



RAMIRO MACHADO REZENDE

**PROGRESSOS GENÉTICOS, DESEMPENHO
AGRONÔMICO E REAÇÃO DE PROGÊNIES DE
CAFEEIROS ARÁBICA A *Meloidogyne*
exigua E *M. paranaensis***

**LAVRAS - MG
2015**

RAMIRO MACHADO REZENDE

**PROGRESSOS GENÉTICOS, DESEMPENHO AGRONÔMICO E
REAÇÃO DE PROGÊNIES DE CAFEEIROS ARÁBICA A *Meloidogyne
exigua* E *M. paranaensis***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho

Coorientadores

Dra. Sônia Maria de Lima Salgado

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

LAVRAS – MG

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio (a) autor (a).

Rezende, Ramiro Machado.

Progressos genéticos, desempenho agrônômico e reação de progênies de cafeeiros arábica a *Meloidogyne exigua* e *M.paranaensis* / Ramiro Machado Rezende. – Lavras: UFLA, 2015.

117 p. : il.

Tese (doutorado) –Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador (a): Gladyston Rodrigues Carvalho.

Bibliografia.

1. Café. 2. Híbrido de Timor. 3. Melhoramento genético. 4. Nematóide das galhas. 5. Resistência. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

RAMIRO MACHADO REZENDE

**PROGRESSOS GENÉTICOS, DESEMPENHO AGRONÔMICO E
REAÇÃO DE PROGÊNIES DE CAFEEIROS ARÁBICA A *Meloidogyne
exigua* E *M. paranaensis***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2015.

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes	UFLA
Dr. Rubens José Guimarães	UFLA
Dra. Sônia Maria de Lima Salgado	EPAMIG
Dra. Regina Cássia Ferreira Ribeiro	UNIMONTES
Dr. Antônio Carlos Baião de Oliveira	EMBRAPA

Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho
Orientador

**LAVRAS – MG
2015**

*A Deus e Nossa Senhora
por sempre guiarem os meus passos*

OFEREÇO

*Aos meus pais Mirtes e José Roberto,
ao meu irmão Rafael e
ao meu amor Renata,
aos quais serei grato para sempre, pelo apoio, incentivo e amor*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a **Deus**, por estar presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, **Mirtes Machado Rezende e José Roberto Rezende**, pelos esforços jamais medidos, pelo amor, carinho e confiança.

Ao meu amor, **Renata Alves Lara Silva**, pelo carinho, amor, amizade e compreensão e por sempre estar ao meu lado em todos os momentos.

À **Universidade Federal de Lavras (UFLA)**, ao Departamento de Agricultura, por meio de seus professores e funcionários, pela oportunidade de realização do curso.

À **Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG)**, pela cessão das áreas experimentais e pelo apoio na condução do trabalho.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)**, à **Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG)**, ao **Consórcio Pesquisa Café** e ao **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT Café)**, pelo apoio financeiro ao projeto e concessão de bolsas.

Ao orientador **Gladyston Rodrigues Carvalho**, pela oportunidade, ensinamentos passados, amizade e pela brilhante orientação.

À coorientadora **Sônia Maria de Lima Salgado**, pela amizade, convívio, orientação e valiosas contribuições.

Aos pesquisadores **César Elias Botelho, Juliana Costa de Rezende e Walter Adão**, pela amizade e tempo dispensado à transmissão de seus conhecimentos.

Aos professores **Antônio Nazareno Guimarães Mendes, Rubens José Guimarães e Virgílio Anástacio da Silva**, pelo apoio, ensinamentos e valiosas contribuições para minha vida profissional.

Aos funcionários do setor de cafeicultura, em especial, **José Maurício e Alexandre**, pela amizade e experiência transmitidas.

Ao pesquisador **Antônio Alves Pereira** (Tonico), que disponibilizou as progênies utilizadas no experimento.

Ao Sr. **Francisco Falco Neto**, proprietário da Fazenda Ouro Verde em Campos Altos-MG, pela cessão da área e disponibilização de funcionários para a condução do experimento.

Ao Sr. **Marcos**, proprietário da Fazenda Guaiçara em Piumhi-MG, pelo apoio e disponibilização de funcionários na coleta de inóculo.

Ao técnico agrícola da EPAMIG de Patrocínio, **Lázaro Marques dos Reis**, pela implantação do experimento em Campos Altos.

Aos funcionários da subestação, da Fazenda Experimental da EPAMIG, em Lavras e aos funcionários do Laboratório de Nematologia da UFLA, por não terem medido esforços em me ajudar na condução dos experimentos.

À **Simone Ribeiro** e **Guilherme Tassone**, pela amizade e principalmente pela ajuda nas análises laboratoriais.

Aos bolsistas do projeto **Janaina** (Potinho) e **Thiago** (Migué), pela disponibilidade, compromisso com o trabalho e amizade.

Ao **Vinícius Teixeira Andrade**, pelo auxílio nas análises estatísticas, companheirismo e ensinamentos.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, **Marli dos Santos Túlio**, pela paciência e auxílio.

À Universidade Vale do Rio Verde (UNINCOR) e a todos os colegas professores.

Aos amigos da “**República Só-Kanela**”, pela grande amizade.

Aos amigos **André Dominghetti**, **Alex Mendonça**, **Allan Pasqualotto**, **João Paulo Felicori**, **Thamires Bandoni** e **Vinicius Lemos**, pela amizade, ajuda e companheirismo.

Aos amigos do NECAF e bolsistas da EPAMIG, em especial, **Carol**, **José Roberto** (Batata), **Marina Praxedes**, **Felipe** (Yudi), **Alessandro**, **Fernando** (Capelinha), **Filipe Chaves**, **Chico**, **Diego**, **Pedro**, **Clóvis**, **Ravani**, **Milena**, **Thiago Tavares**, **Thales**, **Renato**, **Arlei**, **João Luiz** (Xinxila), **Dante**, **Beatriz**, **Gaby**, **Helbert**, **João Marcos** (Lactose), **Paulo** (Poney), **Rodrigo**, **Janine** e muitos outros que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho disponibilizar informações de características agronômicas e reação à ferrugem de progênies de cafeeiro $F_{3,4}$, bem como verificar correlações genéticas entre caracteres, estimar parâmetros e progressos genéticos e caracterizar a reação de progênies $F_{4,5}$ ao parasitismo por *Meloidogyne paranaensis* e *Meloidogyne exigua*. Para isso, três experimentos foram instalados. O experimento de campo foi instalado em dezembro de 2000, na Fazenda Ouro Verde, situada no município de Campos Altos – MG. Foram avaliadas 10 progênies $F_{3,4}$ oriundas do cruzamento entre cultivares do grupo Catuaí e seleções de Híbrido de Timor, previamente selecionadas como resistentes à *M. exigua*, e a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 como testemunha. Utilizou-se delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, totalizando 33 parcelas constituídas de oito plantas cada, no espaçamento de 4,0 x 0,8 m. Entre as safras 2011/2012 a 2014/2015 avaliou-se a produtividade em sacas de café beneficiado. ha^{-1} , incidência e severidade da ferrugem, vigor vegetativo, porcentagem de frutos no estágio “cereja”, porcentagem de frutos chochos, diâmetro de copa, porcentagem de grãos peneira 17 e acima e análise sensorial de bebida. A maioria das progênies se destaca em produtividade; todas as progênies apresentam comportamento promissor para resistência à ferrugem do cafeeiro e potencial para a produção de cafés especiais; a progênie H493-1-2-2 se destaca em todas as características analisadas. Dentro das 10 progênies superiores em campo, selecionaram-se 86 plantas, as quais foram autofecundadas para obtenção da geração $F_{4,5}$. Assim, dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, um com a inoculação de *M. exigua* e outro com *M. paranaensis*, no delineamento de blocos casualizados com oito repetições e parcelas constituídas de uma planta. Oitenta e seis (86) progênies e as cultivares testemunhas Mundo Novo IAC 379/19, Catuaí Vermelho IAC 99, Paraíso MG H 419-1 e IPR 100 foram avaliadas por meio da matéria seca da parte aérea, matéria fresca de raiz extraída, incremento de altura, incremento de diâmetro, índice de galhas, índice de galhas e engrossamento, porcentagem do sistema radicular com galhas, número de ovos e juvenis (J2) por grama de raiz, fator de reprodução e redução no fator de reprodução. A maioria das progênies é resistente à *M. exigua*; as variáveis analisadas são correlacionadas geneticamente; a escala de nota baseada na presença de galhas e/ou engrossamento nas raízes representa bem a reprodução dos nematoides *M. exigua* e *M. paranaensis*; cinco progênies apresentam comportamento promissor para resistência à *M. paranaensis*; há possibilidade de ganhos seletivos para diminuição da população de nematoides no sistema radicular das progênies.

Palavras-chave: Café. *Hemileia vastatrix*. Híbrido de Timor. Nematóide das galhas. Melhoramento. Resistência.

ABSTRACT

In this study aimed to provide information about agronomic characteristics and reaction to leaf rust of progenies of coffee tree $F_{3,4}$, and also verify genetic correlations among characters, estimate parameters and genetic progress and characterize the progenies $F_{4,5}$ reaction to parasitism by *Meloidogyne paranaensis* and *Meloidogyne exigua*. Three experiments were conducted. The field experiment was installed in December 2000, at *Ouro Verde* Farm, located in *Campos Altos*, *Minas Gerais* State, Brazil. Ten progenies of $F_{3,4}$ were evaluated from Timor Hybrid selections x *Catuai* group cultivars crossing, previously selected as resistant to *M. exigua* and the *Catuai Vermelho* IAC 99 cultivar as the control. The randomized block design was used, with three replicates, totaling 33 plots consisting of eight plants each, spaced 4.0 x 0.8 m. Among the 2011/2012 to 2014/2015 crop seasons, it was evaluated productivity (conditioned coffee bags ha^{-1}), incidence and severity of leaf rust, vegetative vigor, percentage of fruits at the “cherry” stage, percentage of floating fruits, crown diameter, percentage of grains sieve 17 above and sensory analysis of drink. Most of progenies stands out in productivity; all progenies show promising performance for resistance to coffee rust and potential for the production of specialty coffees; the progenie H493-1-2-2 stands out in all evaluated characteristics. Within ten progenies superior in field, 86 plants were selected, which these plants were self-fertilized to obtain the $F_{4,5}$ generation. Two experiments were conducted in greenhouse, with inoculation of *M. exigua* and the other with *M. paranaensis*, in a randomized block design, with eight replicates and plots consisting of a plant. Eighty-six progenies and control cultivars *Mundo Novo* IAC 379/19, *Catuai* IAC 99, *Paraíso* MG H 419-1 and IPR 100 were evaluated using the dry matter of shoots, fresh weight of extracted root, increase in height, increase in diameter, gall index, gall index and thickening, percentage of root system with galls, number of eggs and juveniles J2 per gram of root, reproduction factor and reduction on reproduction factor. Most progenies is resistant to *M. exigua*; the evaluated variables are genetically correlated; note scale based on presence of galls and/or thickening of the roots, represents well the nematodes reproduction of *M. exigua* and *M. paranaensis*; five progenies showed promising performance for resistance to *M. paranaensis*; there is possibility of selective gains for the decrease nematode population in the root system of progenies.

Keywords: Coffee. *Hemileia vastatrix*. Timor Hybrid. Root-knot nematode. Breeding. Resistance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Genealogia das progêneses F _{3:4} e testemunha suscetível avaliadas no município de Campos Altos – MG.....	44
Tabela 2	Produtividade média (PROD) em sacas de café beneficiado.ha ⁻¹ (safras 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015), área abaixo da curva de progresso de incidência de ferrugem (AACPIF) e área abaixo da curva de progresso de severidade da ferrugem (AACPSF) (safras 2011/2012 e 2012/2013) de genótipos de cafeeiros avaliados no município de Campos Altos – MG.....	49
Tabela 3	Médias de vigor vegetativo (safras 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015), porcentagem de frutos no estágio cereja, porcentagem de frutos chochos (safras 2011/2012, 2013/2014 e 2014/2015) e diâmetro de copa (safra 2013/2014) de genótipos de cafeeiros avaliados no município de Campos Altos – MG.....	51
Tabela 4	Porcentagem de grãos classificados em peneira 17 e acima (17 AC) e notas finais da análise sensorial de bebida segundo critérios da SCAA de genótipos de cafeeiros avaliados no município de Campos Altos – MG. Safras 2013/2014 e 2014/2015.....	53

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Índice de galhas (IG), fator de reprodução (FR), redução do fator de reprodução (RFR) e graus de resistência (GR) de genótipos de cafeeiros (86 progêneses oriundas de 10 famílias selecionadas em campo e 4 cultivares testemunhas) inoculados com <i>Meloidogyne exigua</i> em experimento de casa de vegetação, no município de Lavras – MG.....	70
Tabela 2	Frequência de plantas (%) segundo o fator de reprodução (FR) das progêneses para resistência ao nematoide <i>Meloidogyne exigua</i> , considerando as oito repetições de cada progênie e as progêneses dentro de cada família de cafeeiros inoculados com <i>M. exigua</i> , em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG.....	75

Tabela 3	Correlação genética entre índice de galhas (IG), número de ovos e J2 por grama de raiz (NOJGR), fator de reprodução (FR) e redução do fator de reprodução (RFR) de genótipos de cafeeiros inoculados com <i>Meloidogyne exigua</i> em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG.....	77
Tabela 4	Ganho estimado com a seleção das 36 melhores progênes e a resposta correlacionada para as características índice de galhas (IG), número de ovos e juvenis por grama de raiz (NOJGR) e fator de reprodução (FR) de cafeeiros inoculados com <i>Meloidogyne exigua</i> em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG.....	78
CAPÍTULO 4		
Tabela 1	Genealogia das progênes F _{3;4} selecionadas em área naturalmente infestada por <i>M. exigua</i> no município de Campos Altos – MG.....	97
Tabela 2	Correlação genética de Spearman entre incremento de altura (ALT), incremento de diâmetro (DIA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca de raiz extraída (MFRE), índice de galhas e engrossamento (IGE), índice de galhas (IG), porcentagem do sistema radicular com galhas (%SR), número de ovos e J2 por grama de raiz (NOJGR) e fator de reprodução (FR) de genótipos de cafeeiros inoculados com <i>Meloidogyne paranaensis</i> (experimento 1) e <i>Meloidogyne exigua</i> (experimento 2) em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG.....	100
Tabela 3	Índice de galhas e engrossamento (IGE), fator de reprodução (FR), número de ovos e J2 por grama de raiz (NOJGR), incremento de altura (ALT), incremento de diâmetro (DIA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria fresca de raiz extraída (MFRE), de genótipos de cafeeiros inoculados com <i>Meloidogyne paranaensis</i> em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG.....	104

Tabela 4 Ganho estimado com a seleção das 10 melhores progênies e a resposta correlacionada com a seleção indireta para as características índice de galhas e engrossamento (IGE), porcentagem do sistema radicular com galhas (%SR), número de ovos e J2 por grama de raiz (NOJGR) e fator de reprodução (FR) de cafeeiros inoculados com *Meloidogyne paranaensis* em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG..... 106

Figura 1 Regressão das médias fenotípicas geral e de progênies selecionadas ($r=0,934$) de número de ovos e juvenis por grama de raiz (NOJGR) nas duas populações avaliadas, antes e após a seleção. Ciclo 0: ganho realizado em campo (REZENDE et al., 2013); Ciclo 1: Ganho predito para próxima geração; Ciclo 2: Ganho realizado em casa de vegetação; Ciclo 3: Ganho predito para próxima geração..... 82

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1.....	
1	INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	O agronegócio café.....	16
2.2	Aspectos do parasitismo de <i>Meloidogyne</i> spp. no cafeeiro.....	17
2.3	Melhoramento genético do cafeeiro no Brasil.....	20
2.3.1	Germoplasma Híbrido de Timor.....	21
2.3.2	Resistência genética a <i>Meloidogyne</i> spp.....	24
2.3.2.1	Estratégias no melhoramento para resistência a <i>Meloidogyne</i> spp.....	26
	REFERÊNCIAS.....	29
	CAPÍTULO 2 Caracterização agronômica e reação à ferrugem de progênies de cafeeiro resistentes a <i>Meloidogyne exigua</i>.....	39
1	INTRODUÇÃO.....	42
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4	CONCLUSÕES.....	55
	REFERÊNCIAS.....	56
	CAPÍTULO 3 Progressos genéticos e reação de cafeeiros arábica a <i>Meloidogyne exigua</i>.....	62
1	INTRODUÇÃO.....	65
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	67
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
4	CONCLUSÕES.....	83
	REFERÊNCIAS.....	84
	CAPÍTULO 4 Parâmetros populacionais, correlações entre caracteres e reação de progênies de <i>Coffea arabica</i> a <i>Meloidogyne</i> spp.....	90
1	INTRODUÇÃO.....	93
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	96
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	99
4	CONCLUSÕES.....	110
	REFERÊNCIAS.....	111

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cafeicultura é uma das atividades mais importantes no agronegócio mundial. Como maior produtor, maior exportador e segundo maior consumidor de café do mundo, o Brasil ocupa uma posição de destaque neste cenário. O agronegócio café tem importante papel socioeconômico no desenvolvimento do país, pois além de gerar milhões de empregos diretos e indiretos, é responsável por grande parte da geração de divisas por meio da exportação. Minas Gerais é o principal estado produtor, sendo responsável por aproximadamente 50% de todo o café produzido no Brasil. A adoção de técnicas de manejo direcionadas para a sustentabilidade da cafeicultura, principalmente a de montanha, tem proporcionado ganhos em produtividade, contribuindo de maneira significativa para o desenvolvimento da cafeicultura mineira em todas as regiões produtoras do estado.

A ferrugem alaranjada do cafeeiro causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. e os nematoides do gênero *Meloidogyne* constituem um dos principais problemas fitossanitários do cafeeiro na atualidade, causando sérios prejuízos econômicos ao cafeicultor. Como grande parte do parque cafeeiro nacional é composta por cultivares suscetíveis a esses patógenos, esse problema se torna ainda mais alarmante.

A resistência genética é considerada uma das medidas mais eficientes, ambientalmente seguras e economicamente viáveis no manejo de pragas e doenças de plantas. Assim, a busca por cultivares resistentes à ferrugem e nematoides tem sido uma das prioridades do melhoramento genético do cafeeiro, principalmente para *Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887, e *Meloidogyne paranaensis* (CARNEIRO; CARNEIRO; ARANTES, 1996).

O Híbrido de Timor (HDT), provável híbrido natural entre *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner constitui importante fonte de diversidade genética para o desenvolvimento de novas cultivares. O cruzamento de cultivares comerciais de *C. arabica* com populações de HDT tem gerado progênies e cultivares muito promissoras, aliando altas produtividades à resistência a diversos patógenos que atacam o cafeeiro, inclusive a ferrugem e os nematoides das galhas. No entanto, a falta de informações sobre o comportamento agrônomico e reação a patógenos de novas cultivares vem sendo um dos fatores limitantes na adoção desta tecnologia por parte de técnicos e produtores.

Há uma concentração de esforços no desenvolvimento e manutenção de cultivares resistentes às pragas e doenças que atacam o cafeeiro. Sabe-se que o avanço nos trabalhos é dificultado por se tratar de cultura perene e principalmente pelo período de tempo demandado para os testes de resistência, sobretudo em condições de campo. Pesquisas para obtenção de cultivares com resistência múltipla, que unem avaliações em casa de vegetação e campo, têm sido escassas nos programas de melhoramento genético do cafeeiro. Dessa forma, estudos como este podem contribuir de maneira significativa para o avanço do melhoramento genético e, conseqüentemente, para a sustentabilidade da cafeicultura no Brasil.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho gerar informações de características agrônomicas e reação à ferrugem de progênies de cafeeiro $F_{3,4}$, bem como verificar correlações genéticas entre caracteres, estimar parâmetros e progressos genéticos e caracterizar a reação de progênies $F_{4,5}$ ao parasitismo por *M. paranaensis* e *M. exigua*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O agronegócio café

A cafeicultura brasileira ocupa posição de destaque no mercado internacional. Com uma fatia de aproximadamente 35% da produção mundial, o Brasil é o maior produtor, maior exportador e segundo maior consumidor de café do mundo (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2014).

O parque cafeeiro brasileiro (*C. arabica* e *C. canephora*) é composto por cerca de 6,5 bilhões de cafeeiros plantados em aproximadamente 1,9 milhões de hectares, com uma produção total de 45,34 milhões de sacas de 60 Kg de café beneficiado, na safra 2014/2015. Essa produção está concentrada basicamente em seis estados: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná, os quais são responsáveis por aproximadamente 98% de toda a produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015).

O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café do País. Na safra 2014/2015, a produção do estado foi de 22,64 milhões de sacas de café beneficiado, correspondendo à metade de todo o café produzido no Brasil (CONAB, 2015). Distribuída em quatro regiões principais: sul de Minas (sul/sudoeste), Matas de Minas (Zona da Mata/Rio Doce), Cerrados de Minas (Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba) e Chapadas de Minas (Vale do Jequitinhonha/Mucuri) (BARBOSA et al., 2009), a área destinada à produção de café no estado compreende 1,2 milhão de hectares, distribuídos em 587 municípios e gera aproximadamente 800 mil empregos temporários e três milhões de empregos diretos e indiretos, sendo este, um dos principais produtos da economia mineira (CARVALHO; PEREIRA, 2009).

Ganhos em produtividade têm sido observados ao longo dos anos nas lavouras cafeeiras de Minas Gerais, pela adoção de técnicas de manejo

direcionadas para a sustentabilidade da cafeicultura, principalmente a de montanha. O desenvolvimento de tecnologias voltadas para a cultura do café vem garantindo o desenvolvimento da cafeicultura mineira em todas as regiões produtoras do estado.

2.2 Aspectos do parasitismo de *Meloidogyne* spp. no cafeeiro

Os fitonematoides vêm se tornando uma das maiores ameaças à cafeicultura mundial. Diversas espécies desse patógeno, pertencentes a vários gêneros, têm sido encontradas associadas às raízes de cafeeiros no Brasil e em outros países produtores, sendo as espécies pertencentes ao gênero *Meloidogyne* as mais prejudiciais (CAMPOS; VILLAIN, 2005; GONÇALVES; SILVAROLLA, 2007). Das 97 espécies descritas desse gênero, 17 podem parasitar o cafeeiro (CARNEIRO; COFCEWICZ, 2008; HUNT; HANDOO, 2009).

Pertencentes à ordem Tylenchida, os nematoides do gênero *Meloidogyne*, também conhecidos como nematoides das galhas, vivem no solo e são endoparasitas obrigatórios e sedentários das raízes das plantas. Para exercerem uma relação de parasitismo estável com a planta hospedeira abrigam em sua extremidade anterior uma cavidade denominada estilete, usada para injetar secreções produzidas nas glândulas do esôfago e retirar nutrientes das células radiculares infectadas (ABAD et al., 2003; CASTAGNONE-SERENO, 2006). Segundo Salgado e Rezende (2010), o modo de parasitismo, cuja alimentação altera o metabolismo das células da raiz induz a formação de células gigantes (células nutridoras). Essas células funcionam como um reservatório de nutrientes desviados da planta e são essenciais para a alimentação e desenvolvimento do nematoide.

No Brasil, as espécies mais prejudiciais são *M. exigua*, pela ampla distribuição geográfica, *M. paranaensis* e *Meloidogyne incognita* (Kofoid &

White) Chitwood, 1949, pela intensidade dos danos causados (CAMPOS; VILLAIN, 2005; GONÇALVES et al., 2004). *M. exigua* é a espécie mais disseminada, predominando em todos os principais estados produtores. Campos e Melles (1987) detectaram sua presença em 31% das amostras de 28 municípios dos Campos das Vertentes e do sul de Minas Gerais, enquanto que Souza, Maximiniano e Campos (1999) encontraram o patógeno em 45% das amostras de solo e raízes coletadas em diversos cafezais de Minas Gerais. Castro et al. (2008), realizando um levantamento das espécies de fitonematoides presentes nas principais regiões produtoras do sul de Minas Gerais, detectaram a ocorrência de *M. exigua* em aproximadamente 95% dos 61 municípios amostrados e em 24% das amostras analisadas.

As plantas parasitadas por *M. exigua* apresentam galhas típicas arredondadas localizadas principalmente nas radículas e raramente exibem destruição do sistema radicular. No entanto, esse nematoide pode provocar alterações no estado nutricional do cafeeiro, decorrente da deficiente absorção e translocação de água e nutrientes, acarretando em queda na produtividade (BARBOSA et al., 2004; BARBOSA; SOUZA; VIEIRA, 2010; REZENDE et al., 2013). Barbosa et al. (2004) relatam que em cafeeiros com até cinco anos de idade, as perdas variam de 13% a 30%, em decorrência dos níveis populacionais do nematoide no solo. Já nas lavouras com mais de cinco anos as perdas são ainda maiores, com queda na produtividade de até 45%, na presença de *M. exigua* a partir de três juvenis do segundo estágio (J2)/100 cm³ de solo. Rezende et al. (2013) observaram redução de 23% na produtividade média de sete cultivares suscetíveis, algumas das quais amplamente cultivadas nas regiões cafeeiras infestadas por *M. exigua*, comparada à média da produtividade das progênies resistentes.

Outro nematoide das galhas que vem prejudicando os cafezais brasileiros é *M. paranaensis*. Durante muito tempo identificado incorretamente

como *M. incognita*, essa espécie foi descrita em cafezais no Brasil em 1996, juntando-se ao grupo dos fitonematoides mais importantes no país (CARNEIRO; CARNEIRO; ABRANTES, 1996). *Meloidogyne paranaensis* já foi relatado em diversos Estados produtores de café do Brasil, como Minas Gerais (CASTRO; NAVES; CAMPOS, 2003), Espírito Santo (BARROS et al., 2011), São Paulo (CAMPOS; VILLAIN, 2005), Paraná (KRZYZANOWSKI et al., 2001) e Goiás (SILVA; OLIVEIRA; ZAMBOLIM, 2009). Em Minas Gerais, tem-se observado um aumento na ocorrência desse nematoide. Nos últimos anos foi detectada a presença de *M. paranaensis* em lavouras das regiões do Alto Paranaíba (CASTRO; NAVES; CAMPOS, 2003), sul de Minas (CASTRO; CAMPOS, 2004), município de Piumhi (CASTRO et al., 2008) e recentemente em mais dois município do sul de Minas, Alpinópolis e Coqueiral (SOUZA et al., 2014).

Meloidogyne paranaensis é uma das espécies formadoras de galhas mais danosas para o café, devido à alta agressividade às raízes, alta persistência no solo e grande número de hospedeiros. Em condições de campo, esses nematoides danificam drasticamente a integridade das raízes, provocando escamações em sua superfície, com aspecto de cortiça, descascamento, rachaduras e pontos de lesões necróticas (CARNEIRO et al., 2008; SALGADO; CARNEIRO; PINHO, 2011). A destruição do sistema radicular prejudica a absorção de água e nutrientes pela planta, causando sintomas de desnutrição na parte aérea, redução no crescimento, queda de produtividade e em casos mais severos, morte das plantas (BARROS et al., 2011; CAMPOS; VILLAIN, 2005).

A erradicação de nematoides de uma lavoura cafeeira é praticamente impossível, assim, o ideal é evitar sua entrada na área cultivada (SALGADO; CARNEIRO; PINHO, 2011).

O cafeeiro, por se tratar de cultura perene, tem elevado custo de implantação da lavoura, portanto alguns métodos comumente aplicados no

manejo de fitonematoides em outras culturas, tais como alqueive e rotação de cultura, são dificultados. O controle químico com nematicidas, além de oneroso, representa um risco à segurança humana e ambiental (ALPIZAR; ETIENNE; BERTRAND, 2007).

A enxertia hipocotiledonar, tendo como porta-enxertos cultivares de *C. canephora* resistentes aos nematoides, permite a utilização pelo cafeicultor das fontes de resistência em curto prazo, principalmente para *M. paranaensis* e *M. incognita* (GONÇALVES; SILVAROLLA; LIMA, 1998; SERA et al., 2006). No entanto, as mudas enxertadas apresentam algumas desvantagens como segregação para suscetibilidade, quebra do “cavaleiro” na região da enxertia, maior porcentagem de replantio (15-20%), maiores custos das mudas, entre outras (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2007). Dessa forma, a utilização de cultivares resistentes tem sido considerada uma das medidas mais eficientes, ambientalmente seguras e economicamente viáveis no manejo de fitonematoides (ALPIZAR; ETIENNE; BERTRAND, 2007; BOISSEAU et al., 2009).

Diante do exposto, o melhoramento genético do cafeeiro para resistência a *Meloidogyne* spp. é uma das prioridades nos países produtores de café (ALBUQUERQUE et al., 2010).

2.3 Melhoramento genético do cafeeiro no Brasil

A importância do melhoramento genético do cafeeiro remonta desde a introdução do café no país, no ano de 1727, em que, mesmo de forma empírica, já contribuía significativamente para o sucesso da atividade. No entanto, foi a partir de 1933, com a criação da Seção de Genética do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, que os ganhos com a seleção começaram a ser mais expressivos, principalmente em relação à produtividade, chegando a um acréscimo de 395% da cultivar Mundo Novo em relação à variedade Typica, introduzida inicialmente (CARVALHO, 1981, 1985).

A partir da década de 70, outras instituições de ensino e pesquisa como a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Fundação PROCAFÉ/MAPA, que deu sequência aos trabalhos do Instituto Brasileiro do Café (IBC), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER) somaram-se ao IAC, num trabalho integrado e cooperativo (PEREIRA et al., 2010), colocando o Brasil em posição de destaque, como o país com maior número de contribuições ao melhoramento genético do cafeeiro.

O objetivo final de qualquer programa de melhoramento é a obtenção de cultivares que superem com vantagens as pré-existentes. Assim, ter vantagens adicionais só é possível se a nova cultivar reunir, simultaneamente, uma série de fenótipos favoráveis para caracteres de interesse (RAMALHO et al., 2012). Por isso, atualmente, os trabalhos de melhoramento genético do cafeeiro, visam, além de altas produtividades, outras características desejáveis, como seleção de cafeeiros com maturação mais uniforme, baixa porcentagem de grãos chochos, qualidade superior de bebida, alta peneira, elevado vigor vegetativo e, principalmente resistência aos principais patógenos que parasitam o cafeeiro.

2.3.1 Germoplasma Híbrido de Timor

Admite-se que as populações de Híbrido de Timor (HDT) tenham sua origem em uma única planta encontrada numa plantação da cultivar *Typica* na Ilha de Timor, em 1917/1918 e provavelmente originou-se de uma hibridação natural entre *C. arabica* e *C. canephora*, em que um gameta não reduzido de um cafeeiro da espécie *C. canephora* tenha combinado com outro gameta normal da espécie *C. arabica* (BETTENCOURT, 1973; RODRIGUES JÚNIOR; GOLÇALVES; VÁRZEA, 2004).

Em meados da década de 70, populações de HDT foram introduzidas na UFV, oriundas de seleções realizadas pelo Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC) em Portugal, Instituto Interamericano de Ciências Agrárias (IICA), na Costa Rica, Centro Nacional de Investigação do Café (CENICAFE), na Colômbia, Instituto de Investigação Agronômica de Angola (IAA) e Estação Regional de Uige (ERU), do Instituto de Café da Angola (PEREIRA et al., 2010).

O HDT tem sido bastante valioso nos programas de melhoramento genético, como fonte de resistência a várias pragas e doenças do cafeeiro, apresentando grande variabilidade genética, com genótipos portadores de genes de resistência à maioria das raças do fungo *H.vastatrix*, que causa a ferrugem do cafeeiro; aos nematoides do gênero *Meloidogyne*; à antracnose dos frutos, causada por *Colletotrichum kahawae* Waller & Bridge; à bacteriose causada por *Pseudomonas syringae* pv. *garcae* e, possivelmente, a outros patógenos. (CAPUCHO et al., 2009; LASHERMES et al., 2000; PEREIRA et al., 2010).

Por apresentar características muito semelhantes à espécie *C. arabica*, o HDT tornou-se extremamente importante para os melhoristas de café, pois além da resistência a diversos patógenos, também apresenta características agronômicas desejáveis (CARVALHO, 2014). O cruzamento de cultivares comerciais de *C. arabica* com populações de HDT tem sido muito utilizado nos programas de melhoramento, gerando progênies e cultivares promissoras.

Dos cruzamentos entre Villa Sarchi e HDT (Sarchimor) originaram, por exemplo, a cultivar IAPAR-59, a qual tem se destacado no estado do Paraná, pela precocidade de produção, uniformidade de maturação, porte baixo e elevada resistência à ferrugem e a *M. exigua* (PEREIRA et al., 2010). Segundo Fazuoli et al. (2006), a cultivar IAC 125 RN, oriunda do cruzamento do HDT CIFC 832/2 x Villa Sarchi, mostrou-se resistente a *M. exigua*. Mistro et al. (2007),

também observaram resistência à ferrugem do cafeeiro, boas características agronômicas e alta variabilidade genética em Sarchimores.

Miranda, Perecin e Pereira (2005) e Pereira et al. (2001), avaliando progênies F_4 e F_5 , respectivamente, resultantes do cruzamento entre Catuaí Amarelo e HDT, verificaram nesses materiais genéticos potencial para a obtenção de cultivares de porte baixo e resistentes à ferrugem, com alta produtividade e estabilidade de produção. Do mesmo modo, Bonomo et al. (2004), avaliando o comportamento de 28 progênies F_3 de *C. arabica* descendentes de cruzamentos das cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo com o HDT, concluíram que as progênies avaliadas apresentaram média de produção de grãos superior à testemunha (Catuaí Vermelho IAC 15), e grande variabilidade genética, sugerindo a possibilidade de se obter cultivares superiores. Observaram também que aquelas progênies apresentaram resistência às raças fisiológicas do agente causador da ferrugem presentes na região do experimento (Alto Paranaíba-MG). A progênie 505-9-2 destacou-se como produtiva, vigorosa e de porte alto, enquanto as progênies 514-7-10 e 514-7-6, além de produtivas e vigorosas apresentaram porte baixo semelhante à cultivar Catuaí Vermelho IAC 15.

Carvalho et al. (2008) e Rezende et al. (2014), observaram superioridade de progênies derivadas de HDT com cultivares do grupo Catuaí em relação à diversas cultivares comumente utilizadas pelos cafeicultores do Brasil. Rezende et al. (2014), concluíram que as progênies 514-7-4-C130, 493-1-2-C134 e 518-2-10-C408 foram as mais produtivas ao longo dos anos avaliados, com destaque para a progênie 493-1-2-C134, que além de alta produtividade, mostrou-se promissora para todas as características analisadas.

Mesmo sendo suscetíveis à ferrugem e aos nematoides que parasitam os cafeeiros, cultivares do grupo Catuaí são muito utilizadas em programas de

melhoramento por apresentarem elevado vigor vegetativo, porte baixo, alta produtividade e excelente qualidade de bebida. Dessa forma, aliando essas características com as resistências presentes no HDT, podem-se obter progênies agronomicamente superiores e resistentes a esses patógenos. Nesse contexto, o programa de melhoramento genético do cafeeiro desenvolvido pela EPAMIG e instituições parceiras tem obtido sucesso em cruzamentos de HDT diretamente com cultivares do grupo Catuaí. Progênies avançadas desses materiais genéticos já foram lançadas por esse programa com os nomes comerciais de Araponga MG1, Catiguá MG1, Catiguá MG2, Catiguá MG3, Pau Brasil MG1, Paraíso MG H 419-1, Sacramento MG1 (PEREIRA et al., 2010) e MGS Paraíso 2.

2.3.2 Resistência genética a *Meloidogyne* spp.

Entre as principais medidas de manejo de fitonematoides, o uso de plantas resistentes é a forma mais adequada e eficaz no controle desses patógenos.

Os mecanismos de defesa da planta resistente são expressos de modo a interferir nas diversas fases do ciclo de vida e do parasitismo do nematoide, restringindo ou prevenindo a sua multiplicação. De maneira geral, nas plantas que apresentam resistência às espécies do gênero *Meloidogyne*, a penetração dos juvenis ocorre da mesma forma que nas suscetíveis, no entanto, seu desenvolvimento ou a reprodução são prejudicados (ROBERTS, 2002). Salgado, Resende e Campos (2005) verificaram que o processo de defesa nas cultivares Apoatã IAC 2258 (*C. canephora*) e Iapar 59 (*C. arabica*) a *M. exigua* é desencadeado após a penetração dos juvenis em suas raízes (resistência do tipo pós-infeccional), ocorrendo possivelmente uma interação entre substâncias produzidas pelo nematoide e pela célula vegetal desde o início do parasitismo com consequente indução da expressão de genes de defesa.

Esse mecanismo de resistência pós-infeccional também foi observado por Anthony et al. (2005) em raízes do cafeeiro Iapar 59 e por Rodrigues et al. (2000) em populações de Catimor, nas quais houve paralisação do desenvolvimento dos nematoides ainda no segundo estágio de desenvolvimento após inoculação com *M. exigua*. Nessas circunstâncias, segundo Oliveira (2006), as células das plantas parasitadas pelos nematoides podem exibir um processo de morte celular programada, conhecido como reação de hipersensibilidade (HR), que impede o estabelecimento ou desenvolvimento do nematoide na planta.

Fontes de resistência encontradas em outras espécies de café estão sendo utilizadas por meio de hibridações interespecíficas, visando incorporar caracteres agrônômicos importantes, bem como resistência a doenças e nematoides (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2007; RIBEIRO et al., 2005). Trabalhos relatados por Salgado, Resende e Campos (2005) demonstraram que a resistência a *M. exigua* é de ocorrência comum em introduções de várias espécies do gênero *Coffea*, inclusive *C. arabica* oriundas da Etiópia, germoplasma de Icatu, Catimor e Híbrido de Timor.

Vários autores verificaram resistência a *M. exigua* em progênies de *C. arabica* derivadas de HDT, similar à observada em *C. canephora* - padrão de resistência (BERTRAND; ANTHONY; LASHERMES, 2001; PEREIRA et al., 2012; RIBEIRO et al., 2005; SALGADO; RESENDE; CAMPOS, 2005). Em condições de campo, Rezende et al. (2013) verificaram progênies derivadas de HDT com Catuaí resistentes a *M. exigua*, produtivas e com outras características agrônômicas de interesse.

Resistência a *M. paranaensis* vem sendo encontrada em *C. canephora* (GONÇALVES; LIMA; FAZUOLI, 1988; SERA et al., 2004a, 2006), *Coffea congensis* Froehner (GONÇALVES; LIMA; FAZUOLI, 1988), em cafeeiros silvestres de *C. arabica* oriundos da Etiópia (BOISSEAU et al., 2009) e segundo

Mata et al. (2002) e Sera et al. (2004b), tem sido constatado também em algumas plantas do germoplasma Icatu, que é um híbrido artificial entre *C. arabica* e *C. canephora*. Entretanto, ainda são escassas as fontes de resistência identificadas para esses nematoides em *C. arabica*.

Mata et al. (2000) identificaram em área infestada por *M. paranaensis* um genótipo de Catucaí (Iapar Vitrine 83), o qual deu origem à cultivar IPR-100, com 100% das plantas resistentes a *M. paranaensis* e *M. incognita* raça 2. Posteriormente, Sera et al. (2007) selecionaram progênies do mesmo germoplasma, resistentes a *M. paranaensis*, mas com maior tamanho de frutos. Ito et al. (2008), verificaram que dez progênies da cultivar IPR 106 e quatro de IPR 100 foram mais resistentes aos nematoides *M. paranaensis* e *M. incognita* raça 2 do que o padrão suscetível Mundo Novo IAC 376-4.

Escassos são os trabalhos que relatam resistência de progênies derivadas do HDT a *M. paranaensis*. Campos e Villain (2005) comentam sobre resistência moderada encontrada em progênies de Sarchimor a esse nematoide. Recentemente, Salgado, Rezende e Nunes (2014), nos estudos em área infestada por *M. paranaensis*, apontam cafeeiros da população de HDT UFV 408-01 como promissores à resistência a esse patógeno.

2.3.2.1 Estratégias no melhoramento para resistência a *Meloidogyne* spp.

Em programas de melhoramento genético é de extrema importância o conhecimento da herança dos caracteres estudados, uma vez que este fator tem influência direta na condução das populações segregantes. Noir et al. (2003) sugerem que a resistência a *M. exigua* é determinada por um gene maior oriundo de *C. canephora*, designado no loco *Mex-1*. Posteriormente, Alpizar, Etienne e Bertrand (2007) concluíram que esse gene (*Mex-1*) pode apresentar dominância incompleta, pois permitiu a penetração do nematoide em híbridos F₁, mas inibiu a sua reprodução. Para outras espécies de

Meloidogyne, acredita-se também em resistência monogênica ou talvez devido a dois genes, com provável presença de genes menores controlando esse caráter (ANZUETO et al., 1995).

Apesar dos relatos encontrados na literatura indicarem que a resistência a nematoides das galhas em café seja controlada por um ou poucos genes em termos de segregação observada em função da reprodução, acredita-se que diversas outras regiões genômicas possam produzir transcritos que afetem a resistência global da planta (GHEISEN; MITCHUM, 2011). Devido à complexidade da interação planta-nematoide, que se inicia pela atração do juvenil para a raiz até o estabelecimento do sítio de alimentação e posterior reprodução (HUSSEY; WILLIAMSON, 1998) é difícil atribuir controle desse processo parasítico a apenas um loco gênico (WILLIAMSON; GLEASON 2003).

Sabe-se que os nematoides possuem capacidade de alterar o fenótipo de avirulência por variações genéticas e epigenéticas (QUENOUILLE et al., 2013; CASTAGNONE-SERENO et al., 2013). Muniz et al. (2009) detectaram quebra de resistência de cultivares de café portadores do gene *Mex-1* em uma população de *M. exigua* altamente virulenta oriunda de Bom Jesus de Itabapoana, RJ. Vários autores também têm observado reação diferenciada de progênies derivadas de HDT a populações de *M. exigua* em diferentes regiões (BARBOSA et al., 2007; GONÇALVES; PEREIRA, 1998; RIBEIRO et al., 2005), sugerindo a existência de variabilidade genética entre populações de *M. exigua* e dentro das progênies. Foi provado, em experimentos utilizando linhas isogênicas de *M. incognita*, que a resistência do gene *Mi* no tomateiro foi superada em um intervalo de tempo entre 2 e 5 gerações (CASTAGNONE-SERENO et al., 1994). Dessa forma, a busca por técnicas como seleção recorrente, piramidação e rotação de genes e multilinhas são estratégias que podem atenuar ou até mesmo prevenir a superação da resistência das cultivares.

No melhoramento para a resistência avaliam-se progênies em campo e em casa de vegetação. Os experimentos são delineados com o principal objetivo de se quantificar o valor genético dos indivíduos que serão selecionados. Para existir progresso genético, expresso na forma da alteração da média fenotípica de determinada característica, é necessária a existência de variação herdável. Esta variação é quantificada pela herdabilidade, que nos informa sobre as possibilidades de ganho genético e auxilia a traçar as decisões na prática do melhoramento. Salgado, Rezende e Nunes (2014) estimaram a herdabilidade para caracteres relacionados à produção e nematológicos em progênies avaliadas em campo infestado. Os autores discutem que há possibilidades de ganhos expressivos nas variáveis analisadas em função dos valores observados para a herdabilidade.

Outra estimativa importante no melhoramento de plantas é a correlação genética existente entre as características-alvo da seleção. Ela advém, principalmente, da ligação gênica e da pleiotropia (CHEN; LUBBERSTEDT, 2010) e seu reconhecimento é necessário principalmente por dois motivos, o primeiro deles é a dificuldade de selecionar caracteres negativamente correlacionados, o que pode impedir a formação do fenótipo ideal da planta. Em segundo lugar, a correlação genética é útil por razões de ordem prática. Existem algumas variáveis que são mais difíceis de ser mensuradas ao se avaliar as características. Portanto, caso algum caráter possua uma variável facilmente obtida, positivamente correlacionada com outra de difícil medição, o ganho correlacionado pode ser alcançado. Essas informações possibilitam a economia de recursos e/ou também a avaliação de maior número de indivíduos em fases específicas dos programas de melhoramento (RAMALHO et al., 2012; YAN; FREGÉAU-REID, 2008).

REFERÊNCIAS

ABAD, P. et al. Root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. **Molecular Plant Pathology**, Bristol, v. 4, n. 4, p. 217-224, Aug. 2003.

ALBUQUERQUE, E. V. S. et al. Resistance to *Meloidogyne incognita* express a hypersensitive-like response in *Coffea arabica*. **European Journal Plant Pathology**, London, v. 127, p. 365-373, 2010.

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

ANTHONY, F. et al. Hypersensitive-like reaction conferred by de Mex-1 resistance gene against *Meloidogyne exigua* in coffee. **Plant Pathology**, Honolulu, v. 54, n. 3, p. 476-482, June 2005.

ANZUETO, F. et al. Estudio de la resistencia a *Meloidogyne* spp. em descendencias de *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO SOBRE CAFICULTURA LATINOAMERICANA, 16., 1993, Manágua. **Memórias... Tegucigalpa: IICA/CONCAFE**, 1995. v. 1, p. 399-411.

BARBOSA, D. H. S. G. et al. Desenvolvimento vegetativo e reação de genótipos de *Coffea* spp. a uma população de *Meloidogyne exigua* virulenta a cultivares resistentes. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 1-6, 2007.

BARBOSA, D. H. S. G. et al. Field estimates of coffee yield losses and damage threshold by *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 49-54, June 2004.

BARBOSA, D. H. S. G.; SOUZA, R. M.; VIEIRA, H. D. Field assessment of coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars in *Meloidogyne exigua*-infested or-

free fields in Rio de Janeiro State, Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 29, n. 2, p. 175-177, 2010.

BARBOSA, J. N. et al. Distribuição espacial de cafés do estado de Minas Gerais e sua relação com a qualidade. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2009. 1 CD ROM.

BARROS, A. F. et al. *Meloidogyne paranaensis* attacking coffee trees in Espírito Santo State, Brazil. **Australasian Plant Disease Notes**, Cham, v. 6, n. 1, p. 43-45, 2011.

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.

BETTENCOURT, A. J. **Considerações sobre o “Híbrido de Timor”**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1973. 20 p. (Circular, 23).

BOISSEAU, M. et al. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 38-41, 2009.

BONOMO, P. et al. Avaliação de progênies obtidas de cruzamentos de descendentes do Híbrido de Timor com as cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 207-219, 2004.

CAMPOS, V. P.; MELLES, C. C. A. Ocorrência e distribuição de espécies de *Meloidogyne* em cafezais dos campos das vertentes e do sul de Minas. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 233-241, abr. 1987.

CAMPOS, V. P.; VILLAIN, L. Nematode parasites of coffee, cocoa and tea. In: LUC, M.; SIKORA, R. A, BRIDGE, J. (Ed.) **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford: CAB International, 2005 . p. 529-579.

CAPUCHO, A. S. et al. Herança da resistência do Híbrido de Timor UFV 443-03 à ferrugem-do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 276-282, mar. 2009.

CARNEIRO, R. M. D. G.; CARNEIRO, R. G.; ABRANTES, I. M. O. *Meloidogyne paranaensis* n.sp., a root-knot nematode parasitizing coffee in Brazil. **Journal of Nematology**, College Park, v. 28, p. 177-189, 1996.

CARNEIRO, R. M. D. G.; COFCEWICZ, E. T. The taxonomy of *Meloidogyne* spp. from coffee. In: SOUZA, R. M. (Ed.). **Plant parasitic nematodes of coffee**. New York: APS, Springer, 2008. p. 87-122.

CARNEIRO, R. M. D. G. et al. Pathogenicity of *Meloidogyne* spp.(Tylenchida: Meloidogynidae) from Brazil and Central America on two genotypes of *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 309-312, 2008.

CARVALHO, A. Evolução nos cultivares de café. **O Agrônomo**, Campinas, v. 37, n. 1, p. 7-11, jan./abr. 1985.

CARVALHO, A. M. et al. Avaliação de progênies de cafeeiros obtidas do cruzamento entre 'Catuaí' e 'Híbrido de Timor'. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 249-253, 2008.

CARVALHO, A. Novas variedades mais produtivas. **Agricultura Hoje**, São Paulo, v. 6, n. 68, p. 32-34, mar. 1981.

CARVALHO, J. P. F. **Seleção de progênies de cafeeiro oriundas da hibridação de cultivares Catuaí com germoplasma Icatú e Híbrido de Timor**. 2014. 82 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CARVALHO, J. S.; PEREIRA, R. T. G. Implantação de um sistema público de certificação de propriedades cafeeiras: o caso do programa

certifica Minas Café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 35., 2009, Araxá. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2009. p. 333-334.

CASTAGNONE-SERENO, P. et al. Diversity and evolution of root-knot nematodes, genus *Meloidogyne*: New insights from the genomic era. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 51, p. 203-220, 2013.

CASTAGNONE-SERENO, P. et al. Genetic variation in *Meloidogyne incognita* virulence against the tomato *Mi* resistance gene: evidence from isofemale line selection studies. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 88, n. 6-7, p. 749-753, 1994.

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

CASTRO, J. M. C.; CAMPOS, V. C. Detecção de *Meloidogyne paranaensis* em cafeeiros do Sul de Minas Gerais. **Summa Phytopathologica**, Jaguariuna, v. 30, n. 4, p. 507, 2004.

CASTRO, J. M. C. et al. Levantamento de fitonematoides em cafezais do Sul de Minas Gerais. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 56-64, fev. 2008.

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

CHEN, Y.; LUBBERSTEDT, T. Molecular basis of trait correlations. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 15, n. 8, p. 454-461, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café safra 2015, primeiro levantamento, janeiro/2015.** Disponível em: <<http://www.conab.br>>. Acesso em: 5 jan. 2015.

FAZUOLI, L. C. et al. Tupi RN IAC 1669-13 a coffee cultivar resistant to *Hemileia vastatrix* and *Meloidogyne exigua* nematode. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 21., 2006, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier: ASIC, 2006. p. 143-151.

GHEYSEN, G.; MITCHUM, M. G. How nematodes manipulate plant development pathways for infection. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 14, n. 4, p. 415-421, 2011.

GONÇALVES, W. et al. Manejo de nematóides na cultura do cafeeiro. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO-CAFÉ, 10., 2004, Mococa. **Anais...** Mococa: Instituto Biológico, 2004. p. 48-66.

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

GONÇALVES, W.; PEREIRA, A. A. Resistência do cafeeiro a nematóides IV: reação de cafeeiros derivados do Híbrido de Timor a *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 39-50, 1998.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M. B. A luta contra a doença causada pelos nematoides parasitos do cafeeiro. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 54-57, 2007.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M. B.; LIMA, M. M. A. Estratégias visando a implementação do manejo integrado dos nematóides parasitos do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 193, n. 19, p. 36-47, 1998.

HUNT, D. J.; HANDOO, Z. A. Taxonomy, identification and principal species. In: PERRY, R. N.; MOENS, M.; STARR, J. L. (Ed.). **Root-Knot nematodes**. London: CABI, 2009. v. 1, p. 55-88.

HUSSEY, R. S.; WILLIAMSON, V. M. Physiological and molecular aspects of nematode parasitism. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAM, G. L. (Ed.). **Plant nematode interactions**. Madison: American Society of Agronomy, 1998. (Agronomy Series, 771).

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Relatório sobre o mercado de café**: dezembro de 2014. Disponível em: <<http://www.ico.org>>. Acesso em: 5 jan. 2015.

ITO, D. S. et al. Progênie de café com resistência aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* raça 2 de *Meloidogyne incognita*. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, p. 156-163, 2008.

KRZYZANOWSKI, A. A. et al. Levantamento de espécies e raças de *Meloidogyne* em cafeeiros no estado do Paraná In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 81.

LASHERMES, P. et al. Molecular analysis of introgressive breeding in coffee (*Coffea arabica* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 100, p. 139-146, 2000.

MATA, J. S. et al. Resistência de genótipos de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) de São Jorge do Patrocínio ao nematoide *Meloidogyne paranaensis*. **Scientific Journal**, São Paulo, v. 6, p. 34-36, 2002.

MATA, J. S. et al. Seleção para resistência ao nematoide *Meloidogyne paranaensis* EMN-95001: Iapar LN 94066 de “Catuaí x Icatú” em área altamente infestada. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2000. p. 515-518.

MIRANDA, J. M.; PERECIN, D.; PEREIRA, A. A. Produtividade e resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) de progênies F₅ de Catuaí Amarelo com o Híbrido de Timor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1195-1200, nov./dez. 2005.

MISTRO, J. C. et al. Estimates of genetic parameters in arabic coffee derived from the Timor hybrid. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 7, n. 2, p. 141-147, 2007.

MUNIZ, M. D. F. S. et al. Reaction of coffee genotypes to different populations of *Meloidogyne* spp.: detection of a naturally virulent M. exigua population. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 370-378, 2009.

NOIR, S. et al. Identification of a major gene (*Mex-1*) from *Coffea canephora* conferring resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica*. **Plant Pathology**, Honolulu, v. 52, n. 1, p. 97-103, Feb. 2003.

OLIVEIRA, D. S. **Patogenicidade de populações de *Meloidogyne incognita* provenientes de Minas Gerais e de São Paulo ao cafeeiro**. 2006. 75 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

PEREIRA, A. A. et al. Comportamento de progênies resultantes de cruzamentos de Catuaí Amarelo com Híbrido de Timor, na região de São Sebastião do Paraíso, Sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFES DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA, 2001. p. 1312-1318.

PEREIRA, A. A. et al. Cultivares: origem e suas características. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da (Ed.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. v. 1, p. 163-222.

PEREIRA, T. B. et al. Reação de genótipos de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a *Meloidogyne exigua* população Sul de Minas. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, p. 84-90, 2012.

QUENOUILLE, J. et al. Farther, slower, stronger: how the plant genetic background protects a major resistance gene from breakdown. **Molecular Plant Pathology**, Bristol, v. 14, n. 2, p. 109-118, 2013.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.
REZENDE, R. M. et al. Agronomic traits of coffee tree progenies from Timor Hybrid x Catuaí crossing. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 775-780, 2014.

REZENDE, R. M. et al. Resistance of *Coffea arabica* progenies in field conditions infested by *Meloidogyne exigua*. **Nematropica**, Brasenton, v. 43, n. 2, p. 233-240, 2013.

RIBEIRO, R. C. F. et al. Resistência de progênies de híbridos interespecíficos de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* a *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 11-16, 2005.

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

RODRIGUES, A. C. F. O. et al. Ultrastructural response of coffee roots to root-knot nematodes, *Meloidodyne exigua* and *Meloidogyne megadora*. **Nematropica**, Bradenton, v. 30, n. 2, p. 201-210, 2000.

RODRIGUES JÚNIOR, C. J.; GONÇALVES, M. M.; VÁRZEA, V. M. P. Importância do Híbrido de Timor para o território e para o melhoramento da cafeicultura mundial. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 27, n. 2, p. 203-213, 2004.

SALGADO, S. M. L.; CARNEIRO, R. M. D. G.; PINHO, R. S. C. Aspectos técnicos dos nematóides parasitas do cafeeiro. **Boletim Técnico**, Lavras, v. 98, p. 1-60, 2011.

SALGADO, S. M. L.; RESENDE, M. L. V.; CAMPOS, V. P. Reprodução de *Meloidogyne exigua* em cultivares de cafeeiros resistentes e suscetíveis. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 413-415, abr. 2005.

SALGADO, S. M. L.; REZENDE, J. C. Manejo de fitonematoides em cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Ed.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. v. 1, p. 757-804.

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**, Londrina, v. 14, p. 94-101, 2014

SERA, T. et al. 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*, São Paulo, v. 8, p.17, 2004a.

SERA, T. et al. Identificação de cafeeiros resistentes aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 2 e 1 em populações de Icatu (*Coffea arabica*). *Scientific Journal*, São Paulo, v. 8, p. 20, 2004b.

SERA, G. H. et al. Porta-enxertos de café robusta resistentes aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 1 e 2. **Semina**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 171-184, 2006.

SERA, G. H. et al. Progênies de *Coffea arabica* cv. IPR-100 resistentes ao nematoide *Meloidogyne paranaensis*. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 43-49, 2007.

SILVA, R. V.; OLIVEIRA, R. D. L; ZAMBOLIM, L. Primeiro relato da ocorrência de *Meloidogyne paranaensis* em Cafeeiro no Estado de Goiás. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 33, p. 187-190, 2009.

SOUZA, J. T.; MAXIMINIANO, C.; CAMPOS, V. P. Nematóides parasitos encontrados em cafeeiros em campo e em viveiros de mudas do Estado de Minas Gerais. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 180-183, 1999.

SOUZA, S. R. et al. **Ocorrência de *Meloidogyne paranaensis* em lavouras cafeeiras da Região Sul de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG-URESM, 2014. 2 p. (Circular Técnica, 191).

WILLIAMSON, V. M.; GLEASON, C. A. Plant nematode interactions. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 6, p. 327-333, 2003.

YAN, W.; FREGEAU-REID, J. Breeding line selection based on multiple traits. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 2, p. 417-423, 2008.

CAPÍTULO 2

**Caracterização agronômica e reação à ferrugem de progênies de cafeeiro
resistentes a *Meloidogyne exigua***

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho disponibilizar informações de características agronômicas e reação à ferrugem de progênies de cafeeiro resistentes a *M. exigua*. O experimento foi instalado em dezembro de 2000, na Fazenda Ouro Verde, situada no município de Campos Altos – MG. Foram avaliadas 10 progênies F_{3,4} oriundas do cruzamento entre seleções de Híbrido de timor provenientes do CIFC 2570 e cultivares do grupo Catuaí, previamente selecionadas como resistentes a *M. exigua*, e à cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 como testemunha. Utilizou-se delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, totalizando 33 parcelas constituídas de oito plantas cada. O espaçamento dos cafeeiros foi de 4,0 x 0,8 m, nas entrelinhas e entre plantas, respectivamente. Entre as safras 2011/2012 a 2014/2015 foram avaliadas as seguintes características: produtividade em sacas de café beneficiado. ha⁻¹, incidência e severidade da ferrugem, vigor vegetativo, porcentagem de frutos no estágio “cereja”, porcentagem de frutos chochos, diâmetro de copa, porcentagem de grãos peneira 17 e acima e análise sensorial de bebida. Para todas as características avaliadas, adotou-se significância de 5% de probabilidade, para o teste F, e detectando-se diferenças significativas, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott, também a 5% de probabilidade. As progênies H514-7-14-2, H514-7-4-5, H493-1-2-2, H514-7-16-3, H514-7-8-11, H518-2-10-1 e H514-5-2-4 são as mais produtivas; todas as progênies apresentam comportamento promissor para resistência à ferrugem do cafeeiro; todos os genótipos apresentam potencial para a produção de cafés especiais; a progênie H493-1-2-2 se destaca positivamente em todas as características agronômicas analisadas.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. *Hemileia vastatrix*. Híbrido de Timor. Melhoramento. Produtividade.

ABSTRACT

In this study aimed to provide information about agronomic characteristics and reaction to leaf rust of coffee tree progenies resistant to *M. exigua*. The field experiment was installed in December 2000, at *Ouro Verde* Farm, located in *Campos Altos, Minas Gerais* State, Brazil. Ten progenies of F_{3:4} were evaluated from Timor Hybrid selections (CIFC 2570) x *Catuai* group cultivars crossing, previously selected as resistant to *M. exigua* and the *Catuai Vermelho* IAC 99 cultivar as the control. It was used a randomized block design, with three replicates, totaling 33 plots consisting of eight plants each. The spacing of coffee trees was 4.0 x 0.8 m, interrows and between plants, respectively. Among the 2011/2012 to 2014/2015 crop seasons, the following characteristics were evaluated: productivity in conditioned coffee bags ha⁻¹, incidence and severity of leaf rust, vegetative vigor, percentage of fruits at the “cherry” stage, percentage of floating fruits, crown diameter, percentage of grains sieve 17 above and sensory analysis of drink. For all characteristics, it was adopted significance level of 5% of probability, for the F test, and detected significant differences, means were grouped by Scott-Knott test, also with 5% of probability. Progenies H514-7-14-2, H514-7-4-5, H493-1-2-2, H514-7-16-3, H514-7-8-11, H518-2-10-1 and H514-5-2-4 are the most productive; all progenies showed promising performance for resistance to coffee rust; all genotypes have potential to production of specialty coffees; progenie H493-1-2-2 stands out positively in all agronomic characteristics analyzed.

Keywords: *Coffea arabica*. *Hemileia vastatrix*. Timor Hybrid. Breeding. Productivity.

1 INTRODUÇÃO

Cultivares dos grupos Catuaí e Mundo Novo ainda representam a maior parte do parque cafeeiro da espécie *Coffea arabica* L. no Brasil (CARVALHO et al., 2009). Aliando alto potencial produtivo, elevado vigor vegetativo e excelente qualidade de bebida, essas cultivares têm apresentado ampla adaptabilidade e estabilidade fenotípica em diversas regiões cafeeiras do País (ANDRADE et al., 2013; BOTELHO et al., 2010a; FAZUOLI et al., 2005). No entanto, esses materiais genéticos são suscetíveis à ferrugem alaranjada do cafeeiro causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. e aos nematoides de galhas *Meloidogyne* spp. Atualmente, esses patógenos constituem os principais problemas fitossanitários do cafeeiro, causando sérios prejuízos econômicos ao cafeicultor (BARBOSA et al., 2004; BARBOSA; SOUZA; VIEIRA, 2010; REZENDE et al., 2013; SILVA et al., 2006).

A resistência genética é considerada uma das medidas mais eficientes, ambientalmente seguras e economicamente viáveis no manejo desses patógenos (ALPIZAR; ETIENNE; BERTRAND, 2007; BOISSEAU et al., 2009; CARVALHO et al., 2012). O Híbrido de Timor (HDT), provável híbrido natural entre *C. arabica* e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, constitui uma fonte de diversidade genética para o desenvolvimento de novas cultivares (RODRIGUES JÚNIOR et al., 2004), aliando resistência ao agente causal da ferrugem (CAPUCHO et al., 2009; COSTA et al., 2007) e ao nematoide das galhas (REZENDE et al., 2013; RIBEIRO et al., 2005).

Apesar da suscetibilidade às principais pragas e doenças que atacam o cafeeiro, cultivares do grupo Catuaí têm sido muito utilizadas em programas de melhoramento genético, por apresentarem características agronômicas desejáveis. Assim, o cruzamento dessas cultivares com o HDT tem se mostrado promissor, originando progênie agronomicamente superiores e resistentes a *H.*

vastatrix e *Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887 (CARVALHO et al., 2008; MIRANDA; PERECIN; PEREIRA, 2005; REZENDE et al., 2013, 2014).

O objetivo de qualquer programa de melhoramento é a obtenção de cultivares que superem com vantagens as pré-existentes. Assim, ter vantagens adicionais só é possível se a nova cultivar reunir, simultaneamente, uma série de fenótipos favoráveis para caracteres de interesse (RAMALHO et al., 2012). Por isso, atualmente, os trabalhos de melhoramento genético do cafeeiro, visam, além de altas produtividades, outras características desejáveis, como seleção de cafeeiros com maturação mais uniforme, baixa porcentagem de grãos chochos, qualidade superior de bebida, peneira alta, elevado vigor vegetativo e, principalmente, resistência múltipla aos principais patógenos que parasitam o cafeeiro.

Acredita-se que a falta de informações sobre o comportamento agrônomico de novas cultivares seja um dos fatores limitantes na adoção desta tecnologia por parte de técnicos e cafeicultores (CARVALHO et al., 2012). Dessa forma, objetivou-se com este trabalho disponibilizar informações de características agrônomicas e reação à ferrugem de progênies resistentes a *M. exigua* oriundas do cruzamento entre Híbrido de Timor e Catuaí.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda Ouro Verde, situada no município de Campos Altos, estado de Minas Gerais, Brasil, altitude de 1230 m, latitude de 19°41'47" S e longitude de 46°10'17" W em dezembro de 2000. A temperatura média anual é 17,6°C, com precipitação pluvial média anual de 1830 mm. O solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo Húmico, com textura argilosa e relevo plano, com infestação de *M. exigua* fenótipo E1 (Rm 1,5).

Foram avaliadas 10 progênies F_{3,4} oriundas do cruzamento entre cultivares do grupo Catuaí e seleções de Híbrido de Timor provenientes do CIFC 2570 e, previamente selecionadas por Rezende et al. (2013, 2014) como resistentes a *M. exigua*. Como testemunha de suscetibilidade foi utilizada a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 (Tabela 1).

Tabela 1 Genealogia das progênies F_{3,4} e testemunha suscetível avaliadas no município de Campos Altos – MG

Genótipos	Cruzamentos de origem
H436-1-4-2	CV IAC 99 x HDT UFV 442-42
H514-7-14-2	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10
H514-7-4-5	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10
H493-1-2-2	CV IAC 44 x HDT UFV 446-08
H518-2-6-1	CV IAC 141 x HDT UFV 442-34
H514-7-16-3	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10
H493-1-2-8	CV IAC 44 x HDT UFV 446-08
H514-7-8-11	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10
H518-2-10-1	CV IAC 141 x HDT UFV 442-34
H514-5-2-4	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10
Catuaí Vermelho IAC 99*	Mundo Novo x Caturra Amarelo

CA: Catuaí Amarelo; CV: Catuaí Vermelho; HDT: Híbrido de Timor.

*Cultivar utilizada como testemunha suscetível.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, totalizando 33 parcelas constituídas de oito plantas cada. O espaçamento dos

cafeeiros foi de 4,0 x 0,8 m, nas entrelinhas e entre plantas, respectivamente. A implantação e a condução das plantas seguiram as recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro na região. O manejo fitossanitário foi feito preventivamente ou curativamente por meio de produtos químicos, acompanhando a sazonalidade da ocorrência de pragas e de doenças, à exceção do controle químico da ferrugem e do nematoide, visando à identificação de progênies resistentes a estes patógenos.

A produção em litros de café no momento da colheita foi avaliada na parcela em quatro safras (2011/2012 a 2014/2015), sendo a colheita realizada no mês de julho de cada ano. Posteriormente, foi realizada a conversão da produção para produtividade em sacas de 60 kg de café beneficiado, ha^{-1} (PROD), por aproximação de valores, considerando um rendimento médio de 480 litros de café no momento da colheita para cada saca de 60 kg de café beneficiado (CARVALHO et al., 2009).

As avaliações da incidência e severidade da ferrugem foram realizadas mensalmente, nos meses de janeiro a agosto de cada ano (safras 2011/2012 e 2012/2013), coletando-se no terço médio de ambos os lados da planta, 10 folhas do 3º ou 4º par por planta, nas seis plantas centrais, totalizando 60 folhas por parcela. A incidência foi determinada em porcentagem, contando-se o número de folhas de café com pústulas esporuladas nas 60 folhas coletadas. A severidade foi avaliada pela escala diagramática adaptada por Cunha et al. (2001), atribuindo-se notas conforme uma escala arbitrária de 5 pontos, sendo a nota 1 conferida às folhas com menor área ocupada pelas lesões (<3%) e a nota 5, às folhas com maior área ocupada pelas lesões (25 a 50%). Os percentuais de incidência da doença foram transformados em área abaixo da curva de progresso da incidência e severidade da ferrugem (AACPIF, AACPSF) de acordo com critérios estabelecidos por Shaner e Finney (1977).

Nas safras 2011/2012 a 2014/2015 o vigor vegetativo dos cafeeiros foi avaliado na parcela atribuindo-se notas de acordo com escala arbitrária de 10 pontos, sendo a nota 1 correspondente às piores plantas, com reduzido vigor vegetativo e acentuado sintoma de depauperamento, e 10, às plantas com excelente vigor, mais enfolhadas e com acentuado crescimento vegetativo dos ramos produtivos (CARVALHO; MÔNACO; FAZUOLI, 1979).

A porcentagem de frutos no estágio “cereja” foi avaliada por meio da contagem em uma amostra representativa de 300 mL de frutos por parcela. Para porcentagem de frutos chochos utilizou-se a metodologia proposta por Antunes Filho e Carvalho (1954), em que se coloca 100 frutos cereja em água, sendo considerados chochos aqueles que permaneceram na superfície. Essas avaliações foram realizadas nas safras 2011/2012, 2013/2014 e 2014/2015. O diâmetro de copa foi medido em julho de 2013, no terço médio da parte aérea das plantas a partir das extremidades dos maiores ramos plagiotrópicos. Os valores para essa variável foram expressos em centímetros (cm).

A classificação física dos grãos de café e a análise sensorial de bebida foram realizadas nas safras 2013/2014 e 2014/2015. Para isso, logo após a colheita, os frutos no estágio cereja e boia foram separados por diferença de densidade, utilizando-se uma caixa de água adaptada a uma peneira. Após a separação, as amostras de café cereja foram descascadas, obtendo-se aproximadamente 5 litros de café cereja descascado. Essas amostras foram secas em peneiras apropriadas sobre terreiro pavimentado até os grãos atingirem cerca de 11,5% de umidade (b.u). Após a secagem, as amostras foram beneficiadas e encaminhadas para análise em laboratório.

No laboratório, a classificação física dos grãos foi realizada passando-se uma amostra de 300 gramas pelo conjunto de peneiras (17/64 a 19/64). O material retido em cada peneira foi pesado determinando-se a porcentagem de grãos peneira 17 e acima (17 AC).

A análise sensorial de bebida foi realizada por dois provadores qualificados, utilizando-se a metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais (*Specialty Coffee Association of America* - SCAA) (LINGLE, 1986). Nessa avaliação foram atribuídas notas, no intervalo de 0 a 10 pontos, para cada um dos seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio e final. A somatória das notas correspondeu à classificação final da bebida (nota final), a qual foi utilizada para as análises estatísticas. Segundo a metodologia da SCAA, os cafés que atingirem pontuação igual ou superior a 80 pontos são considerados cafés especiais.

Para as variáveis PROD, AACPIF, AACPSF, 17 AC e nota final de bebida as análises de variância (ANAVA) foram realizadas em esquema de parcelas subdivididas no tempo (STEEL; TORRIE, 1980), sendo as parcelas representadas pelos genótipos e, as subparcelas, pelas safras avaliadas. Antes de serem submetidas à ANAVA, as colheitas (variável PROD) foram agrupadas em biênios (2011-2012 e 2013-2014), objetivando reduzir o efeito da bienalidade de produção do cafeeiro e melhorar a precisão experimental (BONOMO et al., 2004; BOTELHO et al., 2010b). Os dados de AACPIF e AACPSF foram transformados em $\sqrt{x + 1}$.

Para as demais características, vigor vegetativo, porcentagem de frutos no estágio cereja, porcentagem de frutos chochos e diâmetro de copa, considerou-se a média nas safras avaliadas. Para todas as características avaliadas, adotou-se significância de 5% de probabilidade, para o teste F e, detectando-se diferenças significativas, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott, também a 5% de probabilidade. As análises foram feitas utilizando-se o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) para a característica produtividade apenas para a fonte de variação genótipos. A não existência de interação significativa entre genótipos e biênios evidencia que não há diferença entre o comportamento das progênies ao longo das safras avaliadas, ou seja, os materiais genéticos apresentam estabilidade produtiva, fato este altamente desejável em programas de melhoramento genético (CUCOLOTTO et al., 2007; SILVA; DUARTE, 2006).

As progênies H514-7-14-2, H514-7-4-5, H493-1-2-2, H514-7-16-3, H514-7-8-11, H518-2-10-1 e H514-5-2-4 foram as mais produtivas, com produtividades variando de 38,64 a 47,73 sacas. ha⁻¹, superando a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 utilizada como testemunha (Tabela 2). O alto potencial produtivo de progênies derivadas do cruzamento entre Catuaí e Híbrido de Timor tem sido relatado por diversos autores (BONOMO et al., 2004; CARVALHO et al., 2008; MIRANDA; PERECIN; PEREIRA, 2005; REZENDE et al., 2014) e demonstra ainda mais a importância da continuidade dos trabalhos com essas progênies.

Devido à particularidade do cafeeiro ser uma cultura perene, o conhecimento da longevidade produtiva das plantas é fator de extrema importância para os melhoristas no lançamento de novas cultivares. Dessa forma, pode-se assegurar que a longevidade produtiva das progênies avaliadas neste estudo é de no mínimo doze anos, uma vez que no ano de 2014 colheu-se a 12ª safra nesse experimento e os cafeeiros ainda apresentam altas médias de produtividade e elevado vigor vegetativo.

Tabela 2 Produtividade média (PROD) em sacas de café beneficiado.ha⁻¹ (safras 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015), área abaixo da curva de progresso de incidência de ferrugem (AACPIF) e área abaixo da curva de progresso de severidade da ferrugem (AACPSF) (safras 2011/2012 e 2012/2013) de genótipos de cafeeiros avaliados no município de Campos Altos – MG

Genótipos	PROD	AACPIF ⁽¹⁾		AACPSF ⁽¹⁾	
		11/12	12/13	11/12	12/13
H436-1-4-2	35,47 b	140 aA	160 aA	38 bA	30 aA
H514-7-14-2	38,64 a	0 aA	60 aA	0 aA	20 aA
H514-7-4-5	47,73 a	0 aA	160 aA	0 aA	35 aB
H493-1-2-2	44,24 a	0 aA	240 aB	0 aA	52 aB
H518-2-6-1	36,01 b	0 aA	40 aA	0 aA	20 aA
H514-7-16-3	42,02 a	0 aA	20 aA	0 aA	10 aA
H493-1-2-8	30,50 b	0 aA	180 aB	0 aA	35 aB
H514-7-8-11	43,71 a	0 aA	120 aA	0 aA	30 aB
H518-2-10-1	43,17 a	0 aA	20 aA	0 aA	10 aA
H514-5-2-4	39,97 a	50 aA	80 aA	17 bA	20 aA
Catuai Vermelho IAC 99	31,94 b	6160 bB	1240 bA	284 cB	157 bA
CV (%)	15,38	57,32		47,95	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

⁽¹⁾ Médias não transformadas

Para as variáveis área abaixo da curva de progresso de incidência de ferrugem (AACPIF) e área abaixo da curva de progresso de severidade da ferrugem (AACPSF) houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) para genótipos e para a interação genótipos x safras. Sabe-se que a ferrugem do cafeeiro é altamente influenciada pela carga pendente de frutos e pelas condições ambientais de cada ano (COSTA; ZAMBOLIM; RODRIGUES, 2006; MEIRA; RODRIGUES; MORAES, 2008, 2009) justificando a existência da interação entre genótipos e anos.

Em relação às médias da AACPIF e AACPSF verifica-se que a cultivar utilizada como testemunha - Catuaí Vermelho IAC 99 - confirmou sua alta susceptibilidade ao patógeno, apresentando alta incidência e severidade da doença nas duas safras de avaliação (Tabela 2). Quanto às progênies estudadas, todas apresentaram baixos valores para AACPIF e AACPSF nas duas safras de avaliação, expressando potencial para resistência à ferrugem do cafeeiro. A presença de alelos de resistência à ferrugem do cafeeiro é devido ao uso de progênies derivadas do germoplasma Híbrido de Timor, resistência essa já comprovada por diversos autores (BONOMO et al., 2004; CAPUCHO et al., 2009; COSTA et al., 2007; MIRANDA; PERECIN; PEREIRA, 2005).

A resistência horizontal é uma das medidas no controle de doenças mais almejada pelos melhoristas de plantas, por ser uma resistência durável e eficiente contra várias raças de um determinado patógeno. Ainda pela Tabela 2, observa-se que nenhuma progênie apresentou imunidade à ferrugem. Segundo Botelho et al. (2010b), a incidência intermediária de uma progênie é importante, considerando-se que não é possível selecionar progênies com resistência horizontal naquelas que não apresentam incidência da doença, pois essas, provavelmente, apresentam resistência do tipo vertical ou específica, que encobre a manifestação da resistência horizontal. Costa et al. (2007), trabalhando com progênies de Catimor (Caturra x Híbrido de Timor) também sugeriram a existência de resistência quantitativa ou horizontal nesses genótipos, demonstrando que o Híbrido de Timor pode ser utilizado como fonte para resistência vertical e/ou horizontal nos programas de melhoramento que visam à obtenção de cultivares resistentes à ferrugem.

Os valores encontrados para vigor vegetativo foram relativamente altos, oscilando entre 6,96 para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 a 8,79 para a progênie H493-1-2-2 (Tabela 3), evidenciando expressiva adaptabilidade dos genótipos, visto que um elevado vigor vegetativo está correlacionado

positivamente à melhor adaptação da cultivar ao ambiente de cultivo (SEVERINO et al., 2002). Carvalho et al. (2008) e Rezende et al. (2014) também observaram valores semelhantes ou superiores de vigor vegetativo em progênies obtidas do cruzamento de cultivares de Catuaí com Híbrido de Timor em relação às cultivares do grupo Catuaí.

Tabela 3 Médias de vigor vegetativo (safras 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015), porcentagem de frutos no estágio cereja, porcentagem de frutos chochos (safras 2011/2012, 2013/2014 e 2014/2015) e diâmetro de copa (safra 2013/2014) de genótipos de cafeeiros avaliados no município de Campos Altos – MG

Genótipos	Vigor	Cereja (%)	Chocho (%)	Diâmetro de copa
H436-1-4-2	7,83 a	52,92 a	11,89 b	158,78 b
H514-7-14-2	8,00 a	60,83 a	9,67 b	175,61 b
H514-7-4-5	7,50 a	46,64 b	4,78 a	188,00 a
H493-1-2-2	8,79 a	59,20 a	4,22 a	189,29 a
H518-2-6-1	7,75 a	58,49 a	7,33 a	194,44 a
H514-7-16-3	8,13 a	62,59 a	4,44 a	183,44 a
H493-1-2-8	7,84 a	57,16 a	10,44 b	171,11 b
H514-7-8-11	7,71 a	44,39 b	5,78 a	188,00 a
H518-2-10-1	8,29 a	54,06 a	2,67 a	174,33 b
H514-5-2-4	8,13 a	48,83 b	5,11 a	151,78 b
Catuaí Vermelho IAC 99	6,96 a	43,06 b	4,22 a	169,00 b
Média	7,90	53,47	6,41	176,71
CV (%)	7,47	15,05	47,94	6,49

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Para a porcentagem de frutos colhidos no estágio cereja (Tabela 3), houve a formação de dois grupos, nos quais as progênies que tiveram melhor desempenho variaram de 52,92 a 62,59 %, e foram superiores a três progênies e a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99, corroborando com os dados encontrados por Rezende et al. (2014).

A alta porcentagem de frutos chochos em cafeeiros é um defeito bastante grave, que tem influência direta sobre o rendimento de café beneficiado. Esta

anomalia parece estar associada a fatores fisiológicos, ambientais, mas principalmente genéticos (FERREIRA et al., 2013; MENDES; MEDINA; CONAGIN, 1960). Na Tabela 3, observa-se a formação de dois grupos para essa característica, em que os genótipos com as menores médias apresentaram amplitude de variação de 2,67 a 7,33%.

De acordo com Carvalho et al. (2006), valores próximos a 90% de frutos granados são satisfatórios para os melhoristas de café, visto que grande parte das cultivares comerciais apresentam porcentagem de frutos normais próxima a esse valor. Portanto, mesmo as progênies que ficaram no grupo com maior porcentagem de frutos chochos se encontram na faixa considerada ideal para esta característica (Tabela 3).

Os resultados encontrados para porcentagem de frutos chochos nesse estudo corroboram com Rezende et al. (2014), que avaliando essas progênies em anos anteriores observaram valores bem coincidentes, confirmando a hipótese de controle genético para explicar esse fenômeno, sugerida por Mendes, Medina e Conagin (1960).

Com relação à variável diâmetro de copa, observa-se a formação de dois grupos, sendo o grupo de maior diâmetro formado por cinco progênies com valores variando de 183,44 a 194,44 cm, e o grupo de menor diâmetro, formado também por cinco progênies e pela cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 com valores entre 151,78 e 175,61 cm (Tabela 3). De maneira geral, genótipos com diâmetro de copa menor são preferidos, visto que a possibilidade de redução no espaçamento entre linhas e entre plantas pode acarretar num maior número de plantas por hectare e conseqüentemente em aumento da produtividade por área (PEREIRA et al., 2011).

Na avaliação e seleção de cafeeiros, os melhoristas buscam um ideótipo cujo desempenho abranja, além de outras características, alta produtividade e elevada porcentagem de grãos classificados em peneira alta (FERREIRA et al., 2005). De maneira geral, o aumento do tamanho dos grãos proporciona maior uniformidade do lote a ser processado e influencia diretamente o aspecto físico do

produto, o que é desejável, principalmente, para a utilização em máquinas de café expresso (FERREIRA et al., 2013). Para essa característica, observa-se a formação de três grupos, com destaque para a progênie H493-1-2-2 que apresentou melhor resultado, com 55,17% de grãos retidos na peneira 17 e acima (Tabela 4). Esse valor representa mais de 15 % de peneira alta dessa progênie em comparação com o Catuaí Vermelho IAC 99, demonstrando o potencial desse material genético na agregação de valor na comercialização do café. Esses resultados estão de acordo com Rezende et al. (2014) que também destacaram essa progênie como promissora para essa e outras características de interesse agrônômico.

Tabela 4 Porcentagem de grãos classificados em peneira 17 e acima (17 AC) e notas finais da análise sensorial de bebida segundo critérios da SCAA de genótipos de cafeeiros avaliados no município de Campos Altos – MG. Safras 2013/2014 e 2014/2015

Genótipos	17 AC (%)	Nota Final (bebida)		
		13/14	14/15	Média
H436-1-4-2	20,83 c	84,92 aA	78,67 cB	81,79 b
H514-7-14-2	32,50 b	84,17 aA	82,50 bA	83,33 b
H514-7-4-5	31,00 b	81,58 bA	82,92 bA	82,25 b
H493-1-2-2	55,17 a	84,58 aA	83,08 bA	83,83 a
H518-2-6-1	31,00 b	85,92 aA	85,83 aA	85,88 a
H514-7-16-3	19,83 c	87,50 aA	83,83 aB	85,67 a
H493-1-2-8	37,17 b	83,25 bA	84,67 aA	83,96 a
H514-7-8-11	12,08 c	82,50 bA	80,33 cA	81,42 b
H518-2-10-1	34,83 b	82,75 bA	82,17 bA	82,46 b
H514-5-2-4	38,33 b	79,67 bB	83,75 aA	81,71 b
Catuaí Vermelho IAC 99	40,50 b	81,25 bB	87,58 aA	84,42 a
Média	32,11	83,46 A	83,21 A	83,34
CV (%)	20,85		2,10	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Atualmente, informações sobre o potencial de produção de cafés especiais das progênies nos trabalhos de melhoramento genético são indispensáveis para o sucesso do programa. Com relação às notas finais da

análise sensorial da bebida, detectou-se diferenças significativas ($P \leq 0,05$) para genótipos e para a interação genótipos x safras. Na safra 2013/2014 houve a formação de dois grupos para essa variável, com notas variando de 84,14 a 87,50 para o grupo superior e 79,67 a 83,35 para o grupo inferior. Já para a safra 2014/2015, observa-se a formação de três grupos em que as notas variaram de 83,75 a 87,58, 82,17 a 83,08 e 78,67 a 80,33 para o grupo superior, intermediário e inferior, respectivamente. As progênies H518-2-6-1 e H514-7-16-3 merecem destaque, pois estiveram no grupo superior de qualidade de bebida nas duas safras de avaliação (Tabela 4).

A introgressão do Híbrido de Timor no melhoramento genético do cafeeiro gera cultivares modernas com substancial quantidade de material genético de *C. canephora*, o que pode acarretar em prejuízos na qualidade de bebida das novas cultivares (BERTRAND et al., 2005, 2008). No entanto, isso não foi observado neste trabalho, uma vez que, à exceção das progênies H436-1-4-2 e H514-5-2-4, todos os genótipos obtiveram notas superiores a 80 pontos nas duas safras de avaliação, o que os caracteriza como materiais genéticos com potencial para produção de cafés especiais, segundo a metodologia da SCAA. Diversos autores também encontraram potencial para a produção de cafés de boa qualidade em progênies oriundas de Híbrido de Timor (CHALFOUN et al., 2013; PEREIRA et al., 2008, 2010) evidenciando a importância desse germoplasma nos programas de melhoramento que visam, além da resistência a patógenos, à produção de cafés especiais.

4 CONCLUSÕES

- As progênies H514-7-14-2, H514-7-4-5, H493-1-2-2, H514-7-16-3, H514-7-8-11, H518-2-10-1 e H514-5-2-4 são as mais produtivas.
- Todas as progênies apresentam comportamento promissor para resistência à ferrugem do cafeeiro.
- Todos os genótipos apresentam potencial para a produção de cafés especiais.
- A progênie H493-1-2-2 se destaca positivamente em todas as características agronômicas analisadas.

REFERÊNCIAS

- ALPIZAR, E.; ETIENNE, H.; BERTRAND, B. Intermediate resistance to *Meloidogyne exigua* root-knot nematode in *Coffea arabica*. **Crop protection**, Guildford, v. 26, n. 7, p. 903-910, 2007.
- ANDRADE, V. T. et al. Interação genótipo x ambiente em genótipos de cafeeiro Mundo Novo por modelos não lineares e multiplicativos. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p. 338-345, 2013 .
- ANTUNES FILHO, H.; CARVALHO, A. Melhoramento do cafeeiro: ocorrência de lojas vazias em frutos de café “Mundo Novo”. **Bragantia**, Campinas, v. 13, p. 165-179, 1954.
- BARBOSA, D. H. S. G. et al. Field estimates of coffee yield losses and damage threshold by *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 49-54, June 2004.
- BARBOSA, D. H. S. G.; SOUZA, R. M.; VIEIRA, H. D. Field assessment of coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars in *Meloidogyne exigua*-infested or-free fields in Rio de Janeiro State, Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 29, n. 2, p. 175-177, 2010.
- BERTRAND, B. et al. *Coffea arabica* hybrid performance for yield, fertility and bean weight. **Euphytica**, Wageningen, v. 141, n. 3, p. 255-262, 2005.
- BERTRAND, B. et al. Comparison of the effectiveness of fatty acids, chlorogenic acids, and elements for the chemometric discrimination of coffee (*Coffea arabica* L.) varieties and growing origins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 56, p. 2273-2280, 2008.
- BOISSEAU, M. et al. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 38-41, 2009.

BONOMO, P. et al. Avaliação de progênies obtidas de cruzamentos de descendentes do Híbrido de Timor com as cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 207-219, 2004.

BOTELHO, C. E. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 1404-1411, 2010a.

BOTELHO, C. E. et al. Seleção de progênies F4 de cafeeiro obtidas pelo cruzamento de Icatu com Catimor. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, p. 274-281, 2010b.

CAPUCHO, A. S. et al. Herança da resistência do Híbrido de Timor UFV 443-03 à ferrugem-do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 276-282, mar. 2009.

CARVALHO, A. M. et al. Avaliação de progênies de cafeeiros obtidas do cruzamento entre 'Catuaí' e 'Híbrido de Timor'. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 249-253, 2008.

CARVALHO, A. M. et al. Desempenho agrônômico de cultivares comerciais de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais. **Bragantia**, Campinas, v. 71, p. 481-487, 2012.

CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C.; FAZUOLI, L. C. Melhoramento do cafeeiro: XL – estudos de progênies e híbridos de café Catuaí. **Bragantia**, Campinas, v. 38, p. 202-216, 1979.

CARVALHO, G. R. et al. Comportamento de progênies F4 obtidas por cruzamentos de 'Icatu' com 'Catimor'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 47-52, jan./fev. 2009.

CARVALHO, G. R. et al. Seleção de progênies oriundas do cruzamento entre 'Catuaí' e 'Mundo Novo' em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 583-590, 2006.

CHALFOUN, S. M. et al. Sensorial characteristics of coffee (*Coffea arabica* L.) varieties in the Alto Paranaíba Region. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 43-52, 2013.

COSTA, M. J. N. et al. Resistência de progênies de café Catimor à ferrugem. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 121-130, 2007.

COSTA, M. J. N.; ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. Efeito de níveis de desbaste de frutos do cafeeiro na incidência da ferrugem, no teor de nutrientes, carboidratos e açúcares redutores. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 564-571, 2006.

CUCOLOTTO, M. et al. Genotype x environment interaction in soybean: evaluation through three methodologies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 7, n. 3, p. 270-277, 2007.

CUNHA, R. L. et al. Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Vitória: Embrapa Café, 2001. p. 77-78.

FAZUOLI, L.C. et al. Avaliação das cultivares Mundo Novo, Bourbon Amarelo e Bourbon Vermelho de *Coffea arabica* L. em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 533-546, 2005.

FERREIRA, A. D. et al. Desempenho agrônômico de seleções de café Bourbon Vermelho e Bourbon Amarelo de diferentes origens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 4, p. 388-394, abr. 2013.

FERREIRA, A. D. et al. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1189-1195, 2005.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. Washington: Coffee Development Group, 1986. 32 p.

MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro com árvore de decisão. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, p. 114-124, 2008.

MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Modelos de alerta para o controle da ferrugem-do-cafeeiro em lavouras com alta carga pendente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 233-242, mar. 2009.

MENDES, A. J. T.; MEDINA, D. M.; CONAGIN, C. H. T. M. Citologia do desenvolvimento dos frutos sem sementes no café Mundo Novo. **Bragantia**, Campinas, v. 19, p. 1-12, 1960.

MIRANDA, J. M.; PERECIN, D.; PEREIRA, A. A. Produtividade e resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) de progênies F₅ de Catuaí Amarelo com o Híbrido de Timor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1195-1200, nov./dez. 2005.

PEREIRA, A. A. et al. Cup quality of new cultivars derived from Híbrido de Timor. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22., 2008, Campinas. **Abstract...** Campinas: ASIC, 2008. p. 398-399.

PEREIRA, M. C. et al. Multivariate analysis of sensory characteristics of coffee grains (*Coffea arabica* L.) in the region of upper Paranaíba. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 635-641, 2010.

PEREIRA, S. P. et al. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 152-160, 2011.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p

REZENDE, R. M. et al. Agronomic traits of coffee tree progenies from Timor Hybrid x Catuaí crossing. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 775-780, 2014.

REZENDE, R. M. et al. Resistance of *Coffea arabica* progenies in field conditions infested by *Meloidogyne exigua*. **Nematropica**, Bradenton, v. 43, n. 2, p. 233-240, 2013.

RIBEIRO, R. C. F. et al. Resistência de progênies de híbridos interespecíficos de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* a *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 11-16, 2005.

RODRIGUES JÚNIOR, C. J.; GONÇALVES, M. M.; VÁRZEA, V. M. P. Importância do Híbrido de Timor para o território e para o melhoramento da cafeicultura mundial. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 27, n. 2, p. 203-213, 2004.

SEVERINO, L. S. et al. Associações da produtividade com outras características agrônômicas de café (*Coffea arabica* L. “Catimor”). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 24, p. 1467-1471, 2002.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, 1977.

SILVA, M. C. et al. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 18, n. 1, p. 119-147, 2006.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 23-30, 2006.

STEEL, R. G.; TORRIE, J. K. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 2nd ed. Tokyo: McGraw-Hill, 1980. 633 p.

CAPÍTULO 3

Progressos genéticos e reação de cafeeiros arábica a *Meloidogyne exigua*

RESUMO

O objetivo com este trabalho foi estimar parâmetros e progressos genéticos e caracterizar a reação de progênies de cafeeiros arábica ao nematoide *Meloidogyne exigua*. Mudanças $F_{4,5}$ de 86 progênies do cruzamento entre cultivares do grupo Catuaí e Híbrido de Timor e as cultivares Mundo Novo IAC 379/19 e Catuaí Vermelho IAC 99 (padrões de suscetibilidade), Paraíso MG H 419-1 e IPR 100 (padrões de resistência) foram inoculadas com aproximadamente 5.000 ovos de *M. exigua* e avaliadas em casa de vegetação. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com 90 genótipos e oito repetições. Aos onze meses da inoculação a reação das progênies a *M. exigua* foi avaliada por meio do índice de galhas (IG), fator de reprodução (FR), redução no fator de reprodução (RFR) e número de ovos e juvenis (J2) por grama de raiz (NOJGR). A maioria das progênies é resistente a *M. exigua*. Os caracteres IG, FR, RFR e NOJGR possuem alta correlação genética. O IG é confiável para o uso em programas de melhoramento genético do cafeeiro como critério de seleção para resistência a *M. exigua*. O ganho indireto com a resposta correlacionada em NOJGR é maior quando selecionada por IG do que *per se*.

Palavras-chave: Café. Ganho de seleção. Híbrido de Timor. Nematoide das galhas. Resistência.

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate genetic progress and parameters and characterize the reaction of Arabica coffee progenies to nematode *Meloidogyne exigua*. Seedlings F_{4,5} of 86 progenies from Timor Hybrid x *Catuai* crossing, and the cultivars *Mundo Novo* IAC 379/19 and *Catuai Vermelho* IAC 99 (susceptibility patterns), *Paraíso* MG H 419-1 and IPR 100 (resistance pattern), were inoculated with approximately 5.000 eggs of *M. exigua* and evaluated at greenhouse. The randomized block design used was with 90 genotypes and eight replicates. At eleven months of inoculation and reaction of progenies to *M. exigua* was assessed using gall index (GI), reproduction factor (RF), reduction on reproduction factor (RRF) and number of eggs and juveniles J2 per gram of roots (NEJGR). Most the progeny is resistant to *M. exigua*. The characters GI, RF, RRF and NEJGR have high genetic correlation. The GI is reliable for use in breeding programs of coffee as a selection criterion for resistance to the *M. exigua*. The indirect gain with the correlated response in NEJGR is greater when selected by GI than itself.

Keywords: Coffee. Gain selection. Timor Hybrid. Root-knot nematode. Resistance.

1 INTRODUÇÃO

Entre as diversas espécies de *Meloidogyne* que parasitam o cafeeiro, *Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887 apresenta grande importância devido a sua ampla disseminação no Brasil (CASTRO et al., 2008) e pelos danos que pode causar (BARBOSA et al., 2004; BARBOSA; SOUZA; VIEIRA, 2010; REZENDE et al., 2013). A condição perene da cultura impossibilita a utilização de alguns métodos comumente aplicados no manejo de fitonematoides em outras culturas, tais como alqueive e rotação de cultura. Dessa forma, a resistência genética tem sido considerada uma das medidas mais eficientes, ambientalmente seguras e economicamente viáveis no manejo de fitonematoides (ALPIZAR; ETIENNE; BERTRAND, 2007; BOISSEAU et al., 2009).

Fontes de resistência encontradas em espécies de café estão sendo utilizadas, por meio de hibridações interespecíficas, visando incorporar caracteres agronômicos importantes, bem como a resistência a nematoides (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2007). Progenies derivadas do cruzamento entre Híbrido de Timor (provável híbrido interespecífico natural entre *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) com cultivares comerciais vêm se mostrando promissoras, aliando altas produtividades à resistência a diversos patógenos que atacam o cafeeiro (MIRANDA; PERECIN; PEREIRA, 2005; REZENDE et al., 2014), inclusive *M. exigua* (GONÇALVES; PEREIRA, 1998; REZENDE et al., 2013; SILVAROLLA; GOLÇALVES; LIMA, 1998) com nível de resistência similar ao observado em *C. canephora* (BERTRAND; ANTHONY; LASHERMES, 2001; PEREIRA et al., 2012; RIBEIRO et al., 2005; SALGADO; RESENDE; CAMPOS, 2005).

A eficiência do melhoramento genético para qualquer característica está em acumular ganhos seletivos no decorrer do tempo (RAMALHO et al., 2012). Os ganhos na alteração da média fenotípica são obtidos por meio da seleção e recombinação das melhores progenies e, para a resistência dos cafeeiros a *M.*

exigua, essa realidade não é diferente. Entretanto, em função do modo qualitativo que a resistência a *M. exigua* é tratada, devido à herança monogênica (NOIR et al., 2003), esse progresso genético não pode ser mensurado. Isso ocorre porque as progênies são classificadas em graus qualitativos de resistência de acordo com o fator de reprodução do nematoide e, eventualmente, com o dano causado às plantas pelo parasitismo (BARBOSA et al., 2007). Portanto, existe a necessidade de estabelecimento de método seletivo que por meio de grau quantitativo possa discriminar adequadamente as progênies.

Para seleção das progênies em campo, Rezende et al. (2013) desenvolveram uma metodologia de análise muito útil aos melhoristas, com a vantagem da seleção para a resistência genética ser realizada juntamente à seleção das progênies agronomicamente superiores. Dessa forma, teve-se a oportunidade de aumentar os ganhos genéticos com a resistência a *M. exigua* obtendo-se novas progênies para serem selecionadas em experimentos controlados. A seleção para múltiplas características, em campo, e posteriormente em casa de vegetação com a população agronomicamente superior, apresenta-se como estratégia promissora por reduzir o tempo de seleção para alcançar ganho para a resistência ao nematoide. Estudos como este, podem contribuir de maneira significativa com o melhoramento genético, e conseqüentemente, com a sustentabilidade da cafeicultura nas áreas infestadas por esse nematoide.

Tendo em vista a grande importância que a cafeicultura representa para o Brasil e as perdas promovidas pelo *M. exigua*, objetivou-se com este trabalho estimar parâmetros e progressos genéticos e caracterizar a reação de progênies oriundas do cruzamento entre cultivares do grupo Catuaí com Híbrido de Timor a *M. exigua*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho teve início no teste de progênies $F_{3,4}$ oriundas do cruzamento entre cultivares do grupo Catuaí e seleções de Híbrido de Timor provenientes do CIFC 2570 avaliadas durante doze anos em área naturalmente infestada por *M. exigua* no município de Campos Altos, região do Alto Paranaíba, MG. Essas progênies foram avaliadas e selecionadas previamente por Rezende et al. (2013, 2014), em condições de campo, com base em características agrônomicas e de resistência ao nematoide, praticando-se seleção simultânea para múltiplos caracteres.

Dentro das 10 progênies superiores em campo, selecionaram-se 86 plantas, as quais foram autofecundadas com controle de polinização para obtenção da geração $F_{4,5}$. Mudanças dessas progênies e das cultivares Mundo Novo IAC 379/19, Catuaí Vermelho IAC 99, padrões de suscetibilidade, e as cultivares Paraíso MG H 419-1 e IPR 100, como padrão de resistência (Tabela 1) foram avaliadas quanto ao comportamento a *M. exigua* sob condições controladas de casa de vegetação localizada na Fazenda Experimental da EPAMIG em Lavras – MG. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com oito repetições, totalizando 720 parcelas, sendo cada parcela constituída de uma planta.

As mudas foram formadas em sacos plásticos de 850 cm³ contendo solo e esterco bovino na proporção de 3:1, previamente desinfestado com dazomete (Basamid®). O inóculo de *M. exigua* foi obtido de raízes de cafeeiros de uma lavoura naturalmente infestada localizada no município de Campos Altos – MG, cuja espécie foi identificada pelo método de eletroforese de isoenzimas como *M. exigua* fenótipo E1 (Rm 1,5). As raízes parasitadas por *M. exigua* foram submetidas ao método de extração de Hussey e Barker (1973) e a suspensão de ovos obtida foi calibrada em lâmina de contagem em microscópio de objetiva invertida.

Quando as mudas atingiram entre quatro a seis pares de folhas, inocularam-se aproximadamente 5.000 ovos de *M. exigua* em quatro orifícios feitos ao redor do colo

da planta. Aos onze meses da inoculação, o sistema radicular das plantas foi lavado e depois de retirado o excesso de água, as raízes foram pesadas. A reação das progênes a *M. exigua* foi avaliada por meio do Índice de Galhas (IG), por três avaliadores independentes, usando a metodologia descrita por Taylor e Sasser (1978), com escala de notas de 0 a 5, em função do número de galhas (0=nenhuma galha, 1=1-2 galhas, 2=3-10 galhas, 3=11-30 galhas, 4=31-100 galhas, 5=maior que 100 galhas). De acordo com essa escala de notas, foram consideradas plantas resistentes (R), aquelas com notas 0, 1 e 2 e suscetíveis (S) as com notas 3, 4 e 5, com base no critério modificado de Sasser, Carter e Hartman (1984), que classificaram como resistentes as plantas com número de galhas menor ou igual a dez e suscetíveis as plantas com valores superiores a dez (grau de resistência 1 – GR 1).

Após a avaliação do IG, as raízes foram submetidas ao método de extração de Hussey e Barker (1973) para avaliação da população de ovos + J2 por grama de raiz (NOJGR) de *M. exigua* sob microscópio de objetiva invertida. O Fator de Reprodução (FR) foi calculado pelo quociente entre as densidades populacionais finais (Pf) e iniciais (Pi) (SEINHORST, 1967). Dessa forma, adaptando-se critérios desse autor, genótipos com $FR < 1$ foram considerados resistentes (R), com $FR \geq 1$ suscetíveis (S) e $FR = 0$ imunes (I) (grau de resistência 2 – GR 2).

A Redução no Fator de Reprodução (RFR) foi calculada pela seguinte fórmula:

$$RFR = \frac{Frp - Frt}{Frp} \times 100$$

em que:

Frp: fator de reprodução do padrão (Mundo Novo IAC 379/19).

Frt: fator de reprodução do tratamento.

Com base na RFR, conforme adaptação de Moura (1997), os genótipos foram classificados em imunes ($RFR = 100$), altamente resistentes ($99,99 \leq RFR \leq 96,00$),

resistentes ($95,99 \leq \text{RFR} \leq 90,00$), moderadamente resistentes ($89,99 \leq \text{RFR} \leq 75,00$) e suscetíveis ($\text{RFR} < 75,00$) (grau de resistência 3 – GR 3).

De posse dos dados do FR calculou-se a frequência de plantas (%) das progênies com resistência ao nematoide *M. exigua*, considerando as oito repetições de cada progênie e as progênies dentro de cada família. A análise de segregação das famílias foi feita mediante o teste de Qui-quadrado (χ^2) a 1% de probabilidade, com um grau de liberdade, pela seguinte fórmula:

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(o - e)^2}{e} \right]$$

em que:

o = frequência observada para cada classe (resistente ou suscetível).

e = frequência esperada para aquela classe (99% resistentes e 1% suscetíveis).

As correlações genéticas de Spearman foram estimadas com base no Melhor Preditor Linear não Viesado Empírico (E-BLUP) das progênies avaliadas para cada variável, utilizando o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2009) por meio do procedimento PROC MIXED. A partir dessas análises foram calculados os parâmetros genéticos populacionais por meio do programa Selegen REML-BLUP (RESENDE, 2002) e a resposta correlacionada foi realizada como descrito em Ramalho et al. (2012). Os ganhos de seleção foram padronizados pela média fenotípica da característica para permitir as comparações em porcentagem.

A regressão linear das médias de NOJGR nos ciclos seletivos foi realizada no programa SAS (SAS INSTITUTE, 2009) e o gráfico da reta de regressão no programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012). Considerou-se como ciclo 0 a média geral das progênies $F_{3;4}$ avaliadas em campo por Rezende et al. (2013), ciclo 1 a média estimada das 10 progênies selecionadas em campo, ciclo 2 a média geral das progênies $F_{4;5}$ e o ciclo 3 compreendeu a média das 36 progênies selecionadas no experimento de casa de vegetação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseado em avaliações fenotípicas, o aspecto relativo da resistência genética é melhor expresso em grau de resistência apresentado pela planta. No presente estudo, observou-se grande proporção de progênies resistentes, algumas até imunes. Para a variável índice de galhas (IG) observou-se uma amplitude de variação dos dados de 0 a 4,5 (Tabela 1). Baseado no critério modificado de Sasser, Carter e Hartman (1984) (GR1) verificou-se que 76 progênies e as cultivares IPR 100 e Paraíso MG H 419-1 comportaram-se como resistentes e 10 progênies e as cultivares Catuaí Vermelho IAC 99 e Mundo Novo IAC 379/19 mostraram-se suscetíveis ao nematoide *M. exigua*.

Tabela 1 Índice de galhas (IG), fator de reprodução (FR), redução do fator de reprodução (RFR) e graus de resistência (GR) de genótipos de cafeeiros (86 progênies oriundas de 10 famílias selecionadas em campo e 4 cultivares testemunhas) inoculados com *Meloidogyne exigua* em experimento de casa de vegetação, no município de Lavras – MG

Genótipos	IG ⁽¹⁾	GR 1 ⁽²⁾	FR ⁽³⁾	GR 2 ⁽⁴⁾	RFR ⁽⁵⁾	GR 3 ⁽⁶⁾
H436-1-4-2-P6B1	0,17	R	0,01	R	99,90	AR
H436-1-4-2-P5B2	0,00	R	0,00	I	99,97	AR
H436-1-4-2-P2B3	0,08	R	0,00	I	99,96	AR
H436-1-4-2-P4B3	0,29	R	0,04	R	99,69	AR
H436-1-4-2-P5B3	0,05	R	0,01	R	99,93	AR
H436-1-4-2-P2B4	0,00	R	0,00	I	99,97	AR
H436-1-4-2-P6B4	0,17	R	0,01	R	99,88	AR
H493-1-2-2-P2B1	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H493-1-2-2-P6B1	0,21	R	0,00	I	100,00	I
H493-1-2-2-P2B2	0,13	R	0,00	I	99,97	AR
H493-1-2-2-P4B2	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H493-1-2-2-P5B2	1,04	R	2,38	S	80,65	MR
H493-1-2-2-P7B2	0,75	R	0,02	R	99,87	AR
H493-1-2-2-P1B3	0,04	R	0,00	I	99,99	AR

Continuação...

H493-1-2-2-P3B3	0,39	R	0,02	R	99,84	AR
H493-1-2-2-P4B3	0,71	R	0,00	I	99,96	AR
H493-1-2-2-P5B3	0,00	R	0,00	I	99,99	AR
H493-1-2-2-P7B4	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H493-1-2-2-P8B4	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H493-1-2-8-P2B2	0,95	R	0,01	R	99,90	AR
H493-1-2-8-P4B2	1,38	R	0,01	R	99,89	AR
H493-1-2-8-P6B2	0,08	R	0,00	I	99,98	AR
H493-1-2-8-P4B3	2,46	S	0,27	R	97,76	AR
H493-1-2-8-P5B3	2,17	S	0,05	R	99,61	AR
H493-1-2-8-P8B3	2,48	S	2,11	S	82,82	MR
H493-1-2-8-P2B4	1,75	R	0,01	R	99,88	AR
H493-1-2-8-P5B4	2,24	S	0,12	R	99,01	AR
H493-1-2-8-P7B4	0,00	R	0,00	I	99,99	AR
H514-5-2-4-P7B1	0,04	R	0,02	R	99,87	AR
H514-5-2-4-P6B2	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H514-5-2-4-P7B2	0,46	R	0,80	R	93,52	R
H514-5-2-4-P8B2	0,00	R	0,00	I	99,99	AR
H514-5-2-4-P3B3	0,00	R	0,00	I	99,99	AR
H514-5-2-4-P6B3	0,05	R	0,00	I	100,00	I
H514-5-2-4-P4B4	0,04	R	0,01	R	99,96	AR
H514-5-2-4-P5B4	0,29	R	0,01	R	99,94	AR
H514-7-14-2-P2B2	0,05	R	0,01	R	99,88	AR
H514-7-14-2-P1B3	0,13	R	0,00	I	100,00	I
H514-7-14-2-P5B3	0,04	R	0,00	I	99,99	AR
H514-7-16-3-P3B1	0,00	R	0,00	I	99,97	AR
H514-7-16-3-P4B1	0,00	R	0,00	I	99,99	AR
H514-7-16-3-P6B1	0,00	R	0,00	I	99,99	AR
H514-7-16-3-P7B1	0,00	R	0,01	R	99,89	AR
H514-7-16-3-P2B2	0,00	R	0,01	R	99,92	AR
H514-7-16-3-P3B2	0,04	R	0,00	I	99,99	AR
H514-7-16-3-P4B2	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H514-7-16-3-P5B2	0,04	R	0,00	I	100,00	I
H514-7-16-3-P1B3	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H514-7-16-3-P3B3	0,04	R	0,01	R	99,92	AR
H514-7-16-3-P4B3	0,04	R	0,00	I	99,99	AR
H514-7-16-3-P1B4	0,38	R	0,04	R	99,66	AR
H514-7-16-3-P6B4	2,17	S	2,39	S	80,56	MR
H514-7-4-5-P1B1	0,25	R	0,03	R	99,75	AR
H514-7-4-5-P4B1	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H514-7-4-5-P6B1	0,08	R	0,01	R	99,91	AR
H514-7-4-5-P3B2	0,10	R	0,00	I	99,99	AR
H514-7-4-5-P4B2	0,05	R	0,02	R	99,86	AR
H514-7-4-5-P5B2	0,04	R	0,00	I	100,00	I

Continuação...

H514-7-4-5-P6B2	0,08	R	0,00	I	99,98	AR
H514-7-4-5-P2B3	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H514-7-4-5-P3B3	0,10	R	0,00	I	99,99	AR
H514-7-4-5-P5B3	1,17	R	0,01	R	99,90	AR
H514-7-4-5-P2B4	0,63	R	3,25	S	73,54	S
H514-7-4-5-P4B4	0,24	R	0,00	I	99,96	AR
H514-7-8-11-P2B3	0,08	R	0,01	R	99,94	AR
H514-7-8-11-P4B3	0,00	R	0,00	I	99,99	AR
H518-2-10-1-P2B1	1,42	R	3,51	S	71,40	S
H518-2-10-1-P3B1	0,00	R	0,02	R	99,80	AR
H518-2-10-1-P4B1	0,63	R	3,47	S	71,75	S
H518-2-10-1-P7B1	1,29	R	2,10	S	82,89	MR
H518-2-10-1-P3B2	0,00	R	0,01	R	99,91	AR
H518-2-10-1-P5B2	1,13	R	1,08	S	91,24	MR
H518-2-10-1-P1B3	4,13	S	3,76	S	69,39	S
H518-2-10-1-P3B3	0,21	R	0,02	R	99,86	AR
H518-2-10-1-P4B3	1,33	R	0,08	R	99,39	AR
H518-2-10-1-P5B3	0,00	R	0,00	I	100,00	I
H518-2-10-1-P1B4	3,79	S	2,21	S	82,04	MR
H518-2-10-1-P3B4	1,29	R	1,29	S	89,52	MR
H518-2-10-1-P5B4	4,00	S	4,02	S	67,32	S
H518-2-10-1-P7B4	1,13	R	0,02	R	99,88	AR
H518-2-6-1-P4B1	3,13	S	2,85	S	76,86	MR
H518-2-6-1-P5B2	1,75	R	0,70	R	94,31	R
H518-2-6-1-P7B2	2,88	S	0,08	R	99,40	AR
H518-2-6-1-P5B3	1,96	R	0,02	R	99,84	AR
H518-2-6-1-P8B3	1,46	R	0,00	I	99,98	AR
Mundo Novo 379/19*	4,50	S	12,29	S	Padrão	S
Catuaí Verm. IAC 99*	3,92	S	10,12	S	17,66	S
Paraíso MG H 419-1*	0,75	R	0,11	R	99,12	AR
IPR 100*	0,00	R	0,04	R	99,64	AR

*Cultivares utilizadas como testemunha.

⁽¹⁾ Nota 0 = nenhuma galha, 1= 1-2 galhas, 2=3-10, 3=11-30, 4=31-100, 5= maior que 100 galhas segundo metodologia descrita por Taylor e Sasser (1978).⁽²⁾ Plantas com notas ≤ 2 de IG são resistentes (R) e plantas com notas > 2 são suscetíveis (S), segundo critério adaptado de Sasser, Carter e Hartman (1984).⁽³⁾ Fator de Reprodução (FR)= Pop. Final / Pop. Inicial⁽⁴⁾ $FR < 1$ = resistente (R), $FR \geq 1$ suscetível (S) e $FR = 0$ imune (I), segundo critério adaptado de Seinhorst (1967).⁽⁵⁾ Redução do Fator de Reprodução (RFR): $[(Frp - Frt)/Frp] \times 100$, onde Frp: fator de reprodução do padrão (Mundo Novo); Frt: fator de reprodução do tratamento.⁽⁶⁾ Comportamento dos cafeeiros segundo critério adaptado de Moura (1997), onde: I = imune, AR = altamente resistente, R = resistente, MR = moderadamente resistente e S = suscetível

Utilizando-se os critérios adaptados de Seinhorst (1967) (GR 2) com base no FR, verificou-se que 39 progênies comportaram-se como imunes, 34 progênies e as cultivares IPR 100 e Paraíso MG H 419-1 como resistentes e 13 progênies e as cultivares Catuaí Vermelho IAC 99 e Mundo Novo IAC 379/19 mostraram-se suscetíveis ao *M. exigua* (Tabela 1).

Pelo critério adaptado de Moura (1997), que usa a redução do fator de reprodução (RFR), observa-se a formação de cinco grupos/ graus de resistência (GR 3), em que 15 progênies mostraram-se imunes, 56 progênies e as cultivares IPR 100 e Paraíso MG H 419-1 comportaram-se como altamente resistentes, 3 progênies como resistentes e 7 progênies como moderadamente resistentes. Apenas 5 progênies e as cultivares Catuaí Vermelho IAC 99 e Mundo Novo IAC 379/19 foram caracterizadas como suscetíveis (Tabela 1).

Os resultados encontrados no presente trabalho estão de acordo com Rezende et al. (2013) que avaliaram a geração F_{3,4} dessas progênies em área infestada por *M. exigua*. A presença dos alelos para a resistência é devido ao uso de progênies derivadas do Híbrido de Timor, que é um híbrido interespecífico entre *C. arabica* e *C. canephora*, com resistência a *M. exigua* similar à observada em *C. canephora* (BERTRAND; ANTHONY; LASHERMES, 2001; PEREIRA et al., 2012; RIBEIRO et al., 2005; SALGADO; RESENDE; CAMPOS, 2005).

De maneira geral, as três classificações do grau de resistência das progênies a *M. exigua* (GR 1, GR 2 e GR 3) mostraram consonância entre os resultados (Tabela 1), indicando que qualquer um dos critérios pode ser utilizado com confiabilidade na classificação de reação das progênies ao *M. exigua*. Entretanto, nas poucas ocasiões que não houve coincidência, principalmente entre GR1 e GR2, pode-se tirar informações importantes a partir de duas proporções. A primeira é a proporção de plantas que foram consideradas resistentes por GR1 e suscetíveis por GR2, sete das 86 possibilidades ou 8%. O

interessante é que dessas sete, cinco foram geradas pela progênie F_{3:4} H518-2-10-1. A outra proporção é o número de vezes que as progênies foram consideradas suscetíveis pelo GR1 e resistentes pelo GR2, que ocorreu em 3,5% das situações. Em relação à primeira proporção, pode ter ocorrido o desenvolvimento de galhas pouco evidentes a olho nu (MENDES; FERRAZ; SHIMOYA, 1977), dificultando a mensuração dessa variável, ou mesmo ser uma característica genética dessas plantas. Segundo Moura (1997), a presença de galhas é um aspecto sintomatológico e mesmo em plantas suscetíveis pode não ocorrer sua formação. Quanto à segunda proporção, a reduzida reprodução do nematoide, mesmo com o sintoma das galhas, pode ser explicada pela resistência do tipo pós-infeccional, já relatada anteriormente por Salgado, Resende e Campos (2005). No entanto, inferências precisas sobre essas hipóteses somente podem ser obtidas por experimentos específicos.

Em estudos sobre a herança da resistência de cafeeiros ao *M. exigua*, Noir et al. (2003), observaram segregação próxima de 3:1 controlada por um gene maior dominante, designado no loco *Mex-1*. Alpizar, Etienne e Bertrand (2007) observaram diferentes taxas reprodutivas de *M. exigua* em linhas puras resistentes e suscetíveis e nos híbridos obtidos a partir desses cruzamentos, sugerindo uma resistência do tipo intermediária ou incompleta. Nesse contexto, para a maioria das progênies observa-se que houve pouca ou nenhuma segregação para resistência a *M. exigua* dentro das famílias (Tabela 2), evidenciando que essas progênies possivelmente já estão com seus locos em homozigose para o gene que confere resistência. Dessa maneira, poderão originar novas cultivares de café arábica resistentes a *M. exigua*. Apenas as famílias H518-2-10-1 e H518-2-6-1 foram consideradas segregantes para resistência ao nematoide e esse fato pode explicar a reação de tolerância desses materiais genéticos em área infestada no campo (REZENDE et al., 2013). Sabe-se que as avaliações em casa de vegetação que utilizam fator de reprodução e população por grama de raiz não conseguem

separar suscetibilidade de tolerância, dessa forma, já era esperado esse comportamento. Os resultados encontrados no presente trabalho reforçam ainda mais e validam a classificação da reação das progênies em condições de campo, proposta por Rezende et al. (2013).

Tabela 2 Frequência de plantas (%) segundo o fator de reprodução (FR) das progênies para resistência ao nematoide *Meloidogyne exigua*, considerando as oito repetições de cada progênie e as progênies dentro de cada família de cafeeiros inoculados com *M. exigua*, em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG

Famílias	Imune (FR = 0)	Resistente (FR <1)	Suscetível (FR ≥1)	Valores de χ^2 ⁽¹⁾
H436-1-4-2	75	25	0	1,02 ^{ns}
H493-1-2-2	86	12	2	1,00 ^{ns}
H493-1-2-8	61	35	4	4,06 ^{ns}
H514-5-2-4	87	11	2	0,00 ^{ns}
H514-7-14-2	83	17	0	1,04 ^{ns}
H514-7-16-3	87	10	3	4,04 ^{ns}
H514-7-4-5	88	11	1	0,00 ^{ns}
H514-7-8-11	81	19	0	1,07 ^{ns}
H518-2-10-1	59	23	18	364,25 ^{**}
H518-2-6-1	57	30	13	16,41 ^{**}
Média	77	19	4	

⁽¹⁾ ** e ^{ns} Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste de Qui-Quadrado. Para as frequências observadas consideraram-se duas classes: plantas resistentes (FR<1) e plantas suscetíveis (FR ≥1). Para frequência esperada considerou-se aproximadamente 99% de plantas resistentes dentro de cada população.

No melhoramento de plantas, os melhoristas mensuram mais de uma variável para se selecionar os indivíduos avaliados de acordo com seus objetivos. Para a resistência genética aos nematoides a variável deve estar intimamente relacionada com a população do parasito nas raízes. Portanto, tem-se como uma das hipóteses do trabalho que a variável-chave no melhoramento para a resistência aos nematoides é o NOJGR. Desse modo, a manutenção da população de

nematoide em baixos níveis depende exclusivamente do genótipo do cafeeiro e das condições ambientais e de manejo adotadas (BOYD et al., 2013).

Obviamente, com alguma variável inversamente correlacionada com outra, a seleção fenotípica tende a alterar a média dessas características em sentidos opostos. Assim, a correlação genética foi estimada para se verificar qual impacto a seleção em uma variável para a resistência ao nematoide ocasionaria nas outras, comumente avaliadas, para se obter informações de caráter prático na avaliação dos experimentos e seleção de plantas. O interesse central refere-se à questão se a seleção por meio do IG resulta em uma diminuição da população de nematoide e consequente aumento da resistência.

As correlações genéticas entre os quatro caracteres estudados (IG, FR, NOJGR e RFR) foram significativas ($P \leq 0,01$) e de alta magnitude, variando em módulo de 0,74 a 0,97 (Tabela 3). Observa-se também que o comportamento das variáveis foi sempre no mesmo sentido, exceto as correlações com a RFR, o que já era esperado, por ser uma variável inversamente proporcional às demais. Merece destaque as correlações envolvendo o IG, evidenciando que a escala de notas baseada na presença de galhas nas raízes representa bem a reprodução deste nematoide (*M. exigua* fenótipo de esterase E1). Esses resultados estão de acordo com Rezende et al. (2013) quando avaliaram essa mesma população de *M. exigua*, em condições de campo, encontrando correlação de 0,94 entre número de galhas e número de ovos por grama de raiz (MUNIZ et al., 2009), trabalhando com diferentes raças de *M. exigua* encontraram correlações genéticas significativas entre índice de galhas e fator de reprodução, no entanto de menor magnitude ($r = 0,59-0,69$). Portanto, por meio dos resultados da correlação genética entre as variáveis tem-se um indicativo de que a seleção por meio do IG promove a redução da população do nematoide, característica marcante da resistência. A generalização de que o índice de galhas é um bom indicador da reprodução de nematoides deve ser feita com cautela, pois os

sintomas e danos causados por diferentes espécies de *Meloidogyne* em café são variáveis e de difícil quantificação (CARNEIRO et al., 2008; MUNIZ et al., 2009). Dessa forma, a correta identificação da população de *M. exigua* deve ser realizada previamente para maior confiabilidade dos resultados, especialmente se tratar de alguma população virulenta.

Tabela 3 Correlação genética entre índice de galhas (IG), número de ovos e J2 por grama de raiz (NOJGR), fator de reprodução (FR) e redução do fator de reprodução (RFR) de genótipos de cafeeiros inoculados com *Meloidogyne exigua* em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG

Características	NOJGR	FR	RFR
IG	0,74**	0,75**	-0,77**
NOJGR		0,94**	-0,96**
FR			-0,97**

**Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste t-Student.

Ao se realizar a seleção, um parâmetro importante a ser observado é a herdabilidade da característica sob investigação, fator que indica quanto do fenótipo se deve ao genótipo (RAMALHO et al., 2012). Os valores encontrados para os coeficientes de herdabilidade em nível de média de progênies (h^2_m) foram de 0,86, 0,60 e 0,29 para IG, NOJGR e FR, respectivamente (Tabela 4). Com relação à herdabilidade em nível de parcela (h^2_i) esses valores foram bem inferiores (0,43, 0,16 e 0,05 para IG, NOJGR e FR, respectivamente). As herdabilidades em nível de média de progênies geralmente são superiores às individuais devido à minimização da variância do efeito ambiental (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Resultados semelhantes foram encontrados na cultura do eucalipto por Macedo et al. (2013), em que também foi utilizado um grande número de repetições. Portanto, essas estimativas de herdabilidade deixam claro que a seleção será muito mais eficiente com base nas médias de progênies do que em plantas individuais.

Tabela 4 Ganho estimado com a seleção das 36 melhores progênies e a resposta correlacionada para as características índice de galhas (IG), número de ovos e juvenis por grama de raiz (NOJGR) e fator de reprodução (FR) de cafeeiros inoculados com *Meloidogyne exigua* em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG

Característica	GS (%)	Resposta correlacionada (%)		
		IG	NOJGR	FR
IG	-83,71	100	-125,02	-76,24
NOJGR	-59,91		100	-84,90
FR	-28,85			100
h^2_i		0,43±0,07	0,16±0,05	0,05±0,02
h^2_m		0,86±0,14	0,60±0,15	0,29±0,17

h^2_i : herdabilidade no nível de parcela; h^2_m : herdabilidade na média de progênies.

Para se obter sucesso com a seleção é interessante que a herdabilidade do caráter em questão seja alta, pois quanto maior a magnitude da variação genética em detrimento da ambiental, maiores são os ganhos estimados para a geração seguinte (MIRANDA; COSTA; CRUZ, 1988). Os altos valores de herdabilidade encontrados para as variáveis IG e NOJGR indicam chance de sucesso na seleção de plantas de café, tomando por base essas variáveis, resistentes a *M. exigua*. Dessa forma, estimou-se os ganhos diretos com a seleção e as respostas correlacionadas para as características estudadas (Tabela 4). Observa-se que maior ganho de seleção estimado foi alcançado quando se realizou a seleção direta para IG, contribuindo também para uma maior redução no NOJGR e FR. Verifica-se também que o ganho pela seleção indireta para as variáveis NOJGR e FR foi superior ao ganho direto, fato este justificado pela alta herdabilidade do IG (0,86) e pela alta magnitude das correlações genéticas entre os caracteres (RAMALHO et al., 2012). A incidência de galhas já é um critério de seleção muito utilizado em olerícolas (FIORINI et al., 2005, 2007) principalmente pela rapidez, praticidade e por ser um método não destrutivo, o

que possibilita o uso das plantas selecionadas para outras avaliações e também para a produção de sementes (CARVALHO FILHO et al., 2011). Com muitas progênies sendo avaliadas, principalmente em fases iniciais de programas de melhoramento do cafeeiro visando à resistência ao *M. exigua*, o presente trabalho confirma a confiabilidade na utilização do IG no *screening* das plantas corroborando com os resultados encontrados por Silva et al. (2006, 2007).

Grande parte dos trabalhos encontrados na literatura avalia a reação de genótipos a nematoides utilizando o FR como padrão de classificação de resistência (CARNEIRO et al., 2008; MUNIZ et al., 2009). No melhoramento genético, a utilização desse parâmetro na classificação dos genótipos em graus qualitativos pode ser inconsistente, uma vez que valores numéricos bem próximos, dentro do intervalo de $0,95 < FR < 1,5$, podem ter classificações distintas de resistência, dificultando a mensuração do progresso genético. Apesar da herança da resistência a *M. exigua* ser monogênica (NOIR et al., 2003) em termos de segregação observada em função da reprodução, acredita-se que diversas outras regiões genômicas podem produzir transcritos que afetem a resistência global da planta (GHEISEN; MITCHUM, 2011). Devido à complexidade da interação planta-nematoide, que se inicia pela atração do J2 para a raiz até o estabelecimento do sítio de alimentação e posterior reprodução (HUSSEY; WILLIAMSON, 1998) é difícil atribuir controle desse processo parasítico a apenas um loco gênico (WILLIAMSON; GLEASON, 2003). Por isso, propõe-se que a variável NOJGR seja o fenótipo-chave para avaliação da reação de genótipos de *Coffea* spp. no melhoramento para resistência a *M. exigua*. Baseado nisso, a resistência passaria a ser um caráter quantitativo devido à distribuição de frequência dos valores de NOJGR observados nas unidades experimentais. Outro fator que corrobora com esse conceito seria a herdabilidade encontrada na média das progênies avaliadas, típica de caracteres mais influenciados pelo ambiente (Tabela 4).

Para se verificar o impacto da seleção na média fenotípica para NOJGR realizou-se o ajuste dos dados por meio de regressão linear. Observou-se, por meio do coeficiente da regressão, que a média no NOJGR é reduzida em 450 por ciclo seletivo (Figura 1). O coeficiente de determinação do modelo indica que a alteração da média fenotípica é, de fato, devido aos ciclos seletivos, uma vez que 95% da variação presente nos dados foi explicada pelo modelo. A primeira informação importante implícita na Figura 1 é o ganho real obtido com a seleção de uma geração para a outra. Comparando-se a média do ciclo 0 (progênies $F_{3;4}$) com o ciclo 2 (progênies $F_{4;5}$) nota-se que houve uma redução de 1136 NOJGR. Essa alteração na média fenotípica mede diretamente a eficiência com a seleção e ainda corrobora o método de seleção em campo realizado por Rezende et al. (2013). Fica patente também que a estratégia de selecionar progênies em campo para características agronômicas e resistência a *M. exigua*, seguida de uma seleção somente para redução do número de nematoides em experimentos controlados, permite um rápido decréscimo na população do parasita, em progênies já adaptadas.

Percebe-se também que, caso pudesse se auferir os ganhos genéticos com a seleção das 36 melhores progênies neste trabalho, a média real da população formada teoricamente poderia chegar a zero. Essas constatações remetem a uma oportunidade para o melhoramento, pois se refere ao progresso genético com os sucessivos ciclos seletivos, que aparentam ser a melhor forma de forçar a diminuição da população do nematoide no solo, e com isso os danos em produtividade e perda de eficiência das cultivares, mesmo as consideradas resistentes. Acredita-se que a seleção recorrente para a diminuição do NOJGR é uma maneira eficaz de se superar o nematoide na constante batalha entre os genes de resistência das plantas e os de virulência do patógeno. Dessa forma, pode-se forçar ciclo após ciclo, o decréscimo da população de *M. exigua* e com isso, até mesmo prevenir a superação da resistência das cultivares (CARNEIRO, 2009). Sabe-se que os nematoides possuem capacidade de alterar o fenótipo de virulência por variações genéticas e epigenéticas (CASTAGNONE-

SERENO et al., 2013; QUENOUILLE et al., 2013). Muniz et al. (2009) detectaram quebra de resistência de cultivares de café portadores do gene *Mex-1* a uma população de *M. exigua* altamente virulenta oriunda de Bom Jesus de Itabapoana, RJ. Vários autores também têm observado reação diferenciada de progênies derivadas de Híbrido de Timor a populações de *M. exigua* de diferentes regiões (BARBOSA et al., 2007; GONÇALVES; PEREIRA, 1998; RIBEIRO et al., 2005), sugerindo a existência de variabilidade genética entre populações de *M. exigua* e dentro das progênies, assim como a interferência de fatores ambientais nesse patossistema. Em experimentos utilizando linhas isogênicas de *M. incognita*, observou-se que a resistência do gene *Mi* no tomateiro foi superada em um intervalo de tempo entre 2 e 5 gerações (CASTAGONE-SERENO et al., 1994). Outro ponto em favor desta estratégia é que plantas superiores de outros programas de melhoramento podem ingressar nas recombinações, doando alelos para a população (RAMALHO et al., 2012).

O impedimento desta proposta de ganho contínuo para o NOJGR está na avaliação de progênies em experimentos controlados, uma vez que a mensuração desta variável é realizada por método destrutivo. Em função desse fato, não há como dar continuidade ao processo, pois a seleção somente tem sentido se o ganho de seleção estimado for realizado por meio da recombinação das progênies selecionadas para a obtenção da população melhorada. Porém, a oportunidade para superação dessa barreira reside na informação de que o ganho indireto obtido no NOJGR é maior quando selecionado pelo IG do que *per se* (Tabela 4). Portanto, a solução seria replantar as plantas superiores selecionadas pelo IG em vasos para permitir a recombinação entre elas. Dessa forma, a população melhorada pode ser obtida para realização do ganho. A necessidade de desenvolvimento de métodos de avaliação não destrutivos para se aproveitar as melhores plantas e dar continuidade ao programa de melhoramento já foi identificada por Gonçalves, Lima e Fazuoli (1988). Entretanto, até o momento, não se tem conhecimento de um trabalho que tenha resolvido esse problema.

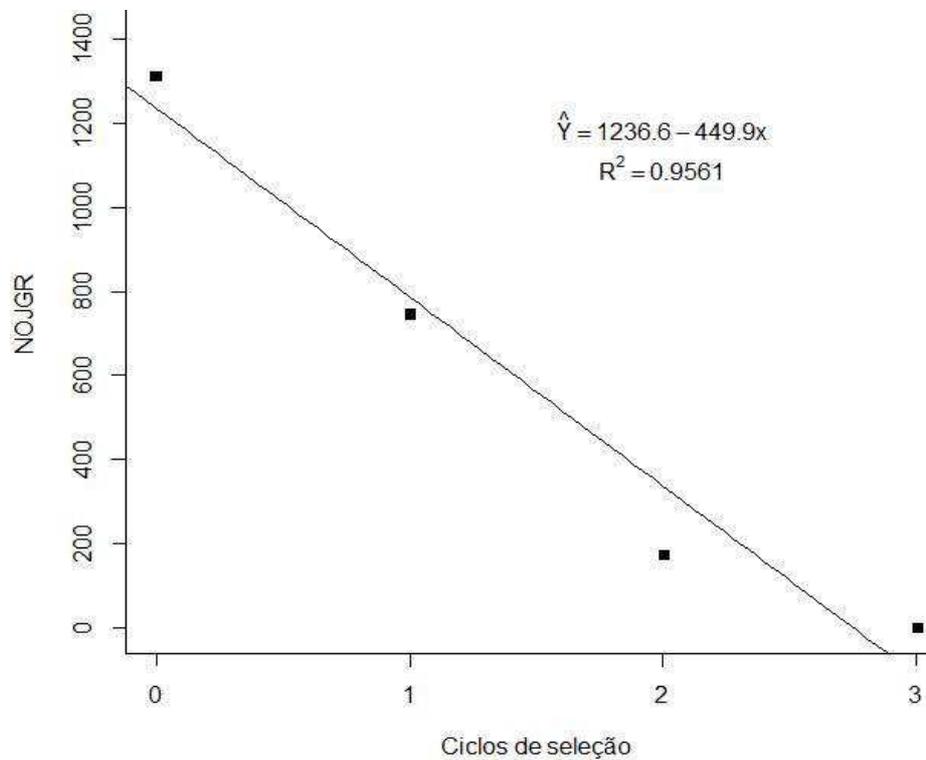


Figura 1 Regressão das médias fenotípicas geral e de progênies selecionadas ($i=0,934$) de número de ovos e juvenis por grama de raiz (NOJGR) nas duas populações avaliadas, antes e após a seleção. Ciclo 0: ganho realizado em campo (REZENDE et al., 2013); Ciclo 1: Ganho predito para próxima geração; Ciclo 2: Ganho realizado em casa de vegetação; Ciclo 3: Ganho predito para próxima geração

4 CONCLUSÕES

- A maioria das progênies é resistente a *M. exigua*.
- Os caracteres avaliados possuem alta correlação genética.
- A escala de IG é confiável para uso em programas de melhoramento genético do cafeeiro visando à resistência a *M. exigua*
- O ganho indireto com a resposta correlacionada em NOJGR é maior quando selecionada por IG do que *per se*.

REFERÊNCIAS

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

BARBOSA, D. H. S. G. et al. Desenvolvimento vegetativo e reação de genótipos de *Coffea* spp. a uma população de *Meloidogyne exigua* virulenta a cultivares resistentes. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 1-6, 2007.

BARBOSA, D. H. S. G. et al. Field estimates of coffee yield losses and damage thresholds held by *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 43-47, 2004.

BARBOSA, D. H. S. G.; SOUZA, R. M.; VIEIRA, H. D. Field assessment of coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars in *Meloidogyne exigua*-infested or -free fields in Rio de Janeiro State, Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 29, n. 2, p. 175-177, 2010.

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.

BERTRAND, B. et al. *Coffea arabica* hybrid performance for yield, fertility and bean weight. **Euphytica**, Wageningen, v. 141, n. 3, p. 255-262, 2005.

BOISSEAU, M. et al. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 38-41, 2009.

BOYD, L. A. et al. Plant-pathogen interactions: disease resistance in modern agriculture. **Trends in Genetics**, London, v. 29, n. 4, p. 233-240, 2013.

CARNEIRO, R. M. D. G. et al. Pathogenicity of *Meloidogyne* spp. (Tylenchida: Meloidogynidae) from Brazil and Central America on two genotypes of *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 309-312, 2008.

CARNEIRO, R. M. D. G. Reaction of coffee genotypes to different populations of *Meloidogyne* spp.: detection of a naturally virulent *M. exigua* population. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 370-378, 2009.

CARVALHO FILHO, J. L.S. et al. Parâmetros populacionais e correlação entre características da resistência a nematoides de galhas em alface. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 46-51, 2011.

CASTAGNONE-SERENO, P. et al. Diversity and evolution of root-knot nematodes, genus *Meloidogyne*: New insights from the genomic era. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 51, p. 203-220, 2013.

CASTAGNONE-SERENO, P. et al. Genetic variation in *Meloidogyne incognita* virulence against the tomato *Mi* resistance gene: evidence from isofemale line selection studies. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 88, n. 6/7, p. 749-753, 1994.

CASTRO, J. M. C. et al. Levantamento de fitonematoides em cafezais do Sul de Minas Gerais. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 56-64, 2008.

FIORINI, C. V. A. et al. Avaliação de populações F₂ de alface quanto à resistência aos nematóides das galhas e tolerância ao florescimento precoce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 299-302, 2005.

FIORINI, C. V. A. et al. Identificação de famílias F_{2:3} de alface homozigotas resistentes aos nematóides das galhas. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.4, p.509-513, 2007.

GHEYSEN, G.; MITCHUM, M. G. How nematodes manipulate plant development pathways for infection. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 14, n. 4, p. 415-421, 2011.

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

GONÇALVES, W.; PEREIRA, A. A. Resistência do cafeeiro a nematóides IV: reação de cafeeiros derivados do Híbrido de Timor a *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 39-50, 1998.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M. B. A luta contra a doença causada pelos nematoides parasitos do cafeeiro. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 54-57, 2007.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 57, p. 1025-1028, 1973.

HUSSEY, R. S.; WILLIAMSON, V. M. Physiological and molecular aspects of nematode parasitism. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAM, G. L. (Ed.). **Plant nematode interactions**. Madison: American Society of Agronomy, 1998. 771 p. (Agronomy Series, 36).

MACEDO, H. R. et al. Variação, herdabilidade e ganhos genéticos em progênes de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade em Batatais-SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 533-540, 2013.

MENDES, B. V.; FERRAZ, S.; SHIMOYA, C. Observações histopatológicas de raízes de cafeeiro parasitadas por *Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 208-229, 1977.

MIRANDA, J. E. C.; COSTA, C. P.; CRUZ, C. D. Correlações genotípica, fenotípica e de ambiente entre caracteres de fruto e planta de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 457-468, 1988.

MIRANDA, J. M.; PERECIN, D.; PEREIRA, A. A. Produtividade e resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. Et Br.) de progênies F₅ de Catuaí Amarelo com o Híbrido de Timor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1195-1200, 2005.

MOURA, R. M. O gênero *Meloidogyne* e a meloidoginose parte II. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 5, p. 281-315, 1997.

MUNIZ, M. D. F. S. et al. Reaction of coffee genotypes to different populations of *Meloidogyne* spp.: detection of a naturally virulent *M. exigua* population. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 370-378, 2009.

NOIR, S. et al. Identification of a major gene (Mex-1) from *Coffea canephora* conferring resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 52, n. 1, p. 97-103, 2003.

PEREIRA, T. B. et al. Reação de genótipos de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a *Meloidogyne exigua* população Sul de Minas. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, p. 84-90, 2012.

QUENOUILLE, J. et al. Farther, slower, stronger: how the plant genetic background protects a major resistance gene from breakdown. **Molecular Plant Pathology**, Bristol, v. 14, n. 2, p. 109-118, 2013.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <<http://www.R-project>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

RESENDE, M. D. V. **Software Selegen–REML/BLUP**. Curitiba: Embrapa Florestas, 2002. 67 p. (Documentos, 77).

REZENDE, R. M. et al. Agronomic traits of coffee tree progenies from Timor Hybrid x Catuaí crossing. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 775-780, 2014.

REZENDE, R. M. et al. Resistance of *Coffea arabica* progenies in field conditions infested by *Meloidogyne exigua*. **Nematropica**, Bradenton, v. 43, n. 2, p. 233-240, 2013.

RIBEIRO, R. C. F. et al. Resistência de progênies de híbridos interespecíficos de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* a *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 11-16, 2005.

SALGADO, S. M. L.; RESENDE, M. L. V.; CAMPOS, V. P. Reprodução de *Meloidogyne exigua* em cultivares de cafeeiros resistentes e suscetíveis. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 413-415, 2005.

SAS INSTITUTE. **User's guide**: statistics. Cary, 2009.

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

SEINHORST, J. W. The relationships between population increase and population density in plant parasitic nematodes. **Nematologica**, Leiden, v. 13, n. 1, p. 157-171, 1967.

SILVA, R. V. et al. Otimização da produção de inóculo de *Meloidogyne exigua* em mudas de cafeeiro. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 229-238, 2006.

SILVA, R. V. et al. Respostas de genótipos de *Coffea* spp. a diferentes populações de *Meloidogyne exigua*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 205-212, 2007.

SILVAROLLA, M. B.; GONÇALVES, W.; LIMA, M. M. A. Resistência do cafeeiro a nematóides V- Reprodução de *Meloidogyne exigua* em cafeeiros derivados da hibridação de *Coffea arabica* com *C. canephora*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 50-59, 1998.

TAYLOR, A. C.; SASSER, J. N. **Biology, identification and control of root-knot nematodes**: International *Meloidogyne* Project. Raleigh: North Carolina State University Graphics, 1978. 111 p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

WILLIAMSON, V. M.; GLEASON, C. A. Plant nematode interactions. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 6, p. 327-333, 2003.

CAPÍTULO 4

**Parâmetros populacionais, correlações entre caracteres e reação de
progênies de *Coffea arabica* a *Meloidogyne* spp.**

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho verificar a correlação genética das variáveis mensuradas, analisar a reação das progênies ao parasitismo por *Meloidogyne paranaensis* e *M. exigua* e estimar os parâmetros genéticos populacionais, com foco no ganho com a seleção. Para isso, dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, no delineamento de blocos casualizados com oito repetições e parcelas constituídas de uma planta. Os cafeeiros do experimento 1 foram inoculados com aproximadamente 9.000 ovos de *M. paranaensis* e do experimento 2 com 5.000 ovos de *M. exigua*; 86 progênies F_{4:5} do cruzamento entre cultivares do grupo Catuaí e Híbrido de Timor e as cultivares testemunhas Mundo Novo IAC 379/19, Catuaí Vermelho IAC 99, Paraíso MG H 419-1 e IPR 100 foram avaliadas por meio da matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca de raiz extraída (MFRE), incremento de altura (ALT) e incremento de diâmetro (DIA). A reação das progênies aos nematoides foi avaliada por meio do Índice de galhas (IG), índice de galhas e engrossamento (IGE), porcentagem do sistema radicular com galhas (%SR), número de ovos e juvenis do segundo estágio por grama de raiz (NOJGR) e Fator de Reprodução (FR). As variáveis analisadas são correlacionadas geneticamente; a escala de notas baseada na presença de galhas e/ou engrossamento nas raízes representa bem a reprodução dos nematoides *M. exigua* e *M. paranaensis*; as progênies H514-7-14-2-P1B3, H514-7-16-3-P6B4, H518-2-6-1-P5B3, H518-2-6-1-P8B3, H493-1-2-8-P7B4 apresentam comportamento promissor para resistência a *M. paranaensis*; há possibilidade de ganhos seletivos para diminuição da população de nematoides no sistema radicular das progênies.

Palavras-chave: Café. Ganho de seleção. Híbrido de Timor. *M. exigua*.
M. paranaensis. Resistência.

ABSTRACT

The objective of this study was to verify the genetic correlation the measured variables, analyse the progenies reaction to parasitism by *Meloidogyne paranaensis* and *Meloidogyne exigua*, and estimate the population genetic parameters, focusing on gain with selection. Two experiments were conducted at greenhouse, in a randomized block design, with eight replicates and plots consisting of a plant. Coffee trees of experiment 1 were inoculated with about 9000 eggs of *M. paranaensis* and the experiment 2 was inoculated with 5000 eggs of *M. exigua*. 86 F_{4,5} progenies from Timor Hybrid x *Catuai* crossing, and control cultivars *Mundo Novo* IAC 379/19, *Catuai Vermelho* IAC 99, *Paraíso* MG H 419-1 and IPR 100 were evaluated through dry matter of shoot (DMS), fresh weight of extracted root (FWER), increase in height (HEI) and increase in diameter (DIA). Progenies reaction to nematodes was evaluated by gall index (GI), gall index and thickening (GIT), percentage of root system galled (%RSG), number of eggs and juveniles of second stage for gram of root (NEJGR) and reproduction factor (RF). The evaluated variables are genetically correlated; note scale based on presence of galls and/or thickening of the roots, represents well the nematodes reproduction of *M. exigua* and *M. paranaensis*; progenies H514-7-14-2-P1B3, H514-7-16-3-P6B4, H518-2-6-1-P5B3, H518-2-6-1-P8B3, H493-1-2-8-P7B4 showed promising performance for resistance to *M. paranaensis*; there is possibility of selective gains for the decrease nematode population in the root system of progenies.

Keywords: Coffee. Gain selection. Timor Hybrid. *M. exigua*. *M. paranaensis*. Resistance.

1 INTRODUÇÃO

Desde o conhecimento de que *Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887, era responsável pelo declínio produtivo de algumas lavouras cafeeiras na província do Rio de Janeiro (GOELDI, 1887), se iniciaram as pesquisas buscando medidas que pudessem mitigar o efeito desses parasitos. Com a expansão da cafeicultura para novas regiões produtoras e a evolução da nematologia, novas espécies de nematoides das galhas, notadamente *Meloidogyne paranaensis* (CARNEIRO; CARNEIRO; ABRANTES, 1996), foram caracterizadas como parasitas do cafeeiro.

Meloidogyne paranaensis é considerada uma das espécies mais prejudiciais ao cafeeiro (SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014). Devido à alta agressividade e danos às raízes, o cultivo do café em áreas infestadas por esse nematoide pode se tornar inviável. Em Minas Gerais, o aumento da ocorrência desse nematoide nas principais regiões cafeeiras do estado (CASTRO et al., 2008; SOUZA et al., 2014) tem preocupado técnicos e produtores ligados à atividade. Diante deste quadro, a busca por cultivares resistentes a *M. paranaensis* tem sido uma das prioridades do melhoramento genético do cafeeiro (ALBUQUERQUE et al., 2010), por ser uma medida eficaz e ambientalmente segura (BOISSEAU et al., 2009; COOK, 2004).

Atualmente, a única cultivar de *Coffea arabica* L. resistente a *M. paranaensis* disponível comercialmente é a IPR-100, desenvolvida pelo Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR). Essa situação pode ser arriscada e limitante pelo fato de os nematoides das galhas apresentarem considerável variação genética e epigenética, o que pode suplantar a resistência das plantas cultivadas por certo tempo em campos infestados (CASTAGNONE-SERENO et al., 2013; QUENOUILLE et al., 2013; ROBERTS, 1992; SEMBLAT et al., 2000). A limitação consiste na falta de informações sobre a adaptabilidade do IPR-100 em algumas regiões de cultivo. Além disso, a utilização de apenas uma cultivar na propriedade não é recomendada devido, principalmente, aos riscos decorrentes

da uniformidade genética e à maturação na colheita, que ficaria concentrada em determinada época do ano.

Em função destes fatores, é premente a obtenção de novas cultivares resistentes a *M. paranaensis* (SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014). Para se atingir esse objetivo deve-se saber *a priori*, a fonte de variabilidade genética para a resistência e como as progênies serão avaliadas e selecionadas na condução do programa de melhoramento (BOERMA; HUSSEY, 1992). Entretanto, informações a respeito da metodologia de avaliação das progênies, que sejam determinantes na eficiência do processo de seleção buscando resistência a *M. paranaensis*, são escassas na literatura.

A variabilidade para resistência a nematoides em *C. arabica* tem sido investigada em alguns trabalhos. Genótipos contendo alelos de resistência foram encontrados em cafeeiros silvestres provindos da Etiópia (BOISSEAU et al., 2009) e em plantas do grupo Icatu (MATA et al., 2002; SERA et al., 2004). Recentemente, Salgado, Resende e Nunes (2014) avaliaram em campo infestado por *M. paranaensis* 41 progênies provenientes de 20 populações do banco ativo de germoplasma da EPAMIG e concluíram que plantas do Híbrido de Timor UFV 408-01 e plantas das progênies geradas pelo cruzamento entre a cultivar Catuaí Vermelho com Amphillo MR 2161 foram as mais promissoras.

No melhoramento para resistência a nematoides avaliam-se progênies em campo e em casa de vegetação. Os experimentos são delineados com o principal objetivo de se quantificar o valor genético dos indivíduos que serão selecionados. Para existir progresso genético, expresso na forma de alteração da média fenotípica de determinada característica, é necessária a existência de variação herdável. Esta variação é quantificada pela herdabilidade, a qual informa sobre as possibilidades de ganho genético e auxilia a traçar as decisões na prática do melhoramento. Salgado, Rezende e Nunes (2014) estimaram a herdabilidade para caracteres relacionados à produção e variáveis nematológicas

em progênies selecionadas em campo infestado. Segundo esses autores, existem possibilidades de ganhos expressivos nas variáveis analisadas em função dos valores observados para a herdabilidade.

Outra estimativa importante no melhoramento de plantas é a correlação genética existente entre as características-alvo da seleção. Essa correlação advém, principalmente, da ligação gênica e da pleiotropia (CHEN; LUBBERSTEDT, 2010) e seu reconhecimento é necessário principalmente devido à dificuldade de selecionar para caracteres negativamente correlacionados, o que pode limitar a expressão do fenótipo ideal da planta. Em segundo lugar, a correlação genética é útil por razões de ordem prática, uma vez que existem algumas variáveis que são mais difíceis de serem mensuradas ao se avaliar as características. Portanto, caso algum caractere possua uma variável facilmente obtida, positivamente correlacionada com outra de difícil medição, o ganho correlacionado pode ser obtido. Essas informações possibilitam a economia de recursos e/ou também a avaliação de maior número de indivíduos em fases específicas dos programas de melhoramento (RAMALHO et al., 2012; YAN; FREGEAU-REID, 2008)

Portanto, objetivou-se com este trabalho verificar a correlação genética das variáveis mensuradas, analisar a reação das progênies ao parasitismo por *M. paranaensis* e *M. exigua* e estimar os parâmetros genéticos populacionais, com foco no ganho com a seleção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho teve início no teste de progênies $F_{3,4}$ oriundas do cruzamento entre cultivares do grupo Catuaí e seleções de Híbrido de Timor provenientes do CIFC 2570 avaliadas durante doze anos em área naturalmente infestada por *M. exigua* no município de Campos Altos, estado de Minas Gerais. Essas progênies foram previamente selecionadas por Rezende et al. (2013, 2014) com base em características agronômicas e de resistência a *M. exigua*.

Nas 10 progênies superiores em campo (Tabela 1), selecionaram-se 86 plantas, as quais foram autofecundadas com controle de polinização para obtenção da geração $F_{4,5}$. Mudanças dessas 86 progênies e das cultivares Mundo Novo IAC 379/19, Catuaí Vermelho IAC 99, Paraíso MG H 419-1 e IPR 100 foram avaliadas em dois experimentos em casa de vegetação, localizadas na Fazenda Experimental da EPAMIG em Lavras – MG. Os cafeeiros do experimento 1 foram inoculados com *M. paranaensis* e do experimento 2 com *M. exigua*. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com oito repetições, totalizando 720 parcelas por experimento, sendo cada parcela constituída de uma planta.

As mudas foram formadas em sacos plásticos de 850 cm³ contendo solo e esterco na proporção de 3:1, previamente desinfestado com dazomete (Basamid®). Posteriormente, para o experimento 1, as mudas foram transplantadas para sacos plásticos de 3000 cm³ com o mesmo substrato.

Os inóculos de *M. exigua* fenótipo E1 (Rm 1,5) e *M. paranaensis* foram obtidos de raízes de cafeeiros de lavouras naturalmente infestadas localizadas nos municípios de Campos Altos – MG e Piumhi – MG, respectivamente e identificadas por meio da técnica de isoenzimas, proposta por Carneiro e Almeida (2001). Após a coleta das amostras, as raízes parasitadas foram submetidas ao método de extração de Hussey e Barker (1973) e a suspensão de ovos obtida foi calibrada em lâmina de contagem em microscópio de objetiva invertida.

Tabela 1 Genealogia das progênies F_{3;4} selecionadas em área naturalmente infestada por *M. exigua* no município de Campos Altos – MG

Progênies	Cruzamentos de origem
H436-1-4-2	CV IAC 99 x HDT UFV 442-42
H514-7-14-2	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10
H514-7-4-5	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10
H493-1-2-2	CV IAC 44 x HDT UFV 446-08
H518-2-6-1	CV IAC 141 x HDT UFV 442-34
H514-7-16-3	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10
H493-1-2-8	CV IAC 44 x HDT UFV 446-08
H514-7-8-11	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10
H518-2-10-1	CV IAC 141 x HDT UFV 442-34
H514-5-2-4	CA IAC 86 x HDT UFV 440-10

CA: Catuaí Amarelo; CV: Catuaí Vermelho; HDT: Híbrido de Timor.

Quando as mudas atingiram entre quatro a seis pares de folhas, inocularam-se aproximadamente 9.000 ovos de *M. paranaensis* (experimento 1) e 5.000 ovos de *M. exigua* (experimento 2) em quatro orifícios feitos ao redor do colo da planta.

Aos onze meses da inoculação, as plantas dos dois experimentos foram avaliadas por meio da matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria fresca de raiz extraída (MFRE). No experimento 1, ainda foram avaliadas as variáveis altura de planta e diâmetro de caule, calculando-se posteriormente o incremento de altura (ALT) e incremento de diâmetro (DIA), subtraindo-se dos valores da última avaliação os valores da primeira (dia da inoculação).

O índice de galhas (IG) foi avaliado, por três avaliadores independentes, por meio da escala de Taylor e Sasser (1978), com notas de 0 a 5, em função do número de galhas (0=nenhuma galha, 1=1-2 galhas, 2=3-10 galhas, 3=11-30 galhas, 4=31-100 galhas, 5=maior que 100 galhas) e pela porcentagem do sistema radicular com galhas (%SR), de acordo com Barker (1985), em que nota 0= sem galhas; 1=10% de galhas; 2= cerca de 20%; 3=20 a 70%; 4=70 a 90% e 5 cerca de 100%. Como *M. paranaensis* exibe também sintomas clássicos de engrossamento nas raízes, no experimento 1, o IG foi adaptado para índice de galhas e

engrossamento (IGE), em que 0=nenhuma galha e sem sintomas de engrossamento, 1=1-2 galhas e/ou leve sintoma de engrossamento, 2=3-10 galhas e/ou baixo sintoma de engrossamento, 3=11-30 galhas e/ou médio sintoma de engrossamento, 4=31-100 galhas e/ou alto sintoma de engrossamento, 5=maior que 100 galhas e/ou raízes drasticamente danificadas. De acordo com o IGE, foram consideradas plantas resistentes (R) àquelas com notas 0, 1 e 2 e suscetíveis (S) as com notas 3, 4 e 5. Com base no critério modificado de Sasser, Carter e Hartman (1984), plantas resistentes foram àquelas que apresentaram número de galhas menor ou igual a dez e suscetíveis às plantas com valores superiores a dez.

Após a avaliação por meio das escalas de notas, as raízes foram submetidas ao método de extração de Hussey e Barker (1973). A suspensão de ovos e juvenis (J2) de *M. paranaensis* (experimento 1) e *M. exigua* (experimento 2) foram avaliadas em lâmina de contagem sob microscópio de objetiva invertida para quantificação da população de ovos + J2 por grama de raiz (NOJGR). O fator de reprodução (FR) foi calculado pelo quociente entre as densidades populacionais finais (Pf) e iniciais (Pi) (SEINHORST, 1967). Dessa forma, de acordo com critérios desse autor, genótipos com $FR < 1$ foram considerados resistentes (R) e àqueles com $FR \geq 1$ suscetíveis (S).

As correlações genéticas de Spearman foram estimadas com base no Melhor Preditor Linear não Viesado Empírico (E-BLUP) das progênes avaliadas para cada variável nos dois experimentos, utilizando o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2009) por meio do procedimento PROC MIXED. A partir dessas análises, para o experimento 1, foram calculados os parâmetros genéticos populacionais por meio do programa Selegen REML-BLUP (RESENDE, 2002) e a resposta correlacionada foi realizada como descrito em Ramalho et al. (2012). Os ganhos de seleção foram padronizados pela média fenotípica da característica para permitir as comparações em porcentagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As correlações genéticas entre os caracteres vegetativos avaliados (MSPA, MFRE, ALT e DIA), independentemente do nematoide inoculado, foram significativas, altas e positivas (Tabela 2), indicando que o comportamento das variáveis foi sempre no mesmo sentido, corroborando com resultados encontrados na literatura (CARVALHO et al., 2010; MARTINEZ et al., 2007; NASCIMENTO FILHO; ATROCH; CECON, 2012). Carvalho et al. (2010) e Martinez et al. (2007), observaram correlação positiva entre a produtividade inicial do cafeeiro e caracteres vegetativos, como altura de planta e diâmetro de caule, evidenciando a importância de se estudar esses parâmetros.

Tabela 2 Correlação genética de Spearman entre incremento de altura (ALT), incremento de diâmetro (DIA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca de raiz extraída (MFRE), índice de galhas e engrossamento (IGE), índice de galhas (IG), porcentagem do sistema radicular com galhas (%SR), número de ovos e J2 por grama de raiz (NOJGR) e fator de reprodução (FR) de genótipos de cafeeiros inoculados com *Meloidogyne paranaensis* (experimento 1) e *Meloidogyne exigua* (experimento 2) em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG

Experimento 1- <i>Meloidogyne paranaensis</i>							
Variáveis	DIA	MSPA	MFRE	IGE	%SR	NOJGR	FR
ALT	0,77**	0,72**	0,62**	0,74**	0,70**	0,61**	0,72**
DIA		0,84**	0,78**	0,75**	0,69**	0,52**	0,69**
MSPA			0,84**	0,75**	0,59**	0,48**	0,70**
MFRE				0,65**	0,47**	0,32**	0,60**
IGE					0,80**	0,59**	0,68**
%SR						0,73**	0,74**
NOJGR							0,90**
Experimento 2 - <i>Meloidogyne exigua</i>							
Variáveis	MFRE	IG	%SR	NOJGR	FR		
MSPA	0,71**	0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,19 ^{ns}		
MFRE		0,17 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}		
IG			0,87**	0,74**	0,75**		
%SR				0,71**	0,72**		
NOJGR					0,94**		

** e ^{ns} Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste de t-Student.

No experimento com *M. exigua* observa-se que as variáveis MSPA e MFRE não se correlacionaram com aquelas relacionadas ao parasitismo do nematoide (IG, %SR, NOJGR e FR), sugerindo que o *M. exigua* não interfere de forma significativa no desenvolvimento inicial de mudas de cafeeiros (Tabela 2). Dias et al. (2009), também não encontraram diferenças

significativas no desenvolvimento vegetativo de mudas de quatro genótipos de café, infestados ou não por *M. exigua*, 210 dias após a inoculação. Semelhantemente, Barbosa et al. (2007) relatam que a inoculação com *M. exigua* em cafeeiros pouco afetou o desenvolvimento das mudas mantidas em tubetes por seis meses.

Os menores danos ocasionados por *M. exigua* no cafeeiro podem ser explicados pelo parasitismo deste nematoide não provocar destruição do sistema radicular, assim, muitas vezes, a presença desta espécie no campo passa despercebida (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2007).

Meloidogyne paranaensis é considerado o nematoide mais danoso ao cafeeiro devido à alta agressividade às raízes. Em condições de campo, esta espécie provoca destruição do sistema radicular com conseqüente sintoma de desnutrição na parte aérea e redução do crescimento das plantas (BARROS et al., 2011). Dessa forma, contrariamente aos resultados encontrados para o nematoide *M. exigua*, verifica-se correlações significativas e positivas entre os caracteres de desenvolvimento vegetativo (MSPA, MFRE, ALT e DIA) e aqueles relacionados ao parasitismo do nematoide (IGE, %SR, NOJGR e FR) no experimento com *M. paranaensis* (Tabela 2). Esses resultados indicam que a redução da população do nematoide está associada a um menor crescimento da planta, provavelmente por falta de raízes disponíveis para a alimentação do nematoide (GOLÇALVES et al., 1996). Segundo Kinloch, Hiebsch e Peacock (1987), isso ocorre notadamente em plantas suscetíveis em início de desenvolvimento, com níveis elevados de inóculo. Portanto, a alta frequência de progênies suscetíveis a *M. paranaensis* encontrada nesse experimento justifica esse comportamento. O contrário também se verifica, pois o maior crescimento foi associado à maior densidade populacional do nematoide. Provavelmente isso ocorreu, pois plantas vigorosas e em pleno

metabolismo promovem sítios de alimentação mais nutritivos (BARTLEM; JONES; HAMMES, 2014).

Correlações genéticas significativas ($P \leq 0,01$) e de alta magnitude foram detectadas entre IG, IGE, %SR, NOJGR e FR nos dois experimentos (Tabela 2). Em razão do maior valor prático nos trabalhos de melhoramento, principalmente pela redução no tempo de avaliação dos materiais genéticos, as correlações com as escalas de notas (IG e IGE) serão analisadas com maior detalhe. No experimento com *M. exigua* as correlações foram de 0,74 para IG vs NOJGR e 0,75 para IG vs FR, enquanto para o experimento com *M. paranaensis* essas correlações foram um pouco inferiores, 0,59 para IGE vs NOJGR e 0,68 para IGE vs FR. Esses resultados permitem inferir que a escala de notas baseada na presença de galhas e/ou danos nas raízes representa bem a reprodução desses nematoides para as condições desses experimentos. A utilização da incidência de galhas como critério avaliativo de progênes de cafeeiro visando à resistência aos nematoides do gênero *Meloidogyne* tem sido relatada em diversos trabalhos, tanto para *M. exigua* (REZENDE et al., 2013; SILVA et al., 2007) como *M. paranaensis* (ITO et al., 2008; SERA et al., 2007, 2009), principalmente pela rapidez, praticidade e por ser um método não destrutivo (CARVALHO FILHO et al., 2011).

A presença de galhas é um aspecto sintomatológico (MOURA, 1997). Em cultivares resistentes pode haver formação de galhas sem que haja reprodução do nematoide, como também, em plantas suscetíveis pode não ocorrer sua formação. Em função disso, a generalização de que o índice de galhas é um bom indicador da reprodução de nematoides ainda é polêmica no meio científico, principalmente para *M. paranaensis*, que não exhibe galhas típicas (BARROS et al., 2011; CARNEIRO et al., 2008; MUNIZ et al., 2009). Por essa razão, Muniz et al. (2009) afirmaram que apenas a quantificação de galhas é um parâmetro subjetivo para avaliar a infecção por

nematoides. No entanto, a adaptação da escala de Taylor e Sasser (1978), considerando também os sintomas de engrossamento causados pelo *M. paranaensis* nas raízes, podem explicar os altos valores de correlação encontrados neste trabalho entre as características da resistência aos nematoides. Outro fator que também corrobora essa hipótese é a forte correlação existente entre % SR e NOJGR ($r = 0,73$) e % SR e FR ($r = 0,74$), uma vez que essa variável fornece uma melhor visualização da proporção do sistema radicular com sintomas de infecção.

A reação dessas progênies a *M. exigua* já foi relatada por Rezende (2015) e Rezende et al. (2013). Portanto, foco será dado no comportamento desses genótipos quanto à resistência a *M. paranaensis*. Devido ao elevado número de genótipos testados, estão destacados na Tabela 3 apenas os dados daquelas consideradas resistentes a *M. paranaensis* pelo FR e as respectivas testemunhas.

Para a variável IGE observou-se uma amplitude de variação dos dados de 1,0 (IPR 100) a 5,0 (quatro progênies e a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99). Baseado no critério modificado de Sasser, Carter e Hartman (1984), apenas a Cultivar IPR 100 mostrou-se resistente a *M. paranaensis*.

Utilizando-se os critérios adaptados de Seinhorst (1967) com base no FR, verificou-se que a cultivar IPR 100 e as progênies H514-7-14-2-P1B3, H514-7-16-3-P6B4, H518-2-6-1-P5B3, H518-2-6-1-P8B3, H493-1-2-8-P7B4 comportaram-se como resistentes, com valores para essa variável de 0,03, 0,13, 0,37, 0,39, 0,52 e 0,83, respectivamente. Apesar dos valores baixos da reprodução do nematoide apresentado pela cultivar IPR 100, em nenhum genótipo ocorreu imunidade para *M. paranaensis*, corroborando com Mata et al. (2002) e Sera et al. (2007) que não observaram imunidade para *M. paranaensis* em *C. arabica*.

Tabela 3 Índice de galhas e engrossamento (IGE), fator de reprodução (FR), número de ovos e J2 por grama de raiz (NOJGR), incremento de altura (ALT), incremento de diâmetro (DIA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria fresca de raiz extraída (MFRE), de genótipos de cafeeiros inoculados com *Meloidogyne paranaensis* em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG

Genótipos	IGE ⁽¹⁾	FR ⁽²⁾	NOJGR	ALT (cm)	DIA (cm)	MSPA (g)	MFRE (g)
H493-1-2-8-P7B4	3,29	0,83	417,84	23,46	3,55	19,56	17,75
H514-7-14-2-P1B3	3,36	0,13	391,69	17,63	1,13	7,76	6,87
H514-7-16-3-P6B4	3,86	0,37	363,14	6,40	1,51	4,38	7,66
H518-2-6-1-P5B3	2,64	0,39	343,83	11,53	1,95	8,83	8,05
H518-2-6-1-P8B3	3,14	0,52	334,45	14,76	1,78	11,57	9,65
Média das progênes resistentes	3,26	0,45	370,19	14,76	1,98	10,42	10,00
Média das progênes suscetíveis	4,34	4,35	1454,39	26,28	3,95	23,33	24,54
Mundo Novo 379/19*	4,86	6,39	1979,26	39,41	5,03	25,36	30,20
Catuaí Verm. IAC 99*	5,00	5,31	1672,32	26,54	4,66	25,85	26,24
Paraíso MG H 419-1*	4,57	5,46	1870,48	31,53	3,20	22,89	21,60
IPR 100*	1,00	0,03	20,82	24,61	2,63	19,06	11,29

*Cultivares utilizadas como testemunha.

⁽¹⁾ nota 0=nenhuma galha e sem sintomas de engrossamento, 1=1-2 galhas e/ou leve sintoma de engrossamento, 2=3-10 galhas e/ou baixo sintoma de engrossamento, 3=11-30 galhas e/ou médio sintoma de engrossamento, 4=31-100 galhas e/ou alto sintoma de engrossamento, 5=maior que 100 galhas e/ou raízes drasticamente danificadas, segundo metodologia adaptada de Taylor e Sasser (1978); Plantas com notas ≤ 2 de IGE são resistentes (R) e plantas com notas > 2 são suscetíveis (S), segundo critério adaptado de Sasser, Carter e Hartman (1984).

⁽²⁾ Fator de Reprodução (FR)= Pop. Final / Pop. Inicial; $FR < 1$ = resistente (R), $FR \geq 1$ suscetível (S), segundo critério de Seinhorst (1967).

Observa-se, ainda pela Tabela 3, menor desenvolvimento dos genótipos resistentes quando comparados às testemunhas suscetíveis. Este fato pode estar relacionado à energia despendida pela planta para expressar a resistência ao nematoide, conforme comentado por Barbosa, Vieira e Souza (2008), que

observaram em cafeeiros resistentes a *M. exigua*, menor desenvolvimento vegetativo em área infestada quando comparado a uma área sem infestação.

Os trabalhos que relatam resistência de progênies derivadas do Híbrido de Timor a *M. paranaensis* são escassos. Campos e Villain (2005) comentam sobre resistência moderada encontrada em progênies de Sarchimor (Vila Sarchi x Híbrido de Timor) a esse nematoide. Recentemente, Salgado, Rezende e Nunes (2014), em estudos em área infestada por *M. paranaensis*, apontam cafeeiros da população de Híbrido de Timor UFV 408-01 como promissores à resistência a esse patógeno. Deste modo, esse potencial para resistência a *M. paranaensis* confirmada nessas cinco progênies oriundas do cruzamento entre Catuaí e Híbrido de Timor é um dos primeiros relatos na literatura e deve ser considerado nos programas de melhoramento genético para obtenção de cultivares resistentes a *M. paranaensis*.

Comparando-se o desempenho dessas progênies, quando inoculadas com *M. exigua* (REZENDE, 2015), percebe-se que o nível de resistência presente na população de plantas é menor para *M. paranaensis*, de acordo com a proporção de plantas resistentes identificadas. Presumivelmente, o menor desempenho pode ser explicado pela ausência de genes de efeito maior e/ou uma baixa frequência de alelos favoráveis dos poligenes relacionados com a resistência a *M. paranaensis*.

Apesar de não ser uma população tão promissora para *M. paranaensis* quanto é para *M. exigua*, essas progênies (H514-7-14-2-P1B3, H514-7-16-3-P6B4, H518-2-6-1-P5B3, H518-2-6-1-P8B3 e H493-1-2-8-P7B4) podem ser úteis para o melhoramento genético do cafeeiro. Assim, para verificar o impacto da seleção na redução da população de nematoides nas raízes dos cafeeiros, estimou-se o ganho de seleção (GS%) em relação à média geral das progênies para as variáveis componentes da característica (Tabela 4). Utilizou-se o ganho seletivo na média das progênies, porque a herdabilidade nesse nível foi superior

para todas as variáveis, conforme esperado. As herdabilidades na média das progênies foram de magnitude moderada, variando de 41,8% a 52,4% para IGE e NOJGR, respectivamente, e indicam que grande parte da variação fenotípica é de origem genética. Portanto, ganhos seletivos podem ser atingidos por meio do aumento do valor genético da população melhorada, alterando a média fenotípica (RAMALHO et al., 2012).

Tabela 4 Ganho estimado com a seleção das 10 melhores progênies e a resposta correlacionada com a seleção indireta para as características índice de galhas e engrossamento (IGE), porcentagem do sistema radicular com galhas (%SR), número de ovos e J2 por grama de raiz (NOJGR) e fator de reprodução (FR) de cafeeiros inoculados com *Meloidogyne paranaensis* em condições de casa de vegetação, no município de Lavras – MG

Característica	GS%	Resposta correlacionada (%)			
		IGE	%SR	NOJGR	FR
IGE	-10,72	100	-11,22	-22,31	-27,23
SR	-19,12		100	-26,21	-29,01
NOJGR	-35,55			100	-40,22
FR	-39,62				100
h^2_i (%)		9,3±3,0	8,4±3,0	13,6±4,0	12,4±4,0
h^2_m (%)		41,8±13,0	39,2±14,0	52,4±15,0	49,7±16,0
Média fenotípica		4,3	2,5	1389,8	4,12

h^2_i : herdabilidade no nível de parcela; h^2_m : herdabilidade na média de progênies.

Percebeu-se que o ganho de seleção estimado é superior para FR (39,62%) e NOJGR (35,33%). Os ganhos são semelhantes porque o FR é uma variável dependente de NOJGR, fato este comprovado pela alta correlação genética entre as variáveis ($r=0,90$). Entretanto, a herdabilidade na média das progênies foi ligeiramente superior para NOJGR. O menor

ganho verificado para IGE deve-se ao fato de que a média das progênies selecionadas é pouco inferior à média geral do experimento (Tabela 4).

A NOJGR é uma variável quantitativa e determinante na seleção para a resistência por refletir diretamente, sem transformações e julgamentos subjetivos, o que se deseja com o processo, que é a diminuição do nematoide nas raízes e conseqüentemente no solo (BOERMA; HUSSEY, 1992). Neste quesito, as duas melhores progênies deste experimento foram geradas por plantas da progênie H518-2-6-1. As plantas mães das 10 melhores progênies foram H493-1-2-2, H493-1-2-8, H514-7-14-2, H514-7-16-3, H518-2-6-1. Com a seleção destas progênies se obtém uma diminuição de NOJGR estimada em 494, gerando uma nova média de 895 com a população melhorada. Comparando-se esta média de NOJGR com a das testemunhas suscetíveis, o valor é menor que a metade. Sabe-se que o valor está aquém do desejado, uma vez que o padrão de resistência (IPR-100) apresentou em média 20,82 NOJGR. Porém, a hipótese é que com os sucessivos ciclos seletivos, conforme mencionado por Rezende (2015), sempre recombinando plantas com elevado valor genético para diminuição da variável, pode-se forçar a diminuição da população do nematoide.

Outra variável-chave na seleção de plantas resistentes a nematoides é o FR. Ela é usada rotineiramente para se classificar qualitativamente a resistência (CARNEIRO et al., 2008; MUNIZ et al., 2009). No entanto, conforme exposto por Rezende (2015), o ganho seletivo somente pode ser auferido se as progênies selecionadas forem recombinadas para a formação da população melhorada. Dessa forma, o ganho de seleção estimado não apresenta significância prática, pois o método utilizado na avaliação foi destrutivo.

Para contornar esse problema, Rezende (2015), trabalhando com a espécie *M. exigua*, propôs que as futuras progênies fossem avaliadas quanto ao IG para se obter um ganho correlacionado com o NOJGR. Depois de

avaliadas para essa característica, as melhores progênies seriam replantadas em vasos para continuar o crescimento até o florescimento, quando seriam recombinadas. Para *M. exigua* a estratégia parece promissora, uma vez que o ganho correlacionado para NOJGR foi o dobro quando se selecionou diretamente para essa variável. Além disso, outro benefício reside no fato da avaliação por IG ser menos trabalhosa do que a contagem de ovos e J2, conforme mencionado anteriormente. Em função dos ganhos obtidos, acredita-se que a população de nematoides nas raízes de plantas submetidas a sucessivos ciclos seletivos pode tender a zero.

Com o objetivo de verificar se a estratégia pode ser adequada ao *M. paranaensis*, estimou-se as respostas correlacionadas entre as variáveis utilizadas, com foco na resposta em NOJGR selecionando-se por IGE. Percebeu-se que para *M. paranaensis*, o ganho indireto é menor que o obtido na seleção direta para NOJGR, 13,24% inferior (Tabela 4). Isso ocorreu devido ao fato da correlação genética entre as variáveis ser de menor magnitude ($r=0,59$), e também pela menor herdabilidade de IGE em relação à NOJGR. Portanto, parece ser uma questão de custo/benefício. É compensatório selecionar por IGE mesmo ciente do menor ganho por ciclo seletivo para NOJGR? Acredita-se que seja uma boa alternativa em fases iniciais dos programas de melhoramento e quando se deseja obter uma população melhorada para se tentar ganhos seletivos ao longo das gerações.

Como essas progênies foram avaliadas também para *M. exigua* (REZENDE, 2015), outra possibilidade visualizada é a obtenção de resistência múltipla. Percebeu-se que as progênies H493-1-2-8-P7B4, H514-7-14-2-P1B3, H518-2-6-1-P5B3 e H518-2-6-1-P8B3 foram resistentes para ambas as espécies de nematoides, com destaque para a progênie H514-7-14-2-P1B3, que foi classificada como a melhor no FR para *M. paranaensis* e, em quarto lugar, para *M. exigua* e também nessa posição para NOJGR, para

as duas espécies. Portanto, infere-se que essas progênies possuem múltiplos alelos de resistência, o que é uma constatação importante no melhoramento para a resistência. Isso se deve ao fato de no campo, ocasionalmente, ocorrerem misturas de espécies de nematoides (CARNEIRO et al., 2005), o que poderia comprometer a eficiência de uma cultivar com resistência à apenas uma delas. Além disso, plantas que possuem diferentes alelos correm menor risco de ter a resistência suplantada pelos parasitos (CASTAGONE-SERENO, 2002; JOHNSON, 1984).

Esse fato reforça a superioridade dessa população de plantas, pois se pode obter uma cultivar resistente e com características agronômicas desejáveis, uma vez que seus genitores já foram avaliados em campo por Rezende et al. (2013, 2014). Uma alternativa promissora é o uso dessas progênies para formação de novas populações segregantes em cruzamento com a cultivar IPR-100, resistente a *M. paranaensis*, podendo gerar indivíduos superiores.

4 CONCLUSÕES

- As variáveis ALT, DIA, MSPA, MFRE, IGE, %SR, NOJGR e FR são correlacionadas geneticamente.
- A escala de nota baseada na presença de galhas e/ou engrossamento nas raízes representa bem a reprodução dos nematoides *M. exigua* e *M. paranaensis*.
- As progênies H514-7-14-2-P1B3, H514-7-16-3-P6B4, H518-2-6-1-P5B3, H518-2-6-1-P8B3, H493-1-2-8-P7B4 apresentam comportamento promissor para resistência a *M. paranaensis*.
- Infere-se que há possibilidade de ganhos seletivos para diminuição da população de nematoides no sistema radicular das progênies.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. V. S. et al. Resistance to *Meloidogyne incognita* express a hypersensitive-like response in *Coffea arabica*. **European Journal Plant Pathology**, London, v. 127, p. 365-373, 2010.

BARBOSA, D. H. S. G. et al. Desenvolvimento vegetativo e reação de genótipos de *Coffea* spp. a uma população de *Meloidogyne exigua* virulenta a cultivares resistentes. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 1-6, 2007.

BARBOSA, D. H. S. G.; VIEIRA, H. D.; SOUZA, S. Avaliação em campo de cultivares de *Coffea arabica* em áreas isenta ou infestada por *Meloidogyne exigua* na região noroeste fluminense: 1., formação da lavoura. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 32, n. 2, p. 101-110, 2008.

BARKER, K. R. Sampling nematode communities. In: BARKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER, J. N. (Ed.). **An advanced treatise on *Meloidogyne***: methodology. Raleigh: North Carolina State University Graphics, 1985. p. 3-17, v. 2.

BARROS, A. F. et al. *Meloidogyne paranaensis* attacking coffee trees in Espírito Santo State, Brazil. **Australasian Plant Disease Notes**, Cham, v. 6, n. 1, p. 43-45, 2011.

BARTLEM, D. G.; JONES, M. G. K.; HAMMES, U. Z. Vascularization and nutrient delivery at root-knot nematode feeding sites in host roots. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 7, p. 1789-1798, 2014.

BOERMA, H.; HUSSEY, R. S. Breeding plants for resistance to nematodes. **Journal of Nematology**, College Park, v. 24, n. 2, p. 242-252, 1992.

BOISSEAU, M. et al. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 38-41, 2009.

CAMPOS, V. P.; VILLAIN, L. Nematode parasites of coffee, cocoa and tea. In: LUC, M.; SIKORA, R. A, BRIDGE, J. (Ed.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford: CAB International, 2005. p. 529-579.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematoides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 35-44, 2001.

CARNEIRO, R. M. D. G.; CARNEIRO, R. G.; ABRANTES, I. M. O. *Meloidogyne paranaensis* n.sp., a root-knot nematode parasitizing coffee in Brazil. **Journal of Nematology**, College Park, v. 28, p. 177-189, 1996.

CARNEIRO, R. D. M. G. et al. Identificação e caracterização de espécies de *Meloidogyne* em cafeeiro nos Estados de São Paulo e Minas Gerais através dos fenótipos de esterase e SCAR-multiplex-PCR. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 233-241, 2005.

CARNEIRO, R. M. D. G. et al. Pathogenicity of *Meloidogyne* spp.(Tylenchida: Meloidogynidae) from Brazil and Central America on two genotypes of *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 309-312, 2008.

CARVALHO, A. M. et al. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 269-275, 2010.

CARVALHO FILHO, J. L. S. et al. Parâmetros populacionais e correlação entre características da resistência a nematoides de galhas em alface. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 46-51, 2011.

CASTAGNONE-SERENO, P. et al. Diversity and evolution of root-knot nematodes, genus *Meloidogyne*: New insights from the genomic era. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 51, p. 203-220, 2013.

CASTAGNONE-SERENO, P. Genetic variability of nematodes: a threat to the durability of plant resistance genes? **Euphytica**, Wageningen, v. 124, n. 2, p. 193-199, 2002.

CASTRO, J. M. C. et al. Levantamento de fitonematoides em cafezais do Sul de Minas Gerais. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 56-64, fev. 2008.
CHEN, Y.; LUBBERSTEDT, T. Molecular basis of trait correlations. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 15, n. 8, p. 454-461, 2010.

COOK, R. Genetic resistance to nematodes: where is it useful. **Australasian Plant Pathology**, Clayton, v. 33, n. 2, p. 139-150, 2004.

DIAS, P. P. et al. Avaliação do desenvolvimento vegetativo e do comportamento de mudas de café (*Coffea arabica*) infectadas ou não por uma população fluminense de *Meloidogyne exigua*. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2009.

GOELDI, E. A. Relatório sobre a moléstia do cafeeiro na Província do Rio de Janeiro. **Archivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 7-123, 1887.

GONÇALVES, W. et al. Patogenicidade de *Meloidogyne exigua* e *M. incognita* raça 1 a mudas de cafeeiros. **Bragantia**, Campinas, v. 55, p. 89-93, 1996.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M. B. A luta contra a doença causada pelos nematoides parasitos do cafeeiro. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 54-57, 2007.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 57, p. 1025-1028, 1973.

ITO, D. S. et al. Progênies de café com resistência aos nematóides *Meloidogyne paranaensis* e raça 2 de *Meloidogyne incognita*. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 156-163, 2008.

JOHNSON, R. A critical analysis of durable resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 22, p. 309-30, 1984.

KINLOCH, R. A.; HIEBSCH, C. K.; PEACOCK, H. A. Gallings and yields of soybean cultivars grown in *Meloidogyne arenaria*-Infested Soil. **Journal of nematology**, College Park, v. 19, n. 2, p. 233, 1987.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, p. 481-489, 2007.

MATA, J. S. et al. Resistência de genótipos de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) de São Jorge do Patrocínio ao nematóide *Meloidogyne paranaensis* (EMN2001.07). **SBPN – Scientific Journal**, São Paulo, v. 6, p. 34-36, 2002.

MIRANDA, J. E. C.; COSTA, C. P.; CRUZ, C. D. Correlações genotípica, fenotípica e de ambiente entre caracteres de fruto e planta de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 457-468, 1988.

MOURA, R. M. Gênero *Meloidogyne* e a Meloidoginose: parte II. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 5, p. 281-315, 1997.

MUNIZ, M. D. F. S. et al. Reaction of coffee genotypes to different populations of *Meloidogyne* spp.: detection of a naturally virulent *M. exigua* population. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 370-378, 2009.

NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, A. L.; CECON, P. R. Associação entre características da parte aérea e do sistema radicular em mudas de guaranazeiro por correlações canônicas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 2, p. 241-244, 2012.

QUENOUILLE, J. et al. Farther, slower, stronger: how the plant genetic background protects a major resistance gene from breakdown. **Molecular Plant Pathology**, Bristol, v. 14, n. 2, p. 109-118, 2013.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RESENDE, M. D. V. **Software Selegen–REML/BLUP**. Curitiba: Embrapa Florestas, 2002. 67 p. (Documentos, 77).

REZENDE, R. M. et al. Agronomic traits of coffee tree progenies from Timor Hybrid x Catuaí crossing. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 775-780, 2014.

REZENDE, R. M. et al. Resistance of *Coffea arabica* progenies in field conditions infested by *Meloidogyne exigua*. **Nematopica**, Bradenton, v. 43, n. 2, p. 233-240, 2013.

REZENDE, R. M. Progressos genéticos e reação de cafeeiros arábica a *Meloidogyne exigua*. In: _____. **Progressos genéticos, desempenho agrônômico e reação de progênies de cafeeiros arábica a *Meloidogyne exigua* e *M. paranaensis***. 2015. 117 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015. p. 62-89.

ROBERTS, P. A. Current status of the availability, development, and use of host plant resistance to nematodes. **Journal of Nematology**, Orlando, v. 24, n. 2, p. 213-227, 1992.

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**, Londrina, v. 14, p. 94-101, 2014.

SAS INSTITUTE. **User's guide: statistics**. Cary, 2009.

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

SEINHORST, J. W. The relationships between population increase and population density in plant parasitic nematodes. **Nematologica**, Leiden, v. 13, n. 1, p. 157-171, 1967.

SEMBLAT, J. et al. Virulence and molecular diversity of parthenogenetic root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. **Heredity**, London, v. 84, p. 81-89, 2000.

SERA, T. et al. Identificação de cafeeiros resistentes aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 2 e 1 em populações de Icatu (*Coffea arabica*). **Scientific Journal**, São Paulo, v. 8, p. 20, 2004.

SERA, G. H. et al. Progenies de *Coffea arabica* cv IPR-100 resistentes ao nematóide *Meloidogyne paranaensis*. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 43-49, 2007.

SERA, G. H. et al. Reaction of coffee cultivars Tupi IAC 1669-33 and IPR 100 to nematode *Meloidogyne paranaensis*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 9, n. 4, p. 293-298, 2009.

SILVA, R.V. et al. Respostas de genótipos de *Coffea* spp. a diferentes populações de *Meloidogyne exigua*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 205-212, 2007.

SOUZA, S. R. et al. **Ocorrência de *Meloidogyne paranaensis* em lavouras cafeeiras da Região Sul de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG-URESM, 2014. 2 p. (Circular Técnica, 191).

TAYLOR, A. C.; SASSER, J. N. **Biology, identification and control of root-knot nematodes**: International *Meloidogyne* Project. Raleigh: North Carolina State University Graphics, 1978. 111 p.

YAN, W.; FREGEAU-REID, J. Breeding line selection based on multiple traits. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 2, p. 417-423, 2008.