizada em programas de melhoramento por apresentar características agronômicas desejáveis, como alta produtividade. Apesar de sua produtividade e adaptação em diferentes regiões brasileiras, essa cultivar é suscetível a diferentes pragas e doenças, incluindo a *M. paranaensis*. O cafeeiro Amphillo é um genótipo selvagem que tem sua origem na Etiópia e que foi introduzido no Brasil por apresentar resistência a esse nematoide. Visando o melhoramento genético, foi realizado cruzamentos entre cafeeiros Catuaí e Amphillo e suas progênies estão sendo mantidas em Banco de Germoplasma de diferentes instituições de pesquisa. Peres et al. (2017) relataram que o cruzamento de “Catuaí vermelho” x “Amphillo MR 2-161” resultou em plantas com bons rendimentos e resistência a *M. paranaensis* e *M. incognita*. Sendo esse o único material genético proveniente do cruzamento de duas cultivares de *C. arabica* que apresentou resistência a ambas as espécies de nematoides. Dessa forma, o uso de cultivares resistentes é a melhor opção de manejo aos produtores, pois possuem uma série de características desejáveis em relação a outros métodos de controle de nematoides em plantas. Seu uso requer pouca tecnologia, não deixam resíduos tóxicos e possuem elevado custo-benefício (WILLIANSO; KUMAR, 2006). Entretanto, o uso de cultivares resistentes não elimina a necessidade do emprego de outras medidas de controle dentro de um manejo integrado de fitonematoides, a fim de diminuir as populações desses patógenos no solo e consequentemente de seus danos a cultura (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2007).

Diante do exposto, objetivou-se estudar a herança da resistência do acesso silvestre de *C. arabica*, Amphillo, quanto a resistência a *M. paranaensis* como parte inicial desse estudo.

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Obtenção das mudas de cafeeiro

Para obtenção da população segregante para o estudo da herança da resistência do cafeeiro a *M. paranaensis*, foram realizados cruzamentos entre o acesso do Banco de germoplasma da Epamig, MG 0179-P3-R1 ('Catuaí Vermelho' x Amphillo MR 2-161) com a cultivar Catiguá MG2-P14. A planta F₁, codificada como C68P-9, foi autofecundada e as sementes que correspondem a geração F₂ foram coletadas para o estudo. Sementes da progênie F₂ e das cultivares IPR-100 (padrão de resistência) e Catuaí Vermelho IAC 44 (padrão de suscetibilidade) foram plantadas em bandejas plásticas contendo areia lavada e esterilizada em autoclave por 2 h a 120 °C. As bandejas foram mantidas em câmara de crescimento a 28 °C até a germinação. No estágio fenológico de orelha de onça, uma plântula foi transplantada para cada vaso plástico de 2 L contendo uma mistura de solo e areia na proporção de 2:1. Essa mistura foi previamente tratada por solarização com o auxílio de um coletor solar (GHINI, 2004). Para a adubação utilizou-se de 4 quilos do adubo supersimples (P₂O₅) contendo em sua fórmula 20% de fósforo, 20% de cálcio e 12% de enxofre, e 1 quilo de cloreto de potássio (KCl), ambos na medida para cada metro cúbico de solo de acordo com os resultados da análise (Tabela 1). Os vasos com as mudas de cafeeiro foram mantidos em casa de vegetação até o momento da montagem do experimento.

Tabela 1: Análise química e física do solo utilizado nos experimentos.

Análise Física do Solo						
Análise Granulométrica		Classificação textural		Tipo de solo		
Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/kg			
0,617	0,088	0,014	0,281	Franco-Argilo-Arenosa		1
Análise Química de Solo						
pH H ₂ O	pH KCl	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺
0,55	0,55	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
		42,6	287	12,33	3,09	0,3

2.2.2 Obtenção e multiplicação do inóculo de *M. paranaensis*

A população de *M. paranaensis* usada nas inoculações faz parte da coleção de fitonematoides mantida pelo Laboratório de Nematologia – UFV. Essa foi coletada em 2021 em uma área experimental da Epamig-Sul localizada no município de Piumhi-MG (20° 25' 28,7" S, 46° 1' 10,5" O, 812 1370 m de altitude). A população de campo, após confirmação da pureza

e identidade taxonômica, foi inoculada em mudas de cafeeiro arábica Catuaí IAC 44 previamente transplantadas para vasos de plásticos de 5 L, contendo a mesma mistura de solo e areia descrita no item 2.2.1 e tem sido mantida em casa de vegetação, desde então. Para a multiplicação de *M. paranaensis* usado no experimento de fenotipagem, ovos foram extraídos das raízes de cafeeiro infectadas, empregando-se a técnica de Hussey e Barker (1973), modificada por Bonetti e Ferraz (1981). Para isso, as raízes foram lavadas, cortadas e trituradas em um liquidificador por cerca de 20 seg em uma solução de hipoclorito de sódio a 0,5 % de cloro ativo. Logo em seguida, a suspensão foi vertida em uma peneira de 200 mesh (abertura de 0,075 mm) sobreposta a uma de 500 mesh (0,025 mm). A suspensão obtida foi colocada em tubos de centrífuga, com adição de 1,9 g de caolim e centrifugada a uma rotação de 1.750 rpm por 5 min. Posteriormente, o sobrenadante foi descartado e acrescido aos tubos uma solução aquosa de sacarose (454 g L⁻¹ de açúcar cristal) para ressuspender o pélete formado no fundo dos tubos. Em seguida, foi realizada uma segunda centrifugação na mesma rotação, por 1 min e o sobrenadante foi recuperado em uma peneira de 500 mesh, onde os ovos dos nematoides ficaram retidos. A quantificação e calibração do inóculo foram feitas com auxílio da câmara de Peters, sob microscópio de luz. Após, mudas de tomateiro 'Santa Clara' com 3-4 pares de folhas definitivas, em vasos de 2 L, foram inoculadas com 5.000 ovos/planta. Esses foram mantidos em casa de vegetação por 60 dias. Após a inoculação, as raízes infectadas foram processadas conforme descrito acima para obtenção dos ovos de *M. paranaensis*.

2.2.3 Montagem de experimento de fenotipagem

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa-MG (tendo por coordenadas geográficas o paralelo de 20°45'14'', latitude S, e o meridiano de 42°52'54'', longitude O, 649 m de altitude acima do nível do mar). Dois experimentos foram montados, sendo o primeiro em maio de 2021 e o segundo em dezembro de 2021, sob temperaturas médias de 18,1 °C ± 4,5 e 21,4 °C ± 3,5, respectivamente.

Um total de 304 cafeeiros da geração F₂ foram fenotipados para resistência a *M. paranaensis*. Também foram utilizadas 20 mudas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 44, e 20 mudas da cultivar IPR-100, que consistiram no padrão de suscetibilidade e resistência, respectivamente. As mudas de cafeeiro foram inoculadas 30 dias após o transplante. No experimento 1 foram inoculados 5.000 ovos como população inicial, e no experimento 2 foram

inoculados 10.000 ovos, também como população inicial, ambos da mesma população de *M. paranaensis* (população inicial - Pi), aplicada em dois orifícios abertos no solo a uma profundidade de cerca de 2 cm. Optou-se por aumentar a Pi no segundo experimento, pois no primeiro experimento observou-se uma multiplicação relativamente baixa na testemunha suscetível. As temperaturas mínimas e máximas foram registradas diariamente.

2.2.4 Coleta e análise de dados

As avaliações de ambos os experimentos foram realizadas aos 180 dias após a inoculação. As variáveis mensuradas foram, massa fresca das raízes (g) e o número de ovos por sistema radicular (Pf= população final). Os valores de Pf foram usados para o cálculo do fator de reprodução (FR), obtido como segue: $FR = Pf / Pi$, onde Pf = número final de ovos por sistema radicular e Pi = número de ovos inoculados por planta. O fenótipo da reação de cada indivíduo foi determinado em função do fator de reprodução, onde consideram-se resistentes as plantas com $FR < 1,00$ e suscetíveis com $FR \geq 1,00$ (OOSTENBRINK, 1966). Esses dados foram utilizados para se inferir a provável natureza da resistência a *M. paranaensis* presente na fonte de resistência Amphillo, por meio do teste estatístico de Qui-quadrado a 5% de significância usando o programa R Studio (RStudio Team. (2023). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. Disponível em: <<https://www.rstudio.com/>>).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resistência do cafeeiro Amphillo foi caracterizada no presente trabalho por meio da fenotipagem de uma população segregante em F₂. A maioria dos genótipos derivados do cafeeiro Amphillo (n=234), avaliadas no presente estudo, apresentaram resistência ao *M. paranaensis* (Tabelas 1; 2). Em menor frequência (n=70), alguns destes genótipos foram suscetíveis. Os valores do fator de reprodução (FR) dos genótipos testados tiveram uma amplitude entre 0 e 21,7. No cafeeiro Catuaí Vermelho IAC 44, utilizado como controle de suscetibilidade, foi verificado o parasitismo por *M. paranaensis* no sistema radicular como o esperado para uma cultivar suscetível, assim como foi observada a resistência nos cafeeiros da cultivar IPR-100 utilizados como controle positivo, sabidamente resistente ao nematoide.

A planta Amphillo MR 2-161, derivada do acesso IAC 1167-19, foi selecionada como resistente a *M. incognita* em condições de campo e casa de vegetação na década de 1970 (FAZUOLI, 1986). Desde então, os programas brasileiros de melhoramento de *C. arabica* vem

buscando a obtenção de plantas originadas de cruzamentos com Amphillo como fontes de resistência a nematoides. A resistência a *M. paranaensis*, presente no acesso MG 0179-P3-R1, já havia sido previamente comprovada (GONZALES et al., 2022; PASQUALOTO et al., 2015; PERES et al., 2013). Em um trabalho realizado na Epamig Sul, em Lavras, todas as plantas (n=40) de MG 0179-P3-R1 foram resistentes a *M. paranaensis* (GONZALES et al., 2022), isso corroborou os relatos de Pasqualoto et al. (2015), e Peres et al. (2013), que também testaram progênies de MG 0179-P3-R1, comprovando a resistência a esse nematoide.

A fenotipagem de cafeeiros desempenha um papel crucial no estudo do patossistema *C. arabica* x *M. paranaensis*. Ela envolve a observação e a descrição das características visíveis das plantas e relacionadas a reprodução dos nematoides. Além disso, permite a seleção de genótipos de *C. arabica* resistentes ao *M. paranaensis*, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo.

Tabela 1: Fenótipo da progênie da geração F₂ do híbrido F₁ C68P-9 [(‘Catuaí Vermelho’ x Amphillo MR 2-161) x ‘Catiguá MG2’ - P14] para resistência a *Meloidogyne paranaensis*. Os padrões de suscetibilidade e resistência usados foram as cultivares de *Coffea arabica* ‘IAC-44 e IPR-100, respectivamente.

GENÓTIPO	PFR	OVOS	JUV	PF	FRO	FENO
1	8,2	1.856	192	2.048	0,18	R
2	57,6	4.704	0	4.704	0,47	R
3	61,83	3.536	0	3.536	0,35	R
4	17,79	13.936	728	14.664	1,39	S
5	35,26	1.564	340	1.904	0,15	R
6	16,79	1.764	84	1.848	0,17	R
7	21,94	7.776	48	7.824	0,77	R
8	35,3	12.100	400	12.500	1,21	S
9	10	7.952	336	8.288	0,79	R
10	36,96	5.076	324	5.400	0,5	R
11	66,95	3.496	304	3.800	0,34	R
12	80,95	3.016	208	3.224	0,3	R
13	79,88	3.840	128	3.968	0,38	R
14	57,9	15.312	1.276	16.588	1,53	S
15	8,3	4.872	116	4.988	0,48	R
16	44,65	6.372	108	6.480	0,63	R
17	45,66	1.216	64	1.280	0,12	R
18	29,19	4.176	0	4.176	0,41	R
19	30,29	8.468	348	8.816	0,84	R
20	37,43	4.968	216	5.184	0,49	R
21	62,11	22.736	812	23.548	2,27	S
22	48,41	13.520	5.200	18.720	13,5	S
23	75,2	2.788	204	2.992	0,27	R

24	36,06	8.700	232	8.932	0,87	R
25	87,68	11.520	1.024	12.544	1,15	S
26	53,7	9.576	432	10.008	0,95	R
27	53,91	3.968	0	3.968	0,39	R
28	39	10.744	1.836	12.580	1,07	S
29	65,03	2.640	0	2.640	0,26	R
30	40,2	3.600	500	4.100	0,36	R
31	30	8.680	1.240	9.920	0,86	R
32	45,72	4.860	432	5.292	0,48	R
33	17,06	544	68	612	0,05	R
34	8,02	972	108	1.080	0,09	R
35	47,25	14.148	1.080	15.228	1,41	S
36	27	2.800	0	2.800	0,28	R
37	89,85	1.120	224	1.344	0,11	R
38	16,73	3.132	0	3.132	0,31	R
39	48,52	3.848	145	3.993	0,38	R
40	55,88	8.856	432	9.288	0,88	R
41	48,12	59.000	1.000	60.000	5,9	S
42	44,69	5.824	1.664	7.488	0,58	R
43	31,49	23.296	2.288	25.584	2,32	S
44	29,31	1.700	68	1.768	0,17	R
45	26,01	5.220	116	5.336	0,52	R
46	58,31	3.432	104	3.536	0,34	R
47	43,64	2.120	336	2.456	0,21	R
48	50,38	14.456	104	14.560	1,44	S
49	51,12	4.512	0	4.512	0,45	R
50	32	2.900	0	2.900	0,29	R
51	63,5	3.648	96	3.744	0,36	R
52	79,89	3.360	224	3.584	0,33	R
53	95,34	3.840	672	4.512	0,38	R
54	55,35	4.968	540	5.508	0,49	R
55	62,77	9.792	768	10.560	0,97	R
56	29,84	1.836	216	2.052	0,18	R
57	28,54	546	0	546	0,05	R
58	41,53	9.164	116	9.280	0,91	R
59	30,57	3.024	432	3.456	0,3	R
60	31,38	3.024	0	3.024	0,3	R
61	84,64	756	0	756	0,07	R
62	62,67	16.016	1.344	17.360	1,6	S
63	76,23	10.624	5.120	15.744	10,6	S
64	45,06	15.000	1.000	16.000	1,5	S
65	44,88	3.888	432	4.320	0,38	R
66	31,73	7.872	312	8.184	0,78	R
67	36,83	6.832	560	7.392	0,68	R
68	86,14	336	48	384	0,03	R
69	45,19	4.200	0	4.200	0,42	R
70	79,81	1.944	108	2.052	0,19	R
71	40,01	96.000	5.000	101.000	9,6	S

72	25,57	13.560	660	14.220	1,35	S
73	62,22	4.828	68	4.896	0,48	R
74	68,11	3.016	464	3.480	0,3	R
75	28,87	1.624	232	1.856	0,16	R
76	67,02	3.808	560	4.368	0,38	R
77	19,65	2.024	0	2.024	0,2	R
78	55,45	11.500	2.000	13.500	1,15	S
79	49,26	7.952	672	8.624	0,79	R
80	59,15	1.768	208	1.976	0,17	R
81	35,74	12.636	1.344	13.980	1,26	S
82	42,87	4.368	520	4.888	0,43	R
83	63,62	4.988	116	5.104	0,49	R
84	37,4	12.896	104	13.000	1,28	S
85	36,52	15.872	1.736	17.608	1,58	S
86	52,95	1.456	480	1.936	0,14	R
87	63,49	2.668	1.276	3.944	0,26	R
88	54,37	12.400	1.000	13.400	1,24	S
89	38,25	3.136	224	3.360	0,31	R
90	22,75	7.840	896	8.736	0,78	R
91	81,94	3.640	208	3.848	0,36	R
92	77,08	9.744	784	10.528	0,97	R
93	48,63	3.952	0	3.952	0,39	R
94	37,17	12.320	2.464	14.784	1,23	S
95	29,48	22.920	720	23.640	2,29	S
96	33,61	1.156	136	1.292	0,11	R
97	56,76	11.752	416	12.168	1,17	S
98	49,7	10.700	600	11.300	1,07	S
99	56,1	3.828	116	3.944	0,38	R
100	27,15	80	0	80	0	R
101	12,17	368	0	368	0,03	R
102	40,48	864	0	864	0,08	R
103	26,45	3.016	104	3.120	0,3	R
104	16,02	6.432	96	6.528	0,64	R
105	42,67	2.160	108	2.268	0,21	R
106	81,38	1.000	100	1.100	0,1	R
107	40,25	8.360	6.840	15.200	0,83	R
108	60,42	4.012	0	4.012	0,4	R
109	51,23	6.480	600	7.080	0,64	R
110	52,33	1.296	108	1.404	0,12	R
111	46,63	3.600	200	3.800	0,36	R
112	47,23	20.996	116	21.112	2,09	S
113	52,68	8.536	880	9.416	0,85	R
114	41,08	12.524	1.488	14.012	1,25	S
115	54,66	15.300	1.700	17.000	1,53	S
116	19,83	784	0	784	0,07	R
117	14,26	2.800	400	3.200	0,28	R
118	34,65	728	208	936	0,07	R
119	7,97	4.292	348	4.640	0,42	R

120	34,57	8.364	204	8.568	0,83	R
121	7,47	580	464	1.044	0,05	R
122	40,12	11.712	1.024	12.736	1,17	S
123	70,9	45.360	3.240	48.600	4,53	S
124	31,08	2.288	104	2.392	0,22	R
125	44,35	15.080	2.392	17.472	1,5	S
126	18,14	4.160	624	4.784	0,41	R
127	43,17	1.428	0	1.428	0,14	R
128	25,19	22.048	1.560	23.608	2,2	S
129	68,49	14.280	2.240	16.520	1,42	S
130	22	78.880	12.760	91.640	7,88	S
131	37,74	1.768	0	1.768	0,17	R
132	78,56	5.504	256	5.760	0,55	R
133	47,39	22.736	1.740	24.476	2,27	S
134	56,16	3.404	0	3.404	0,34	R
135	33,75	23.608	104	23.712	2,36	S
136	56,52	27.280	2.640	29.920	2,72	S
137	72,95	6.032	464	6.496	0,6	R
138	62,07	20.336	1.488	21.824	2,03	S
139	37,58	21.280	1.120	22.400	2,12	S
140	52,16	1.872	0	1.872	0,18	R
141	19,46	2.128	112	2.240	0,21	R
142	61,62	8.528	520	9.048	0,85	R
143	36,33	62.400	1.160	63.560	6,24	S
144	77,9	17.152	324	17.476	1,71	S
145	54,14	26.300	1.600	27.900	2,63	S
146	71,97	3.968	248	4.216	0,39	R
147	34,67	6.720	224	6.944	0,67	R
148	65,34	1.500	0	1.500	0,15	R
149	26,9	9.744	1.680	11.424	0,97	R
150	55,28	22.272	1.276	23.548	2,22	S
151	53,67	3.120	312	3.432	0,31	R
152	10,38	2.520	0	2.520	0,25	R
153	33,64	864	0	864	0,08	R
154	44,79	98.400	12.800	111.200	9,84	S
155	29,01	5.520	120	5.640	0,55	R
156	62,41	8.468	1.392	9.860	0,84	R
157	93,9	27.528	2.960	30.488	2,75	S
158	43,46	2.240	224	2.464	0,22	R
159	54,72	1.536	0	1.536	0,15	R
160	21,22	3.160	0	3.160	0,31	R
161	62,83	75.480	7.480	82.960	7,54	S
162	38,54	2.232	72	2.304	0,22	R
163	56,9	1.276	116	1.392	0,12	R
164	16,83	3.672	324	3.996	0,36	R
165	49,4	5.336	116	5.452	0,53	R
166	54	3.936	96	4.032	0,39	R
167	67,27	2.100	416	2.516	0,21	R

168	50,73	832	0	832	0,08	R
169	11,55	7.560	18	7.578	0,75	R
170	30,49	6.528	96	6.624	0,65	R
171	37,71	420	0	420	0,04	R
172	29,95	10.752	5.760	16.512	10,7	S
173	40,22	33.600	2.520	36.120	3,36	S
174	45,15	1.000	100	1.100	0,1	R
175	11,69	8.160	680	8.840	0,81	R
176	23,64	2.128	224	2.352	0,21	R
177	22,35	1.428	68	1.496	0,14	R
178	23,18	800	0	800	0,08	R
179	46,96	2.244	68	2.312	0,22	R
180	44,19	756	0	756	0,07	R
181	10,93	14.040	840	14.880	1,4	S
182	59,48	1.560	0	1.560	0,15	R
183	46,57	1.856	0	1.856	0,18	R
184	48,1	4.824	1.344	6.168	0,48	R
185	65,66	1.188	324	1.512	0,11	R
186	31,63	4.160	208	4.368	0,41	R
187	36,14	1.632	816	2.448	0,16	R
188	24,33	98.280	7.566	105.846	9,82	S
189	33,64	31.240	992	32.232	3,12	S
190	60,43	4.292	348	4.640	0,42	R
191	63,38	12.640	80	12.720	1,26	S
192	32,08	1.200	100	1.300	0,12	R
193	35,56	600	0	600	0,06	R
194	38,01	7.912	368	8.280	0,79	R
195	54,32	2.660	348	3.008	0,26	R
196	71,59	98.400	3.600	102.000	9,84	S
197	24,77	28.000	1.120	29.120	2,8	S
198	24,19	2.112	132	2.244	0,21	R
199	32,44	2.240	336	2.576	0,22	R
200	44,5	1.120	0	1.120	0,11	R
201*	37,08	220	0	220	0,04	R
202*	22,58	0	43	43	0,01	R
203*	30,13	204	51	255	0,05	R
204*	32,3	350	0	350	0,07	R
205*	29,16	60	0	60	0,01	R
206*	24,3	30	0	30	0,01	R
207*	31,37	300	30	330	0,06	R
208*	9,06	108	0	108	0,02	R
209*	22,61	10.032	3.168	13.200	2,64	S
210*	50,6	200	25	225	0,05	R
211*	24,08	32	64	96	0,02	R
212*	24,85	6.084	819	6.903	1,38	S
213*	13,23	44	0	44	0,01	R
214*	18,41	40	40	80	0,02	R
215*	30,26	78	117	195	0,04	R

216*	18,23	24.200	3.280	27.480	5,5	S
217*	30,28	120	0	120	0,02	R
218*	21,18	40	0	40	0,01	R
219*	19,39	100.920	7.540	108.460	21,7	S
220*	12,68	100	50	150	0,03	R
221*	36,43	80	0	80	0,02	R
222*	32,77	156	117	273	0,05	R
223*	31,57	4.730	989	5.719	1,14	S
224*	19,59	490	315	805	0,16	R
225*	27,73	156	0	156	0,03	R
226*	36,62	256	32	288	0,06	R
227*	23,07	50	350	400	0,08	R
228*	19,97	60	0	60	0,01	R
229*	24,97	304	40	344	0,07	R
230*	32,14	44	88	132	0,03	R
231*	20,98	81	0	81	0,02	R
232*	32,25	585	90	675	0,13	R
233*	33,01	188	264	452	0,09	R
234*	35,88	860	645	1.505	0,3	R
235*	46,52	5.460	1.833	7.293	1,45	S
236*	16,78	608	32	640	0,12	R
237*	33,09	15.504	3.094	18.598	3,71	S
238*	20,04	715	880	1.595	0,31	R
239*	29,55	120	0	120	0,02	R
240*	23,79	4.446	608	5.054	1,01	S
241*	26,73	315	140	455	0,09	R
242*	29,13	2.346	510	2.856	0,57	R
243*	23,42	735	0	735	0,15	R
244*	58,78	0	336	336	0,07	R
245*	59,41	72	430	502	0,01	R
246*	18,98	161	121	282	0,06	R
247*	27,14	195	0	195	0,04	R
248*	22,98	280	105	385	0,08	R
249*	15,24	11.880	936	12.816	2,56	S
250*	8,26	1.612	260	1.872	0,37	R
251*	24,04	240	680	920	0,18	R
252*	11,57	810	90	900	0,18	R
253*	8,7	150	120	270	0,05	R
254*	25,77	518	370	888	0,1	R
255*	20,65	440	80	520	0,09	R
256*	38,6	192	552	744	0,04	R
257*	22,4	88	44	132	0,02	R
258*	21,3	90	60	150	0,02	R
259*	27,14	810	270	1.080	0,16	R
260*	25,42	31	31	62	0,01	R
261*	22,79	120	40	160	0,02	R
262*	18,9	80	200	280	0,02	R
263*	29,3	70	35	105	0,01	R

264*	24,19	23	92	115	0	R
265*	11,82	0	99	99	0	R
266*	25,58	585	135	720	0,12	R
267*	18,9	172	40	212	0,03	R
268*	22,71	18.447	1.131	19.578	3,69	S
269*	22,91	170	340	510	0,03	R
270*	11,42	33	0	33	0,01	R
271*	20,79	11.730	1.054	12.784	2,35	S
272*	19,49	8.816	798	9.614	1,76	S
273*	9,34	90	0	90	0,02	R
274*	24,14	160	0	160	0,03	R
275*	38,97	0	44	44	0	R
276*	26,72	455	315	770	0,09	R
277*	17,19	110	110	220	0,02	R
278*	35,27	108	216	324	0,02	R
279*	39,38	60	90	150	0,01	R
280*	33,68	120	480	600	0,02	R
281*	22,83	0	88	88	0	R
282*	38,66	396	315	711	0,08	R
283*	55,86	204	161	365	0,04	R
284*	32,86	69	115	184	0,01	R
285*	23,44	165	33	198	0,03	R
286*	13,91	4.978	1.254	6.232	1,25	S
287*	69,37	61	121	182	0,01	R
288*	34,7	352	64	416	0,07	R
289*	48,96	220	605	825	0,04	R
290*	21,95	14.842	2.255	17.097	2,97	S
291*	36,34	612	364	976	0,12	R
292*	16,95	3.003	741	3.744	0,6	R
293*	54,95	105	35	140	0,02	R
294*	21,97	0	70	70	0	R
295*	40,72	195	315	510	0,04	R
296*	1085	620	465	1.085	0,12	R
297*	60,43	47.120	1.960	49.080	9,42	S
298*	29,93	266	44	310	0,05	R
299*	33,4	800	160	960	0,16	R
300*	29,96	28	0	28	0,01	R
301*	69,04	56.640	12.720	69.360	11,33	S
302*	69,19	1.476	828	2.304	0,3	R
303*	28,37	418	38	456	0,08	R
304*	35,12	72	36	108	0,01	R
CP	PFR	OVOS	JUV	PF	FR	
IPR100*	-	611	94	705	0,12	
IPR100*	-	60	90	150	0,01	
IPR100*	-	533	0	533	0,11	
IPR100*	-	465	620	1.274	0,09	
IPR100*	-	105	280	385	0,02	

IPR100*	-	27	27	54	0,01	
IPR100*	-	585	0	585	0,12	
IPR100*	-	0	0	0	0,00	
IPR100	62,8	1.350	0	1.350	0,14	
IPR100	62,63	2.304	102	2.406	0,23	
IPR100	75,02	17.820	388	18.208	1,78	
IPR100	56,7	2.592	648	3.240	0,26	
IPR100	26,35	16.524	563	17.087	1,65	
IPR100	53,54	15.080	432	15.512	1,51	
IPR100	67,89	6.696	648	7.344	0,67	
IPR100	29,96	16.092	2.916	19.008	1,61	
IPR100	33,94	2.080	208	2.288	0,21	
MED	52,09	1.350	244	1.350	0,14	R
IAC44*	-	3.784	3.569	7.353	0,76	
IAC44*	-	5.056	768	5.824	1,01	
IAC44*	-	44.080	6.840	50.920	8,82	
IAC44*	-	12.013	3.321	15.334	2,40	
IAC44*	-	2.730	420	3.150	0,55	
IAC44*	-	26.460	2.026	28.486	5,29	
IAC44*	-	60.907	12.480	73.387	12,18	
IAC44*	-	33.060	8.820	41.880	6,61	
IAC44*	-	93.160	2.380	95.540	18,63	
IAC44	5,77	5.160	240	5.400	0,52	
IAC44	34,31	84.240	3.340	87.580	8,42	
IAC44	13,2	3.584	896	4.480	0,36	
IAC44	19,39	45.360	3.240	48.600	4,54	
IAC44	5,7	30.240	2.358	32.598	3,02	
IAC44	35,37	61.560	4.320	65.880	6,16	
IAC44	9,33	6.480	1.320	7.800	0,65	
IAC44	18,04	34.884	3.320	38.204	3,49	
IAC44	33,47	41.440	1.366	42.806	4,14	
IAC44	25,02	40.920	2.480	43.400	4,09	
MED	19,96	33.060	2.480	38.204	4,09	S

PFR = Peso fresco da raiz, JUV = Juvenil, PF = População final, FRO = Fator de reprodução apenas com ovos, R = Resistente e S = Suscetível. Genótipos que estão acompanhados com *, foram avaliados no primeiro experimento, e genótipos testados no segundo experimento, não possuem o asterisco (*).

Notou-se ainda, que mesmo nos genótipos resistentes, *M. paranaensis* foi capaz de se reproduzir em baixas taxas nas raízes (Tabela 1), evidenciando que as respostas de defesa não são fortes o suficiente para inibir completamente a reprodução do nematoide. Em um trabalho realizado por Alves et al. (2019), os resultados sugerem que a resistência de 'Amphillo' ao *M. paranaensis* se deve a uma combinação de respostas resistência precoces e tardias. As respostas precoces podem impedir que os nematoides penetrem nas raízes, enquanto as respostas tardias podem impedir que os nematoides se desenvolvam e se reproduzam. No trabalho de Alves et

al. (2019) pôde-se verificar que os mecanismos pré-infecção foram responsáveis pela redução de penetração de J2 no genótipo resistente quando comparado ao genótipo suscetível. Por outro lado, o mecanismo pós-infecção atuou nas fases iniciais do parasitismo, matando alguns J2 após a penetração impedindo que muitos nematoides cheguem ao estágio reprodutivo.

Resistência intermediária foi relatada no patossistema *C. arabica* x *M. exigua*, no qual a resistência do hospedeiro é governada pelo gene *Mex-1*, um gene R oriundo de *C. canephora* (NOIR et al., 2003). Estudos histológicos realizado por Anthony et al. (2005), demonstraram que mesmo em genótipos resistentes podem ocorrer eventuais penetrações do patógeno nos tecidos radiculares. Após a penetração, é desencadeada uma resposta de hipersensibilidade (HR) nas células circundantes ao patógeno, inibindo o estabelecimento de sítio de alimentação e a formação de células gigantes. Eventuais escapes a estas respostas de defesa do hospedeiro permitem que o sítio de alimentação seja estabelecido, com formação de células gigantes e reprodução, a qual ocorre em menor intensidade em relação a genótipos suscetíveis. Estudos posteriores confirmaram que este gene apresenta dominância incompleta, sendo possível a penetração de juvenis nos tecidos de genótipos heterozigotos, com subsequente inibição do desenvolvimento de galhas e redução da reprodução do patógeno em relação à genótipos suscetíveis (ALPIZAR; ETIENNE; BERTRAND, 2007). Desta forma, a presença de genes de efeito maior com dominância incompleta não pode ser descartada para o patossistema *M. paranaensis* x *C. arabica*.

A natureza da resistência do cafeeiro Amphillo foi inferida a partir da análise da segregação fenotípica. Foi analisado um total de 304 plantas da geração F₂, sendo o valor observadas 234 plantas resistentes (77%), e 70 plantas suscetível (23%) (Tabela 2). Para o estudo de herança, foi testado o envolvimento de um, dois ou três genes na resistência do cafeeiro a *M. paranaensis*. Para isso, analisaram-se as seguintes proporções fenotípicas: para um gene (3:1, 1:3), dois genes (15:1, 13:3, 7:9, 9:7, 3:13, 1:15) e três genes (63:1, 61:3, 55:9, 37:27, 27:37, 9:55, 3:61, 1:63, 57:7, 51:13, 49:15, 43:21, 25:39 e 19:45), procurando-se detectar aquela que melhor explicasse as frequências de classes fenotípicas observadas. Aplicou-se o teste de Qui-quadrado, que mostra se houve ou não diferença estatística entre os valores observados e esperados, onde cada valor foi comparado com o valor de Qui-quadrado tabelado. Valores menores que o tabelado, não se rejeita H₀, e valores maiores que o tabelado, rejeita-se H₀. O teste de Qui-quadrado tem se mostrado bastante prático e eficiente para o teste de hipóteses de padrões de segregação, uma vez que considera os desvios ocorridos entre valores previstos e observados e o número de observações avaliado (SCHUSTER; CRUZ, 2004).

As frequências observadas e esperadas para as reações de resistência e suscetibilidade a *M. paranaensis* na população F₂ estão descritas na Tabela 2. Os resultados obtidos irão fornecer hipóteses que serão muito importantes para a continuação dos estudos, e assim observar de forma mais detalhada o comportamento padrão da característica da resistência das progênes derivadas do germoplasma Amphillo ao *M. paranaensis*.

Tabela 2. Teste de Qui-quadrado (χ^2) para número de plantas resistentes e plantas suscetíveis a *M. paranaensis*, segundo a variável Fator de Reprodução calculada para uma progênie oriunda do híbrido F₁ C68P-9 [(‘Catuaí Vermelho’ x Amphillo MR 2-161) x ‘Catiguá MG2’ - P14].

Proporções testadas	Observado		Esperado		X ²	P (%)	
	R	S	R	S			
3	1		228	76	0,6316 ^{ns}	42,68	
1	3		76	228	437,96 ^{**}	0,00	
15	1		285	19	146,02 ^{**}	0,00	
13	3		247	57	3,6491 ^{ns}	5,61	
7	9		133	171	136,35 ^{**}	0,00	
9	7		171	133	53,053 ^{**}	0,00	
3	13		57	247	676,47 ^{**}	0,00	
1	15		19	285	2595,1 ^{**}	0,00	
63	1		299	5	910,56 ^{**}	0,00	
61	3	234	70	289	15	228,84 ^{**}	0,00
55	9		261	43	20,212 ^{**}	0,00	
37	27		175	129	45,763 ^{**}	0,00	
27	37		129	175	150,83 ^{**}	0,00	
9	55		43	261	995,6 ^{**}	0,00	
3	61		15	289	355,54 ^{**}	0,00	
1	63		5	299	112,40 ^{**}	0,00	
57	7		270	34	45,607 ^{**}	0,00	
51	13		242	62	1,3832 ^{ns}	23,96	
49	15		232	72	0,0286 ^{ns}	86,56	
43	21		204	100	13,206 ^{**}	0,00	
25	39		118	186	183,55 ^{**}	0,00	
19	45		90	214	325,64 ^{**}	0,00	

ns = Aceita-se a hipótese H₀; ** = Rejeita-se a hipótese H₀, respectivamente.

R = Resistente, S = Sucessível, FR = Fator de reprodução, P = Probabilidade em %, Razão = Segregação esperada.

Levando em consideração a hipótese de ANZUETO et al. (2001) na qual a resistência de cafeeiros Amphillo a *M. paranaensis* pode ser atribuída à expressão de um gene maior com dominância completa (3R:1S em F₂) ou dois genes dominantes complementares (9R:7S em F₂), e que os genótipos de Amphillo utilizados nesses estudo são heterozigotos para a resistência, foi realizado um teste de χ^2 , com 1 GL ($\alpha = 0.05$ %), confrontando as proporções observadas e

esperadas, com base na hipótese do número de genes envolvidos no controle do caráter resistência. Considerou-se vinte e duas classes fenotípicas, a frequência de plantas resistentes e suscetíveis observadas na análise do FR da progênie F₂ oriunda do híbrido F₁ C68P-9 foi comparada com as frequências teóricas esperadas, levando-se em conta as hipóteses de que a resistência do cafeeiro a *M. paranaensis* é consequência da expressão de um, dois e três genes.

Os resultados obtidos pelo teste Qui-quadrado sugerem quatro interpretações. Na primeira, a resistência é governada por um gene, com dominância completa, demonstrados pela segregação de 3:1 ($\chi^2=0,6316$; P=42,68%). Na segunda, a resistência é governada por dois genes, um dominante e outro recessivo, indicado pelo padrão de segregação de 13:3 ($\chi^2=3,6491$; P=5,61%). Na terceira, a resistência é governada por três genes, um gene dominante independente, um gene dominante e outro recessivo complementar, indicado pelo padrão de segregação 51:13 ($\chi^2=1,3832$; P=23,96%). Na quarta interpretação, temos a resistência governada por três genes, um gene dominante independente e dois recessivos complementares, indicado pelo padrão de segregação 49:15 ($\chi^2=0,0286$; P=86,56%). Já as demais proporções fenotípicas não foram significativas. Inicialmente a característica da resistência foi hipotetizada como sendo herdada de forma mendeliana, com uma segregação fenotípica 3:1. No entanto, o teste Qui-quadrado não conseguiu rejeitar a hipótese nula de homogeneidade para essa proporção, o que significa que os valores observados não diferiram significativamente dos valores esperados junto com mais três proporções testadas. Portanto, a análise estatística que incluiu as populações F₂, demonstrou que há pelos menos um gene dominante presente no híbrido C68P-9 atuando nas características da resistência. As progênies F₂ do híbrido identificadas como resistentes no presente estudo são de grande importância, apesar de apresentarem plantas segregantes (susceptíveis). Essas progênies avaliadas forneceram informações importantes, como o grande potencial para a obtenção de novas cultivares de café arábica derivadas de Amphillo resistentes a *M. paranaensis*.

Para a determinação de quantos genes estão envolvidos na resistência do cafeeiro Amphilo, é necessário realizar um estudo de mapeamento genético, esse estudo consiste em identificar os genes que estão associados à resistência e mapeá-los no genoma do cafeeiro. O estudo de mapeamento genético pode ser realizado por meio de diversas técnicas, como por Mapeamento QTL (*Quantitative Trait Loci*). O estudo de mapeamento genético do cafeeiro Amphilo é um passo importante para o desenvolvimento de cultivares de cafeeiro resistentes. Esse conhecimento poderá ser explorado nos programas de melhoramento genético do cafeeiro, para gerar cultivares mais produtivos e resilientes às condições adversas. Além disso, poderá contribuir para o entendimento dos mecanismos de resistência. Isso irá facilitar os programas

de melhoramento do cafeeiro no desenvolvimento de novas cultivares, com a identificação desses genes através do desenvolvimento de marcadores moleculares, assim evitando as avaliações destrutivas podendo fazer o avanço de geração dos genótipos que apresentar resistência ao passar os marcadores.

2.4. CONCLUSÃO

Conclui-se que a herança da resistência do Amphillo MR 2-161 a *M. paranaensis* é controlado por pelo menos um gene com dominância completa, podendo estar envolvidos dois outros genes complementares.

2.5. REFERÊNCIAS

ALPIZAR, E.; ETIENNE, H.; BERTRAND, B. Intermediate resistance to *Meloidogyne exigua* root-knot nematode in *Coffea arabica*. **Crop Protection**, v. 26, n. 7, p. 903–910, 2007.

ALVES, P.S.; FATOBENE, B.J.D.R.; SALGADO, S.M.D.L.; GOMES, A.C., CAMPOS, V.P.; CARNEIRO, R.M.; & DE SOUZA, J.T. Early and late responses characterise the resistance derived from Ethiopian wild germplasm ‘Amphillo’ of *Coffea arabica* to *Meloidogyne paranaensis*. **Nematology**, v. 21, n. 8, p. 793-804, 2019.

ANTHONY, F.; TOPART, P.; MARTINEZ, A.; SILVA, M.; NICOLE, M. Hypersensitive-like reaction conferred by the Mex-1 resistance gene against *Meloidogyne exigua* in coffee. **Plant Pathology**, v. 54, n. 4, p. 476–482, 2005.

ANZUETO, F.; BERTRAND, B.; SARAH, J.L.; ESKES, A.B.; DECASY, B. Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. **Euphytica**, v. 118, p. 1-8, 2001.

BARBOSA, D.H.S.G.; VIEIRA, H.D.; SOUZA, R.M.; VIANA, A.P., SILVA, C.P. Field estimates of coffee yield losses and damage threshold by *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 49-54, 2004.

BERTRAND, B.; ANTHONY, F. Genetics of resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and breeding. In: SOUZA, R.M. (Ed.). **Plant Parasitic Nematodes of coffee**. Dordrecht: Springer, 2008a. p. 165–190.

CARNEIRO, R.M.D.G.; CARNEIRO, R.G.; ABRANTES, I.D.O.; SANTOS, M.D.A.; ALMEIDA, M.R.A. *Meloidogyne paranaensis* (Nemata: Meloidogynidae), a root-knot nematode parasitizing coffee in Brasil. **Journal of Nematology**, v. 28, n. 2, p. 177-189, 1996.

CARVALHO, A.M.D.; SALGADO, S.M.D.L.; MENDES, A.N.G.; PEREIRA, A.A.; BOTELHO, C.E.; TASSONE, G.A.T.; LIMA, R.R.D. Caracterização de genótipos de *Coffea*

arabica L. em área infestada pelo nematoide *Meloidogyne paranaenses*. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 1 – 8, 2017.

CASTRO, J.D.C.; CAMPOS, V.P.; POZZA, E.A.; NAVES, R.D.L.; ANDRADE JÚNIOR, W.C.; DUTRA, M.R.; ... & SILVA, J.R. Levantamento de Fitonematóides em Cafezais do Sul de Minas Gerais. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 56–64, 2008.

FATOBENE, B.J.R. **Seleção de cafeeiros com resistência múltipla a nematoides do gênero *Meloidogyne***. 2014. Tese (Doutorado em Genética, Melhoramento Genético Vegetal e Biotecnologia.) – Pós-graduação IAC. Campinas, 2014.

GHINI, G. Solarização de resíduos orgânicos: um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 365-372. 2004.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M.B. Nematóides parasitos do cafeeiro. In: Zambolim, L. (Ed.). **Tecnologias de Produção de Café com Qualidade**. Viçosa: UFV, 2001. p. 199-267.

GONZALES, R.V.G. **Estudo de associação genômica ampla da resistência do germoplasma Amphillo a *Meloidogyne paranaensis***. 2022. Tese (Doutorado em Melhoramento genético de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.

HARUSHIMA Y.; YANO M.; SHOMURA A.; SATO M.; SHIMANO T.; KUBOKI, Y.; YAMAMOTO T.; LIN S.Y.; BALTAZAR A.A.; PARCO A.; KAJIYA H.; HUANG N.; YAMAMOTO K.; NAGAMURA Y.; KURATA N.; KHUSH G.S.; SASAKI T.A. High-density rice genetic linkage map with 2275 markers using a single F² population. **Genetics**, v. 148, p. 479-494, 1998.

LUC, M.; REVERSAT, G. Possibilités et limites des solutions génétiques aux affections provoquées par les nématodes sur les cultures tropicales. **Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France** (Paris), v. 71, p. 781-791, 1985.

NOIR, S.; ANTHONY, F.; BERTRAND, B.; COMBES, M.C.; & LASHERMES, P. Identification of a major gene (*Mex-1*) from *Coffea canephora* conferring resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica*. **Plant Pathology**, v. 52, n. 1, p. 97–103, 2003.

OOSTENBRINK M. 1966. **Major characteristics of the relation between nematodes and plants**. Medelingen Van De landbouwhogeschool Te Wageningen 66: 1-46.

PASQUALOTTO, A.C.; SANTOS, V.M.; SILVA, R.S.; OLIVEIRA, R.M. Effect of integrated management on populations of *Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne javanica* in coffee trees. **Journal of Nematology**, v. 47, n. 3, p. 221-228, 2015.

PERES, N.M., BOTELHO, C.M., PEREIRA, A.M., FATOBENE, M., & ANDREAZI, R. Avaliação de germoplasma de café para resistência a *Meloidogyne exigua* e *M. incognita* no Brasil. **Coffee Science**, v. 8, n. 2, p. 190-197, 2013.

PERES, R.S.; SILVA, E.F.; SILVA, M.R.; ALVES, E.A. Melhoramento para resistência a *Meloidogyne paranaensis* e *Meloidogyne incognita* em cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Melhoramento de culturas**, v. 2, n. 4, p. 158-163, 2017.

SALGADO, C.C. **Abordagem sobre estudo de herança de caracteres pela genética clássica e molecular**. Viçosa. 2012. 99 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Editora UFV. 2012.

SALGADO, S.M.L.; REZENDE, J.C.; NUNES, J.A.R. Selection of coffee progenies for resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in infested area. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 94-101, 2014.

SCHUSTER I.; CRUZ C.D. **Estatística genômica aplicada a populações derivadas de cruzamentos**. Viçosa, MG. Editora UFV, 2004. 585p.

SILVAROLLA, M.B.; GONÇALVES, W.; LIMA, M.M.A.; GUERREIRO FILHO, O.; FAZUOLI, L.C. Identificação de fontes de resistência a *Meloidogyne paranaensis* em germoplasma de *Coffea arabica* provenientes da Etiópia. In: **Congresso Brasileiro de Nematologia**, 21, 1998, Maringá - SP. Resumos, 1998. p. 56-57.

TERRA, W.C.; DE LIMA SALGADO, S.M.; DOS REIS FATOBENE, B.J.; & Campos, V.P. Expanded geographic distribution of *Meloidogyne paranaensis* confirmed on coffee in Brazil. **Plant Disease**, v. 103, n. 3, p. 589-589, 2019.

WEIGUO L.; MING Y.Z.; ENRIQUE A.P.; CALVIN F.K. Highly efficient doubled haploid production in wheat (*Triticum aestivum* L.) via induced microspore embryogenesis. **Crop Science**, v. 42, p.682-692, 2002.

WILLIANSO, V.M.; KUMAR, A. Nematode resistance in plants: the battle underground. **Trend in Genetics**, v. 22, p. 396-403, 2006.