



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

FERNANDO CESAR CARDUCCI

**RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA À
MANCHA-DE-OLHO-PARDO E AO NEMATOIDE
MELOIDOGYNE PARANAENSIS IDENTIFICADA VIA
REML/BLUP**

Londrina
2021

FERNANDO CESAR CARDUCCI

**RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA À
MANCHA-DE-OLHO-PARDO E AO NEMATOIDE
MELOIDOGYNE PARANAENSIS IDENTIFICADA VIA
REML/BLUP**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Inês Cristina de
Batista Fonseca

Co-orientador: Dr. Gustavo Hiroshi Sera

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

V146 Cesar Carducci, Fernando.

Resistência de genótipos de café arábica à mancha-de-olho-partes e ao nematoide *Meloidogyne paranaensis* identificada via reml/blup / Fernando Cesar Carducci. - Londrina, 2022. 94 f.

Orientador: Inês Cristina de Batista Fonseca. Coorientador: Gustavo Hiroshi Sera.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Coffea arabica - Tese. 2. Modelo misto - Tese. 3. Parâmetros genéticos - Tese. 4. Valor genético aditivo - Tese. I. Fonseca, Inês Cristina de Batista. II. Sera, Gustavo Hiroshi. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

FERNANDO CESAR CARDUCCI

**RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA À
MANCHA-DE-OLHO-PARDO E AO NEMATOIDE
MELOIDOGYNE PARANAENSIS IDENTIFICADA VIA
REML/BLUP**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Inês Cristina de
Batista Fonseca
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Hiroshi Sera
Instituto de Desenvolvimento Rural do
Paraná -IAPAR-EMATER – IDR-Paraná

Dr.^a Flavia Rodrigues Alves Patrício CAPSA
- Instituto Biológico

Dr.^a Juliana Costa de Rezende Abrahão
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas
Gerais – EPAMIG

Dr.^a Luciana Harumi Shigueoka
Instituto de Desenvolvimento Rural do
Paraná -IAPAR-EMATER – IDR-Paraná

Prof.^a Dr.^a Suzana Tiemi Ivamoto Suzuki
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 13 de agosto de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente Deus, por todas as coisas boas presentes na minha vida.

À Universidade Estadual de Londrina, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER, por toda estrutura e pelo conhecimento transmitido pelos docentes durante o trabalho desenvolvido.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

A professora Dra Inês pela orientação, conhecimento científico, apoio, confiança e amizade.

Ao pesquisador Dr. Gustavo pela oportunidade receber orientação, amizade, conhecimento técnico e científico, além da confiança durante o desenvolvimento do projeto.

A pesquisadora Dra. Flavia que me orientou durante os experimentos de Cercospora no Instituto Biológico em Campinas-SP e pela amizade, preocupação comigo na cidade durante a pandemia.

Ao pesquisador Tumoru por sempre disposto a passar seus conhecimentos durante os cafezinhos.

Aos integrantes da comissão examinadora pela presença e contribuições para a melhoria do trabalho.

Aos funcionários, IDR Paraná – IAPAR, pela colaboração, nos trabalhos de campo.

Aos amigos de trabalho Valdir, Kawana, Carlos, Marco, Harumi, Nathan, Angelita, Dhalton, Hamanaka e José Alves que durante esses anos sempre colaboram de alguma forma e momentos de descontração deixando um ambiente de trabalho agradável.

Meus pais Ademir, Rosangela e meu irmão Giovanni e meus avós Maria (*in memoria*) e Carlino que sempre estiveram me dando apoio.

A minha namorada Ana Beatriz que sempre me apoiou e está sempre me ajudando.

CARDUCCI, Fernando Cesar. **Resistência de genótipos de café arábica à mancha-de-olho-pardo e ao nematoide *Meloidogyne paranaensis* identificada via REML/BLUP**. 2021.93 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

A doença mancha-de-olho-pardo (MOP) e o nematoide *M. paranaensis* (MP) provocam perdas econômicas significativas para a cultura do café arábica no Brasil. O uso de cultivares resistentes é considerada uma das principais alternativas para o controle da MOP e MP, porém atualmente existem poucas cultivares identificadas com resistência. No estudo de avaliação e seleção genética em plantas perenes, a metodologia de modelos lineares mistos REML/BLUP tem sido amplamente utilizada, pois fornece resultados mais realistas e permite lidar com as condições de desbalanceamento dos dados. Os objetivos desse trabalho foram: a) estimar parâmetros genéticos relacionados à resistência à MOP e à MP; b) identificar cafeeiros com resistência à MOP e à MP por meio do valor genotípico; c) prever o ganho genético das progênies para resistência à MP. O experimento para avaliar a resistência à MOP foi instalado no Instituto Biológico em Campinas, SP, Brasil, utilizando mudas com nove a dez pares de folhas de 13 cultivares de café arábica denominadas IPR 98, IPR 99, IPR 100, IPR 102, IPR 103, IPR 106, IPR 107, IPR 108, IAC Ouro Verde, Icatu Vermelho IAC 4045, Arara, Catuaí Vermelho IAC 99 e Mundo Novo IAC 376-4 e uma progênie F4 denominada Piatã IAC 387. Essas mudas foram inoculadas com isolados de *C. coffeicola* do Instituto Biológico. Após as inoculações, o experimento no viveiro foi instalado no delineamento inteiramente casualizado, com 12 repetições de uma planta, sendo que para cada planta foram avaliados os três primeiros pares de folhas totalmente expandidos. Foram realizadas três avaliações da severidade da MOP, nos períodos 74 dias após a inoculação (DAI), 91 DAI e 105 DAI. As mudas foram mantidas no viveiro até o momento da coleta da parte aérea para análise foliar de macronutrientes e micronutrientes. A severidade da MOP foi avaliada por meio da contagem do número de lesões por folha (NL) e pela área foliar lesionada (AL), utilizando uma escala diagramática de notas de 1 a 6. A resistência à MP foi avaliada em 45 progênies F7 de Icatu IAC 925 x Sarchimor IAC 1669-33 do programa de melhoramento do IDR-Paraná, em um experimento conduzido em casa de vegetação no IDR-Paraná, em Londrina, Paraná, Brasil. Em cada planta foram inoculados 1000 ovos e juvenis J2. Aos 120 dias após a inoculação, foram realizadas as avaliações das variáveis fator de reprodução (FR) e número de nematoides por grama de raízes (NGR). Foi empregada a metodologia de modelo misto da máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viciada (REML/BLUP) para estimar os componentes de variância, parâmetros genéticos, valores genotípicos e efeito genético aditivo, além de prever o ganho genético. Os valores de acurácia seletiva e das herdabilidades foram maiores quando a severidade da MOP foi avaliada pela AL do que pelo NL. Consequentemente, para essa última variável seriam necessárias um maior número de avaliações para atingir magnitudes altas dos parâmetros. A cultivar IPR 106 apresentou o maior nível de resistência, seguido pelo genótipo Piatã IAC 387. IPR 103 e IPR 99 foram mais resistentes que outras cultivares, no entanto, foram mais suscetíveis do que IPR 106 e Piatã IAC 387. Para resistência à MP os valores de herdabilidade individual no sentido restrito (h^2_a) estimados para ambas as variáveis demonstraram baixa magnitude. Contudo, os coeficientes de herdabilidade restrita para média de progênies (h^2_m) apresentaram valores de 0,49 para FR e 0,50 para NGR, caracterizados como magnitudes médias. Por meio da metodologia REML/BLUP, foi possível identificar maiores ganhos genéticos para resistência à *Meloidogyne paranaensis* com as sete progênies F7 selecionadas.

Palavras-chave: cercospora coffeicola; nematoide das galhas; coffea arabica; melhoramento genético; modelos mistos; parâmetros genéticos.

CARDUCCI, Fernando Cesar. **Resistance of Arabica coffee genotypes to brown-eyed spot and to the nematode *Meloidogyne paranaensis* identified by REML/BLUP**. 2021.93 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

Brown-eyed spot disease (BES) and the nematode *M. paranaensis* (MP) cause significant losses for the Arabica coffee crop in Brazil. The use of resistant cultivars is considered one of the main alternatives for the control of BES and MP, but currently there are identified few cultivars with resistance. In the study of genetic and selection evaluation in perennial plants, the methodology of mixed linear models REML/BLUP has been used, as it provides more realistic results and allows dealing with unbalanced data conditions. The objectives of this study were: a) to estimate genetic parameters related to resistance to BES and MP; b) to identify coffee trees with resistance to BES and MP through genotypic value; c) to predict the genetic gain of the progenies for resistance to MP. The experiment to evaluate resistance to BES was carried out at Instituto Biológico in Campinas, SP, Brazil, using seedlings with nine to ten pairs of leaves of 13 Arabica coffee cultivars named IPR 98, IPR 99, IPR 100, IPR 102, IPR 103, IPR 106, IPR 107, IPR 108, IAC Ouro Verde, Icatu Vermelho IAC 4045, Arara, Catuaí Vermelho IAC 99 and Mundo Novo IAC 376-4 and a F4 progeny named Piatã IAC 387. These seedlings were inoculated with *C. coffeicola* of the Instituto Biológico. After inoculations, the experiment in the nursery was installed in a completely randomized design, with 12 replications of a plant, and for each plant the first three pairs of fully expanded leaves were evaluated. There were three evaluations for the severity of BES, in the periods 74 days after inoculation (DAI), 91 DAI and 105 DAI. The seedlings were kept in the nursery until the moment of collection of the aerial part for leaf analysis of macronutrients and micronutrients. The severity of BES was evaluated by counting the number of lesions per leaf (NL) and by lesioned leaf area (LA), using a diagrammatic scale from 1 to 6. The resistance to MP was evaluated in 45 F7 progenies of Icatu IAC 925 x Sarchimor IAC 1669-33 of the IDR-Paraná breeding program, in an experiment conducted in a greenhouse at the IDR-Paraná, in Londrina, Paraná, Brazil. In each plant 1000 eggs and J2 juveniles were inoculated. At 120 days after inoculation, evaluations of the variables reproduction factor (RF) and number of nematodes per gram of roots (NGR) were obtained. The mixed model methodology of restricted maximum likelihood and best linear unbiased prediction (REML/BLUP) was used to estimate the variance components, genetic parameters, genotypic values and additive genetic effect, in addition to predict the genetic gain. Selective accuracy and heritability values were higher when BES severity was evaluated by LA than by NL. Consequently, for the last variable a greater number of evaluations is needed to reach the high magnitudes of the parameters. Cultivar IPR 106 has the highest level of resistance, followed by Piatã IAC 387, IPR 103 and IPR 99 were more resistant than other genotypes, however, they were more susceptible than IPR 106 and Piatã IAC 387. For resistance to MP the individual heritability values in the narrow sense (h^2_a) estimated for both variables demonstrated low magnitude. However, the restricted heritability coefficients for the average of progenies (h^2_m) were 0.49 for RF and 0.50 for NGR, characterized as medium magnitudes. Through the REML/BLUP methodology, it was possible to identify greater genetic gains for resistance to *Meloidogyne paranaensis* with the seven selected F7 progenies.

Key words: cercospora coffeicola; root-knot nematode; coffea arabica; genetic breeding; mixed model; genetic parameters.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	CAFÉ	15
2.2	O GÊNERO COFFEA	15
2.2.1	Coffea arabica	16
2.2.2	Melhoramento Genético do Café Arábica no Brasil	17
2.4	MANCHA-DE-OLHO-PARDO	19
2.4.1	Agente Causal	19
2.4.2	Sintomas, Perdas e Danos	20
2.4.3	Infecção, Disseminação e Condições Ambientais Favoráveis	21
2.4.4	Medidas de Controle	22
2.5	NEMATOIDES	26
2.5.1	Sintomas, Danos e Perdas	26
2.5.2	Medidas de Controle do Meloidogyne paranaensis	27
2.5.3	Resistência à M. paranaensis	29
2.6	PRINCIPAIS CARACTERES AVALIADOS NOS PROGRAMAS DE MELHORAMENTO DE CAFÉ	29
2.7	BASE GENÉTICA DE CARACTERES QUANTITATIVOS	31
2.8	COMPONENTES DE VARIÂNCIA E PARÂMETROS GENÉTICOS	32
2.9	COEFICIENTE DE HERDABILIDADE	32
2.10	NATUREZA DOS EFEITOS ESTATÍSTICOS	33
2.11	METODOLOGIA DE MODELO MISTO REML/BLUP	34
2.11.1	Restricted Maximum Likelihood (REML)	35
2.11.2	Best Linear Unbiased Prediction (BLUP)	36
3	ARTIGO A: RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE CAFÉ À MANCHA- DE-OLHO-PARDO IDENTIFICADA VIA REML/BLUP	38
3.1	RESUMO	38
3.2	ABSTRACT	38
3.3	INTRODUÇÃO	39
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	41

3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.6	CONCLUSÃO	53
4	ARTIGO B. PREDIÇÃO DE GANHOS GENÉTICOS E ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS PARA RESISTÊNCIA AO NEMATOIDE MELOIDOGYNE PARANAENSIS EM PROGÊNIES DE CAFÉ ARÁBICA	55
4.1	RESUMO	55
4.2	ABSTRACT	55
4.3	INTRODUÇÃO	56
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	59
4.4.1	GENÓTIPOS	59
4.4.2	CONDUÇÃO E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	59
4.4.3	OBTENÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E INOCULAÇÃO DOS NEMATOIDES	59
4.4.4	AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA	60
4.4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	60
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.6	CONCLUSÕES.....	67
5	CONCLUSÕES GERAIS	68
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais commodities agrícolas mundiais e o Brasil representa o maior produtor e exportador mundial. As duas principais espécies de café cultivadas no mundo são *Coffea arabica* L. e *C. canephora* Pierre. A cultura do café proporciona alta rentabilidade para produtores que adotam tecnologias adequadas, podendo alcançar facilmente rendimento superiores a 50 sacas beneficiadas por hectare, bem acima da média nacional que é cerca de 25 sacas.

No Brasil, diversos fatores bióticos podem afetar o rendimento da cultura, como ferrugem alaranjada, mancha aureolada, mancha-de-olho-pardo (MOP) e nematoides do gênero *Meloidogyne*. Essas doenças provocam perdas econômicas significativas para a cultura do café arábica no Brasil. O uso de cultivares resistentes é considerada uma das principais alternativas para o controle de doenças.

A MOP é causada pelo fungo *Cercospora coffeicola* Berk. e Cooke, e representa uma das principais doenças por ser amplamente distribuída e por ocasionar perdas significativas para a cultura. As perdas provocadas pela MOP estão relacionadas com os sintomas nas folhas e nos frutos, os quais ocasionam a queda dessas estruturas, com conseqüente perda de produtividade e qualidade de bebida. As principais medidas de controle da MOP são químico, cultural e genético, com destaque para a primeira, que é a mais utilizada.

O controle genético por meio do uso das cultivares com resistência é viável, pois existe variabilidade genética para essa característica, no entanto existem poucos estudos sobre essa resistência. Fontes de resistência têm sido identificadas em genótipos de *C. arabica* com introgressão de *C. canephora* como em derivados do Híbrido de Timor e Icatu, além do Piatã, que é um *C. arabica* com introgressão de *C. liberica* var. *dewevrei*. Geralmente, os níveis de resistência desses genótipos são intermediários, indicando se tratar de resistência do tipo quantitativa.

Como parece ser um carácter muito influenciado pelo ambiente, são necessários mais estudos para comprovar a resistência à MOP das cultivares e outros genótipos. Diversos nematoides parasitam as raízes do cafeeiro, porém os principais são as espécies *M. paranaensis* (MP), *M. incognita* (MI) e *M. exigua* (MEX). As duas primeiras possuem alta agressividade, causando declínio geral e até mesmo a morte da planta em pouco tempo, enquanto a última é menos agressiva. *M. paranaensis* e *M. incognita* estão disseminadas, principalmente, nos estados de São Paulo e do Paraná, e vem se tornando uma grave ameaça

para a cafeicultura brasileira, pois está se espalhando rapidamente para várias regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais, o maior produtor brasileiro.

Outro problema é que cerca de 80% das lavouras brasileiras são constituídas das cultivares dos grupos Catuaí e Mundo Novo, ambas suscetíveis às três espécies e, além disso, outras medidas de controle como químico, cultural e biológico, são de baixa ou moderada eficiência, principalmente, para MP e MI. A resistência genética é uma das principais medidas de controle de *Meloidogyne* spp. em lavouras cafeeiras, podendo ser utilizada via porta-enxerto ou pé franco.

No passado, para áreas infestadas com essas três espécies, era recomendada somente a cultivar e porta-enxerto resistente Apoatã IAC 2258 de *C. canephora*. Atualmente, além desse porta-enxerto, também vem sendo recomendada as cultivares pé franco de café arábica IPR 100 e IPR 106, que possuem resistência à MP e MI, sendo que a primeira também é resistente à MEX. Altos níveis de resistência à MEX são encontrados em várias espécies de *Coffea* (ex. *C. arabica* silvestres da Etiópia, *C. canephora*, *C. liberica*, *C. racemosa*, etc.) e em várias cultivares de café arábica com introgressão de *C. canephora* como as derivadas de Sarchimor e Icatu.

As fontes de resistência à MP e à MI são mais restritas e, geralmente, são encontradas em *C. arabica* silvestres da Etiópia, *C. canephora*, *C. arabica* com introgressão de *C. canephora* como o Icatu e *C. arabica* com introgressão de *C. liberica* como o BA-10. No Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná) existem várias progênies derivadas do Icatu IAC 925, em gerações avançadas de autofecundação, com alto potencial de se tornarem cultivares resistentes à MP e à MI.

Os programas de melhoramento de café no Brasil desenvolveram 137 cultivares de café arábica, proporcionando grandes contribuições para o aumento da produtividade e da resistência às pragas e doenças. Para isso a busca por fontes de resistência tanto para MOP quanto para nematoides são de grande importância e por ser uma planta perene, o melhoramento para todos os caracteres demanda um longo tempo. Muitos desses caracteres trabalhados no melhoramento são poligênicos, assim, são necessárias metodologias de análises estatísticas que permitam um melhor estudo dessas fontes de resistência.

No estudo de avaliação e seleção genética em plantas perenes, a metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP) tem sido amplamente utilizada, pois fornece resultados mais realistas e permite lidar com as condições de desbalanceamento dos dados. Através o procedimento REML (*Restricted Maximum Likelihood*) é possível obter a decomposição dos componentes de variância fenotípica, genética e ambiental, além da

estimação dos parâmetros genéticos não viesados. As estimativas dos componentes de variância obtidas via REML são utilizadas para a predição dos valores genéticos pelo BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*). Portanto, os objetivos desse trabalho foram: a) estimar parâmetros genéticos relacionados à resistência à MOP e à MP; b) identificar cafeeiros com resistência à MOP e à MP por meio do valor genotípico; c) estimar o ganho genético das progênes para resistência à MP.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CAFÉ

O café é uma das principais *commodities* agrícolas mundiais, sendo produzido em larga escala em aproximadamente 60 países das regiões tropicais e subtropicais. Desses países, somente 15 produzem acima de 1 milhão de sacas beneficiadas de 60 kg (scs) por ano. Em 2020, a safra mundial de café foi 175,347 milhões de scs, sendo 105,262 milhões (60%) de *Coffea arabica* (café arábica) e 70,086 milhões (40%) de *C. canephora* (café robusta). O Brasil produziu 62,5 milhões de scs, ou seja, 36,8% da safra mundial, o que o coloca como maior produtor e exportador mundial (ICO, 2021).

Em 2021, a área total cultivada no país com café (arábica e robusta) totaliza 2,18 milhões hectares. Desse total, 431,9 mil hectares (15,5%) estão em formação e 1,77 milhão de hectares (81,1%) em produção. Pela estimativa de 2021, o maior estado produtor será Minas Gerais com 51,9% da produção brasileira, seguido por Espírito Santo (25,1%), São Paulo (9,1%), Bahia (6,0%), Rondônia (4,1%), Paraná (2,1%), Rio de Janeiro (0,6%), Goiás (0,5%) e Mato Grosso (0,2%). A produtividade média brasileira é estimada em 27,63 scs/ha, isso equivale à redução de 16,5% em relação à safra passada (CONAB, 2021).

A cadeia produtiva de café brasileira é bastante complexa, podendo ser dividida em: fornecedores de insumos para a produção agrícola, produtores rurais, cooperativas, corretores, indústria (torrefação e moagem, solúvel, cápsulas) exportadoras de café verde, atacado interno e externo e, por fim, os consumidores (CONCEIÇÃO, 2017). Com essa cadeia são gerados empregos e renda para vários setores de produção, comércio, indústria e serviços, além de arrecadar taxas e impostos para os governos dos estados e municípios. O café é responsável por significativa geração de divisas para o país e no ano de 2020 gerou 5,14 bilhões de dólares somente em exportações (CECAFÉ, 2021).

2.2 O GÊNERO *COFFEA*

O uso de caracteres morfológicos e marcadores moleculares possibilitaram a reformulação do arcabouço taxonômico do cafeeiro (DAVIS et al., 2005, 2006, 2011; MAURIN et al., 2007). Atualmente, o cafeeiro pertence à família Rubiaceae, subfamília Ixoroideae, tribo Coffeae DC. e compreende os gêneros *Coffea* L. e *Psilanthus* Hook.f. Esses dois gêneros

agrupam 124 espécies que ocorrem naturalmente na zona intertropical que cobre os continentes da África, Ásia e Oceania (DAVIS et al., 2011).

Novas alterações na taxonomia serão propostas em breve e as atuais espécies de *Psilanthus* deverão ser transferidas para o gênero *Coffea*. Assim, o nome *Coffea* deverá prevalecer por ter sido objeto de publicação mais antiga. *Coffea* foi descrito em 1753 por Lineu, enquanto *Psilanthus* foi descrito em 1873 por J.D. Hooker. Os novos binômios necessários para a transferência das espécies de *Psilanthus* para *Coffea* já estão sendo providenciados pelos taxonomistas. Com a inclusão das espécies existentes e a descrição daquelas recém-descobertas na África e em Madagascar, é estimado que o gênero *Coffea* alcance a marca de 130 espécies (DAVIS et al., 2011).

As duas principais espécies de importância econômica mundial são *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre. As demais espécies são utilizadas predominantemente em programas de melhoramento genético como é o caso de *C. liberica*, *C. dewevrei*, *C. congensis*, *C. racemosa*, *C. eugenoides*, *C. kapakata*, *C. stenophylla*, *C. salvatrix*, etc. No Brasil, *C. arabica* também pode ser chamado de café arábica, enquanto *C. canephora* é chamado de café robusta ou conilon.

2.2.1 *Coffea arabica*

C. arabica é uma planta perene e autógama por cleistogamia (SAKIYAMA, 2015). Apesar de ser autofértil, possui cerca de 10% de polinização cruzada (MÔNACO et al., 1963) e vários estudos de natureza genética (CHARRIER; BERTHAUD, 1985), citológica (PINTO-MAGLIO; CRUZ, 1987), relacionados à origem geográfica (MÔNACO et al., 1963), e através de estudos moleculares comprovaram que *C. arabica* foi originada de uma hibridação espontânea de gametas não reduzidos entre duas espécies diploides de café intimamente relacionadas, *C. canephora* e *C. eugenoides* (YU et al., 2011).

O fruto é climatérico e, quando maduro, é conhecido como cereja, podendo apresentar exocarpo de cor vermelha ou amarela. O fruto é do tipo drupa, com duas sementes chatas que possuem um sulco ventral no sentido longitudinal. A semente possui uma película, endosperma verdadeiro de cor verde e um pequeno embrião com dois cotilédones. Devido à cor do endosperma, o grão de café cru é comercialmente chamado de café verde (*green coffee*) (SAKIYAMA, 2015).

É uma espécie nativa da região localizada entre sudoeste da Etiópia, sudeste do Sudão e norte do Quênia, que são regiões com altitudes elevadas, variando entre 1000 a 3000

metros (ANTHONY et al., 2001). Nessas regiões, a temperatura média anual do ar é cerca de 20°C, com precipitação pluvial bem distribuída, variando de 1600 a mais de 2000 mm, e uma estação seca durando de três a quatro meses, coincidindo com o período mais frio (DAMATTA; RAMALHO, 2006)

C. arabica é um alotetraploide verdadeiro com 44 cromossomos, enquanto *C. canephora* e as demais espécies do gênero *Coffea* são diploides com 22 cromossomos. O número básico de cromossomos de *C. arabica* é 11, com segregação genética típica de espécies diploides para a maioria dos *loci* estudados, porém uma pequena parte dos *loci* apresenta desvio dessa segregação com herança tetrassômica ou distorção da segregação (TEIXEIRA-CABRAL et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2011). O tamanho estimado do genoma de *C. arabica* é de 2,56 x 10⁹ pares de bases (CLARINDO; CARVALHO, 2009).

2.2.2 Melhoramento Genético do Café Arábica no Brasil

O melhoramento de café proporcionou grandes contribuições para o aumento da produtividade e da qualidade. Por ser uma planta perene, o melhoramento para todos os caracteres demanda um longo tempo (PEREIRA, 2010), podendo ser mais de 30 anos pelo método genealógico convencional, podendo ser reduzido para 23 anos, se utilizado algumas estratégias (SERA, 2001). É muito comum a utilização do método genealógico para o desenvolvimento de cultivares do tipo linha pura. Outros métodos também podem ser utilizados como SSD, Bulk e Retrocruzamentos (SERA, 2001; SAKIYAMA et al., 2005; MEDINA-FILHO et al., 2008).

As cultivares Typica e Bourbon Vermelho foram as primeiras introduzidas no Brasil, nos anos de 1727 (CAMARGO; TELES JÚNIOR, 1953) e 1859 (TEIXEIRA et al., 2004), respectivamente, sendo essa última considerada de maior produtividade. Após isso, foi introduzida a cultivar Sumatra, que é uma essencialmente derivada de Typica com maior produtividade (CARVALHO, 1952). Mutações e híbridos espontâneos de Typica e Bourbon foram aproveitados pelos programas de melhoramento, originando as cultivares Maragogipe, Amarelo de Botucatu, Caturra Vermelho, Caturra Amarelo e Bourbon Amarelo (MÔNACO, 1960; PEREIRA; BAIÃO, 2015).

O melhoramento genético de café no Brasil foi intensificado a partir do ano de 1933, quando foi criada a Seção de Genética do Instituto Agrônomo (IAC) em Campinas (CARVALHO; FAZUOLI, 1993). A partir de 1943, o IAC iniciou várias seleções em um cafeeiro originado de um cruzamento espontâneo entre as cultivares Sumatra e Bourbon

Vermelho, que a partir de 1952 começou a ser multiplicada com a denominação Mundo Novo. Novas seleções de Mundo Novo foram realizadas pelo IAC a partir de 1977 (CARVALHO, 1981, 1985).

Em experimentos conduzidos em Campinas, Jaú e Mococa, no estado de São Paulo, verificou-se que as melhores progênies de Mundo Novo chegaram a produzir: 80% a mais que o material original, sem seleção; 50% a mais do que as melhores seleções de Bourbon Amarelo; 95% a mais que as melhores seleções de Bourbon Vermelho e 240% a mais do que as progênies de 'Typica' (FAZUOLI et al., 2008). Em 1949, o IAC hibridizou artificialmente o genótipo Caturra Amarelo IAC 476-11 com Mundo Novo IAC 374-19, originando as cultivares do grupo Catuaí a partir de 1972. O intuito desse cruzamento foi transmitir os alelos responsáveis pelo porte baixo (*CtCt*) de Caturra Amarelo para Mundo Novo (CARVALHO et al., 2008). Assim, ganhos expressivos na produtividade foram obtidos com ambas as cultivares desenvolvidas.

Segundo Chalfoun e Reis (2010), ainda as cultivares mais plantadas no Brasil são do grupo Catuaí e Mundo Novo. Essas cultivares são produtivas e possuem ampla adaptabilidade no Brasil, porém são suscetíveis à ferrugem e a outras doenças (FAZUOLI et al., 2007). O aumento da produtividade ainda é um dos principais desafios dos programas de melhoramento de café do Brasil, sendo que as cultivares desses dois grupos, normalmente são utilizados como controles a serem superados pelos programas de melhoramento.

Por esses motivos, no início da década de 1970, após a constatação da doença ferrugem alaranjada no País, foram iniciados outros programas de melhoramento visando a resistência à essa doença em várias instituições brasileiras, como EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) (PEREIRA et al., 2013), IAC (FAZUOLI et al., 2007), IAPAR (SERA, 2001) e ex-IBC (MEDINA FILHO et al., 2008), utilizando como fontes de resistência cafeeiros arábicos com introgressão de *C. canephora* como Icatu e Híbrido de Timor, e com introgressão de *C. liberica* como derivados da série BA.

Além da resistência à ferrugem, foram iniciadas outras linhas de pesquisa, com o objetivo de desenvolver cultivares com: resistência às pragas e doenças, resistência à fatores abióticos, diferentes ciclos de maturação dos frutos, entre outras características, sempre aliadas à alta produtividade (SERA, 2001; FAZUOLI et al., 2007; MEDINA FILHO et al., 2008). Após intenso melhoramento genético feito pelos melhoristas do Brasil, nos últimos 40 anos, foi possível lançar cultivares originadas de diferentes origens como: Villa Sarchí x Híbrido de Timor (Sarchimor), Caturra x Híbrido de Timor (Catimor) Icatu, Catuaí x Mundo Novo, Icatu x Catuaí, Catuaí x Híbrido de Timor, Catimor x Acaiá, Sarchimor x Catuaí,

Sarchimor x Mundo Novo, Catuaí x (Catuaí x BA-10) e Icatu x Catimor (CARVALHO et al., 2008; PEREIRA; BAIÃO, 2015; MATIELLO et al., 2016).

A produtividade do Catuaí Vermelho IAC 144 foi superada no noroeste do estado do Rio de Janeiro pelas cultivares Catucaí Amarelo 20/15, Sabiá 398, Catiguá MG 02, Catucaí Amarelo 24/137, IPR 103, IPR 100 e Acauã (RODRIGUES et al., 2014). Sabiá 398 foi mais produtivo do que Catuaí Amarelo IAC 74 no município de Varginha, estado de Minas Gerais (PAIVA et al., 2010) e, em quatro locais no estado do Paraná, a cultivar IPR 102 também produziu mais (SERA et al., 2017a). Em um estudo mais amplo, efetuado em quatro ambientes de Minas Gerais, foi observado que Sabiá Tardio, Pau Brasil MG1, Obatã IAC 1669-20, Catucaí Amarelo 24/137 e IPR 103 destacaram-se por serem as mais produtivas, com estabilidade e adaptabilidade independentemente do ambiente, além de possuírem resistência total ou parcial à ferrugem (CARVALHO et al., 2012).

Apesar de existir muitas cultivares no Brasil, a base genética de *C. arabica* é bastante estreita e a maioria das cultivares dessa espécie foi derivada de duas formas botânicas: *Typica* e *Bourbon* (CARVALHO, 1993). Híbrido de Timor, Icatu e cafeeiros da série BA também contribuíram para ampliar a base genética das cultivares modernas de café arábica, pois possuem genes de *C. canephora* e *C. liberica*. Uma diversidade genética maior do que nesses genótipos é observada em cafeeiros arábicos silvestres oriundos da Etiópia, os quais possuem grande potencial de serem utilizados no melhoramento (SILVESTRINI et al., 2007).

2.4 MANCHA-DE-OLHO-PARDO

2.4.1 Agente Causal

A mancha-de-olho-pardo (MOP) é causada pelo fungo *Cercospora coffeicola* Berk. e Cooke e foi identificada pela primeira vez em 1881 por Berkeley e Cooke, causando infecção em plantas de *C. arabica* (Zambolim, 2015). Outras denominações da MOP são cercosporiose, olho-de-pomba e olho-pardo (POZZA et al., 2010).

A *C. coffeicola* pertence à família Dematiaceae, ordem Moniliales, classe Deuteromycetes. Esporodóquios escuros do fungo são formados no centro das lesões, onde os conidióforos septados e cilíndricos são agrupados em fascículos mais ou menos compactos. O fungo produz conídios hialinos, multisseptados, com 100 a 270 µm de comprimento por 3 a 4 µm de diâmetro, afilando-se para a extremidade distal (GODOY et al., 1997).

Em um estudo com sete isolados de *C. coffeicola* foram encontradas diferenças moleculares nas regiões ITS 1 e ITS2, além de diferenças nas temperaturas ótimas do crescimento micelial, nas agressividades e virulências em oito cultivares. Também foi observado um indicativo de existência de raças fisiológicas, pois foi encontrada interação diferencial entre genótipos e isolados (DELL' ACQUA et al., 2011).

2.4.2 Sintomas, Perdas e Danos

Essa doença é uma das mais antigas do cafeeiro, tanto na América do Sul quanto na América Central. Na Colômbia, a MOP é considerada uma das principais doenças por ser amplamente distribuída e por ocasionar grandes perdas na produção (POZZA et al., 2010). No Brasil, a MOP está presente de forma endêmica em quase todas as regiões e é uma doença de importância econômica, causando desfolha e perdas na produção e qualidade da bebida (GODOY et al., 1997; POZZA et al., 2010). Com a expansão da cafeicultura para solos pobres do cerrado, as perdas com essa doença se agravaram devido à correlação positiva entre a intensidade da doença e a deficiência nutricional, além da alta insolação no período da tarde combinado com lavouras formadas em solos arenosos (ZAMBOLIM, 2015).

A MOP infecta plantas de cafeeiro tanto em viveiro, na fase de formação de mudas, quanto em plantas jovens e adultas em campo. Nas folhas, o primeiro sintoma visível são pequenas manchas cloróticas e circulares, que aumentam de tamanho atingindo entre 0,5 e 1,5cm de diâmetro. As manchas possuem coloração castanho-clara a escura, com centro branco-acinzentado, envolvidas por anel arroxeadado. Essas manchas quase sempre são envolvidas por halo amarelo, dando à lesão um aspecto de olho. No centro das lesões, em estágio mais avançado, geralmente são observadas pequenas pontuações pretas, que representam as estruturas de frutificação do fungo (GODOY et al., 1997; ZAMBOLIM, 2015). Existem casos em que não ocorre a formação do halo amarelo, sendo a doença denominada de “*cercospora-negra*” (ZAMBOLIM, 2015). As folhas atacadas caem rapidamente, ocorrendo desfolha e seca de ramos. A desfolha é provocada pela grande produção de etileno no processo de necrose, bastando uma lesão por folha para causar a queda (GODOY et al., 1997).

Nos frutos, o ataque ocorre com alta frequência no estágio de granação, permanecendo até o amadurecimento pleno. Na parte do fruto que fica exposta ao sol, surgem manchas necróticas pequenas, de coloração marrom ou arroxeadado. As manchas mais velhas são escuras e com aspecto ressecado, nas quais a polpa seca, ficando aderente ao pergaminho, o que dificulta o descascamento do fruto (ZAMBOLIM, 2015), além de resultar em fermentações

indesejáveis que diminui a qualidade da bebida (POZZA et al., 2010). A doença também aumenta a quantidade de grãos com defeitos como quebrados e conchas, além de reduzir o peso dos grãos (POZZA et al., 2010). Em casos de ataques mais severos ocorre o chochamento dos frutos (GODOY et al., 1997). Os frutos doentes também podem cair pelo mesmo motivo da desfolha (ZAMBOLIM, 2015). Em um estudo foi verificado que o aumento da severidade da MOP nos frutos, levou à redução do tamanho do grão, açúcares totais, sólidos totais e pH (LIMA et al., 2012). As lesões nos frutos funcionam como uma porta de entrada para outros fungos e bactérias, que depreciam a qualidade de bebida (POZZA et al., 2010).

2.4.3 Infecção, Disseminação e Condições Ambientais Favoráveis

A produção de conídios pela *C. coffeicola* é constante durante todo ano, sendo mais favorecido no período das chuvas. Os conídios são formados principalmente à noite e em dias frios e nublados (ZAMBOLIM, 2015). A disseminação dos conídios é pela água (chuva ou irrigação), vento e insetos (GODOY et al., 1997). A germinação dos esporos ocorre em uma ampla faixa de temperatura, variando de 10 a 25 °C, necessitando de uma fina camada de água livre sobre a superfície da folha. Após a germinação, ocorre a formação do tubo germinativo que se ramifica e penetra diretamente pela epiderme intacta ou pelos estômatos foliares (ZAMBOLIM, 2015). Outro estudo relatou que as temperaturas ótimas para crescimento e germinação do fungo é entre 24 e 30 °C (ECHANDI, 1959). A temperatura ótima de crescimento micelial variou de acordo com o isolado, sendo de 23,7 a 27,8 °C, ocorrendo redução do crescimento a 30 °C (DELL' ACQUA et al., 2011). Em um estudo foi observado que a germinação dos conídios de *C. coffeicola* ocorreu sobre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas, quatro horas após a inoculação. Nesse mesmo estudo foi verificado que a penetração nas folhas ocorreu sem a formação de apressório, 36 horas após inoculação e, principalmente, através dos estômatos e, ocasionalmente, pelos ferimentos na superfície (SOUZA et al., 2011).

Nos frutos, os conídios, após germinarem, penetram indiretamente pelos ferimentos causados pela queimadura do sol (ZAMBOLIM, 2015). Em um estudo realizado nas cultivares Catuaí IAC 144 e Topázio com frutos imaturos, no estágio de chumbinho, foi observado que na temperatura de 25 ± 2 °C, a germinação dos conídios ocorreu a partir de quatro horas após inoculação, sendo que a maioria germinou após 8 horas, com a penetração ocorrendo após 12 horas, sem a formação de apressório e somente em ferimentos. Nesse mesmo estudo foi observado que os tubos germinativos cresceram e se moveram até a abertura estomática, porém não penetrou nessa abertura natural (PAULA et al., 2019).

O período de incubação do fungo varia em função da temperatura, variando de nove a 15 dias. O pico de infecção da doença varia de ano para ano (ZAMBOLIM, 2015).

Cafezais implantados em ambientes com extrema insolação podem apresentar maior severidade de *C. coffeicola*, pois esse fungo produz a toxina cercosporina, que é ativada pela luz (DAUB et al., 2005; SILVA et al., 2016).

2.4.4 Medidas de Controle

As principais medidas de controle da cercosporiose são cultural, químico e genético. À medida que deveria ser mais utilizada no controle desse fungo são as práticas culturais, que se utilizadas de forma integrada podem contribuir para reduzir a intensidade da doença. Quando o controle cultural não for suficiente para reduzir a intensidade da doença, deve ser iniciada o controle com a aplicação de fungicidas específicos (POZZA et al., 2010). No entanto, o controle químico é rotineiramente realizado na cultura do café, e a maioria dos programas de tratamento com fungicidas propõe o controle simultâneo da ferrugem alaranjada (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) e da MOP (PATRICIO e BRAGHINI, 2011). O uso de cultivares com resistências de níveis alto e intermediário poderia auxiliar no controle dessa doença, em conjunto com as práticas culturais, entretanto, ainda se sabe pouco sobre as fontes e cultivares com resistência.

2.4.4.1 Controle cultural

As principais práticas de controle cultural são as correções e adubações de solo em níveis adequados para a planta, desde as mudas até as plantas adultas em campo. Também é muito importante evitar o plantio em solos arenosos e compactados, além de garantir uma boa formação do sistema radicular com um bom preparo do sulco de plantio. No preparo das mudas é recomendado evitar o excesso de insolação ou repentina retirada da cobertura do sombrite, sendo muito importante o plantio de mudas aclimatadas, com retirada gradual do sombrite (POZZA et al., 2010).

Nas adubações e correções é necessário manter o equilíbrio da relação de teores foliares da relação Ca/K de lavouras adultas, principalmente em anos de carga pendente alta (POZZA et al., 2010). Em solução nutritiva com plantas de café arábica foi verificado que o excesso de K aumenta a intensidade de MOP (POZZA et al., 2001; GARCIA-JÚNIOR et al., 2003), enquanto a intensidade diminuiu com o aumento das doses de Ca (GARCIA-JÚNIOR et al., 2003) e N (POZZA et al., 2001). Também foi verificado que a elevação das doses de K

em solução nutritiva promoveu redução nos teores foliares de Ca e Cu, o que pode ter levado ao aumento da intensidade da doença (POZZA et al., 2001). Em um estudo com adubação orgânica, foi verificado que o tratamento com palha de café foi o que provocou a maior incidência da doença, coincidindo com a elevação no teor de K e redução nos teores foliares de Ca. Os tratamentos palha de café combinado com torta de mamona e palha de café, combinado com chorume suíno reduziram incidência da MOP em 38%, e aumentou o teor de Ca foliar ao final da fase de granação, em comparação com a palha de café isolada (SANTOS et al., 2008).

Plantas da cultivar Catuaí Vermelho IAC-99 tratadas com silicato, tiveram redução de 63,2% nas folhas lesionadas e de 43% no total de lesões por planta (POZZA et al., 2004). Em outro estudo, a menor intensidade da MOP ocorreu com a dose de 0,84g de óxido de silício por kg de substrato (BOTELHO et al., 2005).

2.4.4.2 Controle químico

Os produtos mais utilizados no controle da MOP são pertencentes aos grupos químicos das estrobilurinas, triazóis, benzimidazóis e cúpricos, isolados ou em misturas (POZZA et al., 2010).

Em um estudo com mudas de *C. arabica* cv. Mundo Novo IAC 501, em condições de casa de vegetação e inoculações artificiais de *C. coffeicola*, foi verificado que as aplicações foliares dos triazóis (epoxiconazol, ciproconazol, tetraconazol), estrobilurina (azoxistrobina) e benzimidazol (carbendazim), além da mistura de triazol (epoxiconazol) e estrobilurina (piraclostrobina) foram eficientes para o controle da MOP. Também foi observado que as misturas ciproconazol + tiametoxam (via solo) e epoxiconazol + piraclostrobina (via foliar), além de carbendazim via foliar, apresentaram longo efeito residual no controle de MOP. A azoxistrobina apresentou residual menor do que os triazóis. O triadimenol aplicado via solo apresentou moderada eficiência e menor residual do que os demais triazóis. O oxiclreto de cobre foi pouco eficiente no controle e teve o menor residual dos produtos testados (PATRICIO e BRAGHINI, 2011).

2.4.4.3 Controle genético

As resistências das plantas às doenças podem ser dos tipos vertical ou qualitativa e horizontal ou quantitativa. A vertical é aquela efetiva contra uma ou algumas raças fisiológicas, enquanto a horizontal efetiva contra todas as raças (VAN DER PLANK, 1963). A

resistência vertical promove altos níveis de resistência, é específica para raças, a herança do caráter é mono ou oligogênica, e por isso é menos influenciada pelo ambiente. Já a resistência horizontal promove moderados ou intermediários níveis de resistência, é inespecífica para raças e a herança do caráter é poligênica, com conseqüente maior influência do ambiente (VAN DER PLANK, 1963; BORÉM et al., 2017; CAMARGO, 2018).

Até o momento existem poucos estudos sobre as cultivares e fontes de resistência à MOP, além de não ser conhecida a herança e mecanismos de resistência. Em estudos realizados em *Coffea* ssp. foram identificados níveis de resistência à MOP intermediários (PATRÍCIO et al., 2010; DELL' ACQUA et al., 2011; BOTELHO et al., 2017; CARVALHO et al., 2017) e altos (BOTELHO et al., 2017). Em um estudo, foi sugerido que a resistência intermediária à MOP dos genótipos seja do tipo quantitativa. Entretanto, nesse mesmo estudo foi observada interação diferencial entre genótipos e isolados, indicando que podem existir resistência do tipo qualitativa e a presença de raças fisiológicas de *C. coffeicola* (DELL' ACQUA et al., 2011).

Em um dos primeiros estudos para avaliar a resistência à MOP em mudas de café, em condições controladas de casa de vegetação e inoculações artificiais, foi observado que os genótipos mais resistentes foram Piatã IAC 387 (*C. arabica* x *C. dewevrei*), Ouro Verde IAC H5010-5 (Catuaí x Mundo Novo) e Tupi IAC 1669-33 (Villa Sarchí x Híbrido de Timor CIFC 832/2). A cultivar Obatã IAC 1669-20, também derivada de Villa Sarchí x Híbrido de Timor CIFC 832/2, foi moderadamente suscetível. Os mais suscetíveis foram a progênie Robusta IAC 1653-7 de *C. canephora*, cultivar Apoatã IAC 2258 de *C. canephora*, genótipo Híbrido de Timor IAC 1559-13 e as cultivares de *C. arabica* Bourbon Vermelho e Bourbon Amarelo. As cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Catuaí Amarelo IAC 62 foram moderadamente suscetíveis, enquanto Mundo Novo IAC 388-17-1 e Mundo Novo IAC 376-4 foram suscetíveis. Icatu Precoce IAC 3282 e Icatu Vermelho IAC 4045 também foram moderadamente suscetíveis, porém em um dos experimentos apresentou menos MOP do que as cultivares do grupo Catuaí e Mundo Novo (PATRÍCIO et al., 2010). Em estudo anterior também foi verificado que Icatu foi mais resistente do que Catuaí e Mundo Novo (POZZA et al., 2004).

No estudo de Dell'Acqua et al. (2011), com oito cultivares inoculadas com sete isolados de *C. coffeicola*, foi observado que as cultivares Catuaí Vermelho IAC 81 e Catuaí SH3 comportaram-se como moderadamente suscetíveis. Tupi IAC 1669-33 e Tupi RN IAC 1669-13, ambos originados de Villa Sarchí x Híbrido de Timor CIFC 832/2, além de Icatu Vermelho IAC 4045, foram suscetíveis à MOP, contrariando os resultados de (PATRÍCIO et al., 2010). Interessante observar que a cultivar Ouro Verde IAC H5010-5 foi a mais resistente

quando inoculada com todos os sete isolados de *C. coffeicola*, corroborando com resultados (PATRÍCIO et al., 2010). As cultivares Geisha IAC 1137 e Mundo Novo IAC 376-4 foram suscetíveis ou muito suscetíveis (DELL' ACQUA et al., 2011).

Em um estudo recente foram identificados 35 genótipos classificados como altamente resistentes, 66 como resistência intermediária, 27 suscetíveis e quatro muito suscetíveis. As cultivares Sarchimor MG 8840 (Villa Sarchí x Híbrido de Timor CIFC 832/2), Guatenano, Paraíso MG1 (Catuaí x Híbrido de Timor), Catiguá MG2 (Catuaí x Híbrido de Timor), Sumatra e Maragogipe foram classificados como altamente resistente, sendo que as duas primeiras não apresentaram plantas suscetíveis segregantes. Outras cinco progênies de Paraíso também foram altamente resistentes. Vários genótipos de Híbrido de Timor e seus derivados apresentaram alta resistência, mas também foram encontrados genótipos com resistência intermediária, suscetíveis e muito suscetíveis (BOTELHO et al., 2017). No entanto, nesse estudo não é possível afirmar que os 35 genótipos realmente eram altamente resistentes, pois as severidades nos genótipos mais suscetíveis foram baixos, com porcentagem média da superfície foliar afetada pela MOP de 15,06% na cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, que foi classificada como muito suscetível. Portanto, não é possível afirmar ainda que foram identificadas cultivares ou genótipos com altos níveis de resistência e que essas são do tipo qualitativa.

Em estudo de campo, Catiguá MG 3 (Catuaí x Híbrido de Timor) foi a cultivar com menor incidência de MOP, em dois locais de Minas Gerais e avaliados por dois anos em cada local. Outras cultivares derivadas de Catuaí x Híbrido de Timor, como Catiguá MG 1, Catiguá MG 2, Araponga MG 1, Paraíso H419-1, além de Oeiras MG 6851 (Caturra x Híbrido de Timor CIFC 832/1), foram mais resistentes do que as cultivares suscetíveis em três das quatro avaliações. Pau Brasil MG 1, que também foi originada de Catuaí x Híbrido de Timor, foi suscetível e apresentou incidência similar às cultivares Topázio MG 1190 (Catuaí x Mundo Novo) e Bourbon Amarelo LCJ10 (CARVALHO et al., 2017).

Com base nos resultados de todos esses estudos é possível concluir que existe variabilidade genética para selecionar e desenvolver genótipos resistentes à MOP. No entanto, também deve existir muita variabilidade de isolados de *C. coffeicola*, o que indica a existência de raças fisiológica e poderia explicar o porquê dessas variações quantos às reações de resistência dos genótipos de café. Uma outra hipótese é que a resistência à MOP parece ser, predominantemente, do tipo quantitativa e muito influenciada pelo ambiente. Portanto, são necessários novos estudos para confirmar a resistência de cultivares e outros genótipos de café. Ouro Verde IAC H5010-5 parece ser um genótipo mais estável para resistência à cercosporiose.

Os genótipos do Híbrido de Timor e seus derivados também parecem ser promissores para se encontrar resistência. Os Icatu parecem ter uma leve resistência, similar ao observado em cultivares do grupo Catuaí, enquanto cultivares do grupo Mundo Novo são suscetíveis.

2.5 NEMATÓIDES

Diversos nematoides parasitam a cultura do café, porém as principais espécies são as do gênero *Meloidogyne*. Já foram relatadas 17 espécies parasitando a cultura, incluindo algumas altamente agressivas às plantas de café, que causam significativas perdas de produção (INOMOTO; OLIVEIRA, 2008). Os primeiros relatos de nematoides no cafeeiro foi realizado por Emílio Augusto Goeldi, no ano de 1887 na província do Rio de Janeiro, onde foi descrita como uma doença crônica que afetava a raiz (GOELDI, 1887). As seis espécies que mais ocorrem nas lavouras brasileiras são *M. exigua*, *M. incognita*, *M. paranaensis*, *M. hapla*, *M. javanica* e *M. coffeicola* (SANTOS, 2001).

Dessas seis, as espécies que causam maiores perdas para a cafeicultura brasileira são *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis*, sendo que a primeira se destaca pela sua ampla distribuição geográfica, e as duas últimas pela alta agressividade (GONÇALVES et al., 2004). *M. exigua* foi identificada em várias regiões cafeeiras importantes do país como Mogiana (SP), Zona da Mata (MG), Alto Paranaíba (MG), Triângulo Mineiro (MG) e Sul de Minas (MG) (GONÇALVES e SILVAROLLA, 2001), além de outros estados como Espírito Santo, Rio de Janeiro, Bahia, Distrito Federal e Ceará (SANTOS, 1997).

M. incognita e *M. paranaensis* estão amplamente disseminadas nos estados do Paraná e de São Paulo (Carneiro e Almeida, 2000; Gonçalves e Silvarolla, 2001; Lordello e Lordello, 2001; Carneiro et al., 2005). *M. incognita* foi identificado em poucas propriedades cafeeiras dos estados do Espírito Santo (Lordello e Hashizume, 1971), Minas Gerais (Lima et al., 1985; Campos e Melles, 1987) e Bahia (Souza et al., 2000). *M. paranaensis* também foi detectada em cafezais de alguns municípios do Alto Paranaíba e do Sul de Minas Gerais (Santos, 1997; Castro et al., 2003, 2008; Castro e Campos, 2004) e pode ser uma ameaça para a cafeicultura mineira já que neste estado ainda predomina *M. exigua*. *M. paranaensis* também foi identificado atacando cafeeiros nos estados de Goiás (Silva et al., 2009) e Espírito Santo (Barros et al., 2011).

2.5.1 Sintomas, Danos e Perdas

M. exigua provoca a formação de galhas em abundância, contendo fêmeas com massas de ovos, sendo que, raramente, causam desorganização no tecido cortical radicular e sintoma reflexo na parte aérea com murcha ou enfezamento (SOUZA, 2000). *M. paranaensis* causa danos sobretudo na raiz principal, provocando rachaduras, quebras e descortiçamentos, com conseqüente sintomas na parte aérea como clorose, desfolha, redução no crescimento e, muitas vezes são levadas à morte. Ocorrem manchas necróticas nos locais onde as fêmeas se encontram (SOUZA, 2000; KIMATI, 2005). *M. incognita* tem enorme capacidade de destruir o sistema radicular, inclusive a partir do ponto de alimentação da fêmea, causando deformação, engrossamento, necroses, aparência áspera, cloroses e desfolhas principalmente em veranicos. Nos locais onde as fêmeas ficam alojadas apresentam deformação e inchaços que lembram galhas. (KIMATI, 2005).

Gonçalves e Silvarolla (2007) relataram que a cultivar suscetível Mundo Novo quando enxertada em plantas resistentes aos nematoides produziu, em média, 37, 442 e 590% a mais que os cafeeiros de pé franco, respectivamente, em áreas com *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis*, indicando que a primeira é menos agressiva e provocam perdas menores de produtividade.

Em uma área infestada com *M. incognita* e *M. paranaensis*, no município paranaense de São Jorge do Patrocínio, foi verificado que após as cinco primeiras safras, as cultivares resistentes IPR 100 e IPR 106 apresentaram diferenças drásticas para caracteres produtivos e vegetativos, quando comparado com o controle suscetível Catuaí Vermelho IAC 81. A produtividade, vigor vegetativo, altura da planta e diâmetro da copa da cultivar IPR 100 foram, respectivamente, 236%, 108%, 92% e 235% maior do que do controle suscetível. Ocorreu um declínio acentuado da produtividade e do vigor vegetativo das cultivares suscetíveis a partir da segunda safra, no quarto ano após o plantio. Nesse mesmo estudo, também foi verificado a morte de 44,66% das plantas de Catuaí, enquanto para IPR 100 e IPR 106 as porcentagens foram, respectivamente, 1,79% e 5,36% (SERA et al., 2020b).

2.5.2 Medidas de Controle do *Meloidogyne paranaensis*

O controle dos nematoides é difícil, porém com a introdução de manejo integrado é possível reduzir a população na área (KIMATI, 2005). A melhor medida é a adoção de técnicas preventivas com o plantio de mudas sem nematoides, desinfecção das máquinas e implementos a serem usados em áreas ainda livre de nematoides. Depois de estabelecidos é praticamente impossível a erradicação, e neste sentido é imprescindível o cuidado com as

mudas a serem usadas que principais é principal meio de disseminação para grandes distâncias (KIMATI, 2005). Em áreas já infestadas pelo *M. parananensis*, as principais medidas de controle são cultural, químico, biológico e genético.

O manejo de solo com culturas não hospedeiras por um período de um a dois anos é recomendado para a instalação da cultura do cafeeiro, visando a redução da populacional inicial dos nematoides Segundo Riede (2015) em testes com aveia branca da cultivar IPR Afrodite em avaliação os nematoides *Meloidogyne* (*M. incognita*, *M. javanica*, *M. paranaensis*, e *M. enterolobii*) apresentou alta resistência. Outras culturas de inverno como crotalária, milheto, leucena e mucuna preta apresentaram efetivo controle populacional de *Meloidogyne* spp. com fator de reprodução próximo a zero FERREIRA, 2018

Os fluopiram e fluensulfona (fluoroalquenilo) apresentaram alta eficácia nematicida, entorno de 95% pois ambos reduziram significativamente a população de *M. paranaensis* em todos os experimentos (ARITA; SILVA; MACHADO, 2020). Corte et al. (2015) também demonstraram a eficácia do nematicida da fluensulfona no manejo de *M. exigua* em cafeeiros em condições de campo, embora a dosagem utilizada por esses autores tenha sido inferior à utilizada aqui. Os nematicidas químicos recomendados para nematoides das ganhas são mais utilizados quatro produtos e três ingredientes ativos registrados no Brasil, para ser usado como nematicida nas lavouras de café. Counter 150 G (organofosforado) com maiores eficiências nos *M. exigua* e *M. incognita*, classe ambiental II e toxicológica 2; Rugby 200 CS (Organofosforado) (*M. incognita*), classe ambiental II e toxicologia 4.; Nimitz EC (fluensulfona) *M. exigua* e *M. paranaensis*, classe ambiental III e toxicológica 5; e Verango Prime SC (benzamida) *M. exigua*, classe ambiental III e toxicológica 5. Os nematicidas químicos são para muito perigosos devido serem toxicológico para humanos e meio ambiente. (AGROFITE, 2020)

O controle biológico é realizado por organismos presentes no solo devido ao parasitismo, à predação e à produção de compostos tóxicos, mantendo a população de nematoides em níveis inferiores ao nível que ocorreria se esses organismos não estivessem presentes. Esse controle pode ocorrer naturalmente, ser adicionado ou ter sua atividade estimulada no solo (STIRLING, 1991). O controle biológico com o fungo (*Pochonia chlamydosporia*), é capaz de se estabelecer na área e parasitar o nematoide reduzindo a população presente na área, principalmente no segundo ano consecutivo de uso foi possível observar diferença bastante significativa na produção dos cafeeiros (OTOBON, 2018). O quartzo® produto bastante usado para o controle biológico dos nematoides das galhas e

recomendado para *M. paranaensis*, o princípio ativo a combinação de dois fungos *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*. (ADAPAR, 2021).

A maioria das lavouras de café do Brasil é composta de cultivares dos grupos Catuaí e Mundo Novo (CHALFOUN e REIS, 2010), ambas suscetíveis a *M. paranaensis*. A principal medida de controle de *M. paranaensis* é pelo uso de cultivares resistentes, pois possui alta eficiência e reduzido ou nenhum custo para aplicação de nematicidas, além de reduzir os danos ao meio ambiente e ao agricultor (SERA et al., 2017b, 2020b). Em áreas já infestadas pelo *M. paranaensis*, as principais medidas de controle são cultural, químico, biológico e genético. A principal medida de controle de *M. paranaensis* é pelo uso de cultivares resistentes, pois possui alta eficiência e reduzido ou nenhum custo para aplicação de nematicidas, além de reduzir os danos ao meio ambiente e ao agricultor (SERA et al., 2017b, 2020b).

2.5.3 Resistência à *M. paranaensis*

Alto nível de resistência à *M. paranaensis* (MP) foi encontrada em *C. canephora* Pierre ex Froehner (Sera et al., 2006; Gonçalves e Silvarolla, 2007; Andreazi et al., 2015) e em acessos silvestres de *C. arabica* da Etiópia (Anthony et al., 2003; Boisseau et al., 2009; Fatobene et al. 2017; Holderbaum et al., 2020).

Alta resistência também foi identificada em cafeeiros arábicos com introgressão de *C. canephora* como nos derivados de Icatu (Gonçalves e Silvarolla 2007, Shigueoka et al. 2016a), enquanto que nos derivados de Híbrido de Timor foi identificada resistência intermediária (Muniz et al. 2009, Salgado et al., 2015; Shigueoka et al. 2016b). Em um estudo, o acesso Híbrido de Timor UFV 408-01 foi classificado como resistente à MP (Peres et al., 2017). Em cafeeiros arábicos com introgressão da espécie *C. liberica* foi identificada alta resistência à MP (Sera et al., 2017b; 2020a).

No passado, para áreas infestadas com MP, era recomendada somente a cultivar porta-enxerto resistente Apatã IAC 2258 de *C. canephora* (Fonseca et al., 2008; Andreazi et al., 2015). Atualmente, além desse porta-enxerto, também vem sendo recomendada as cultivares pé franco de café arábica IPR 100 e IPR 106 que possuem alta resistência à MP (SERA et al., 2017; 2020b).

2.6. PRINCIPAIS CARACTERES AVALIADOS NOS PROGRAMAS DE MELHORAMENTO DE CAFÉ

Geralmente, os programas de melhoramento genético de plantas têm como objetivo mais comum o desenvolvimento de cultivares adaptados a determinada região geográfica ou para determinado nicho de mercado, maior resistência às principais doenças da espécie, entre outros critérios estabelecidos pelos melhoristas (BORÉM; MIRANDA, 2013). Os critérios são estabelecidos pelos próprios melhoristas e possuem a função de servir como base para a seleção artificial, o que é fundamental para o melhoramento genético de plantas (RESENDE, 2002a).

Um dos principais objetivos do melhoramento genético de café é o aumento da rentabilidade e, por esse motivo, a produtividade dos cafeeiros representa um dos principais caracteres a serem utilizados na seleção das plantas (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008). Contudo, outras características podem ser utilizadas visando o aumento indireto da rentabilidade da cultura, (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008; BORÉM; MIRANDA, 2013) como é o caso do uso de genótipos resistentes às principais pragas e doenças, que pode proporcionar redução dos custos de produção pela menor necessidade de aplicação de defensivos (FREITAS et al., 2007).

As avaliações e seleções dos genótipos levam em conta outras características agronômicas como o vigor das plantas, ciclo e uniformidade de maturação dos frutos, qualidade da bebida, resistência a pragas e doenças, tamanho dos grãos, entre outras características que possam favorecer o aumento indireto da rentabilidade (CARVALHO; MÔNACO; FAZUOLI, 1979; SERA, 2001; CONCEIÇÃO; FAZUOLI; TOMA-BRAGHINI, 2005; MATIELLO, 2008). Além disso, as características morfológicas são frequentemente utilizadas por melhoristas para a caracterização de cafeeiros (ALVES, 2008).

No programa de melhoramento do IDR-Paraná, por exemplo, é comum a realização de avaliações dos caracteres: produtividade; índice de desenvolvimento vegetativo; índice de nutrição foliar; altura da planta; arquitetura e diâmetro da copa; intensidade das ramificações plagiotrópicas; diâmetro do tronco e das ramificações plagiotrópicas; ciclo de maturação dos frutos; uniformidade de maturação dos frutos; tamanho e formato dos frutos e grãos; força de desprendimento dos frutos; número de frutos por nó produtivo; porcentagem de grãos chatos, moca, concha e chochos; resistência às doenças causadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides; resistência aos insetos bicho-mineiro e broca-do-café; resistência aos ácaros vermelho, da leprose e branco; resistência aos fatores abióticos como calor, seca, geada e alumínio; qualidade de bebida. Atualmente, essa última característica vem sendo muito estudada no IDR-Paraná devido à demanda atual por cafés especiais e diferenciados. Outros

caracteres de menor importância também são avaliados como cor das folhas jovens e cor dos frutos.

Atualmente, existem poucos estudos relacionados com a resistência à MOP em *Coffea* spp.. Alguns programas de melhoramento iniciaram alguns cruzamentos direcionados para transferir a resistência à MOP, porém ainda não existe nenhum programa que esteja trabalhando intensivamente com essa doença.

2.7 BASE GENÉTICA DE CARACTERES QUANTITATIVOS

A eficiência de um programa de melhoramento depende da adoção de estratégias eficientes, as quais são definidas com base no conhecimento do controle genético dos caracteres alvos do melhoramento. O controle genético é caracterizado por todos os mecanismos genéticos responsáveis pela herança do caráter, tais como o número de genes que governam uma determinada característica, as ações e efeitos gênicos, herdabilidade, repetibilidade na expressão do caráter e as associações genéticas de um gene com outro (RESENDE, 2002a). De acordo com o número de genes envolvidos no controle de um caráter e pela importância do efeito ambiental na expressão do fenótipo, as características são classificadas como qualitativas ou quantitativas (FEHR, 1991). No estudo da herança de algumas características, pode-se observar classes fenotípicas distintas e facilmente separadas uma das outras. Essas características apresentam segregação descontínua e são denominadas qualitativas (RAMALHO et al., 2012b).

Os caracteres qualitativos são aqueles governados por um ou poucos genes, apresentando um pequeno número de fenótipos e são estudados através do procedimento de proporções fenotípicas (RESENDE, 2002a; RAMALHO et al., 2012b). No entanto, a maioria das características de interesse agrônomo, trabalhadas por geneticistas e melhoristas, são de herança quantitativa e apresentam distribuição contínua (RESENDE, 2002a). Esses fatores propiciam a existência de inúmeros fenótipos intermediários durante o estudo de segregação dos genes, dificultando a identificação de efeitos individuais em classes fenotípicas distintas (RAMALHO et al., 2012b; SNUSTAD; SIMMONS, 2020).

Portanto, o procedimento de proporções fenotípicas, utilizado na genética qualitativa, não pode ser empregado no estudo de caracteres quantitativos (RAMALHO et al., 2012b). Isso ocorre em função dos caracteres qualitativos apresentarem um padrão simples de herança, enquanto os caracteres quantitativos apresentam herança complexa. No estudo de caracteres quantitativos, o efeito é condicionado por muitos genes de efeito pequeno que são

muito influenciados pelos efeitos ambientais (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Nesses casos, é fundamental a utilização de metodologias estatísticas para identificar a distribuição contínua dos fenótipos e a influência ambiental pela estimação de parâmetros genéticos para a característica trabalhada (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005).

2.8 COMPONENTES DE VARIÂNCIA E PARÂMETROS GENÉTICOS

A covariância entre os genótipos e o ambiente é nula, utilizado na casualização dos genótipos no experimento, onde o valor do fenótipo é o somatório dos efeitos do ambiente e genético (RESENDE, 2002a; BORÉM; MIRANDA, 2013). Quando se vincula vários ambientes, existe também a chamada de interação genótipo x ambiente (locais, colheitas, anos) (FALCONER; MACKAY, 1996). Os componentes da variação fenotípica são determinados, onde variância fenotípica é o somatório das variâncias genotípica, ambiental e interação genótipo x ambiente (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Para estudos em cafeeiros, os caracteres com maior interesse são de natureza quantitativa. A estimativa dos parâmetros pode apresentar valores variáveis decorrentes da expressão de diferentes genes ao longo do desenvolvimento em plantas perenes (FERRÃO et al., 2008). Desse modo, o efeito ambiental dificulta o estudo desses caracteres pois influencia na expressão de fenótipos, em função do material genético, das condições ambientais, da época e idade de avaliação, entre outros fatores (OLIVEIRA et al., 2011; RAMALHO et al., 2012b).

2.9 COEFICIENTE DE HERDABILIDADE

A estimativa de herdabilidade (h^2) é caracterizada como um dos parâmetros mais importantes ao melhoramento genético, pois reflete a proporção da variação fenotípica que pode ser herdada (RESENDE, 2002a; RAMALHO et al., 2012b).

Quando o valor da herdabilidade é igual à um, significa que o fenótipo é determinado completamente pelo genótipo e o ambiente não afeta a sua expressão, se o valor é igual a zero, significa que a expressão do fenótipo é influenciada pelo ambiente (FALCONER; MACKAY, 1996). De acordo com Resende (2002a), magnitudes de herdabilidades com valores abaixo de 0,15 são considerados baixas; entre 0,15 e 0,50 são médias e acima de 0,50 são altas. Por isso, o valor da estimativa pode ser considerada uma indicação de sucesso quando apresenta alta magnitude, visto que, quanto maior for o seu valor, maior será a transmissão de efeitos genéticos aos seus descendentes (RAMALHO et al., 2012b).

A herdabilidade pode ser estimada no sentido amplo ou restrito, que a herdabilidade no sentido amplo é a razão da variância genotípica total pela variância fenotípica, enquanto a herdabilidade no sentido restrito compreende a razão entre a variância genética aditiva pela variância fenotípica (FEHR, 1991). Nas espécies de propagação sexuada, a herdabilidade no sentido restrito possui conceito de maior utilidade, devido a mensuração da importância relativa à proporção aditiva da variância genética que será transmitida para a próxima geração (FEHR, 1991; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014)

A magnitude da herdabilidade mostra algumas relações com a natureza do caráter (BORÉM; MIRANDA, 2013). Acredita-se que os caracteres com menores herdabilidades são aqueles mais ligados com a adaptação produtiva, enquanto àqueles de elevada herdabilidade são referentes ao caráter biológico e com menor importância no valor seletivo natural (FALCONER; MACKAY, 1996).

É possível aumentar o valor da estimativa através da utilização de populações com maiores variações genéticas ou pela realização de um efetivo controle do ambiente (RAMALHO et al., 2012b). Assim, o conhecimento dos fatores que contribuem para estimar a herdabilidade permite maximizar o ganho genético com os recursos disponíveis (FEHR, 1991). A repetibilidade atua como medida para seleção fenotípica, pois comprova a veracidade de uma determinada característica permanecer constante no desempenho do genótipo durante todo o seu ciclo produtivo (SANTOS et al., 2004; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). A flutuação bial de produção é um desses aspectos biológicos que podem influenciar no coeficiente de repetibilidade (SERA, 2001; PEREIRA, 2010). Através da estimativa do coeficiente de repetibilidade, é possível determinar quantas avaliações fenotípicas devem ser feitas, em cada indivíduo, para aumentar a acurácia de seleção (VASCONCELLOS et al., 1985).

Aumentar o número de medidas repetidas em caracteres com elevada repetibilidade não conduzem ao aumento da acurácia (RESENDE, 2002a). Dessa forma, o coeficiente de repetibilidade permite determinar o número de medições necessárias para seleção de características com maior acurácia (RESENDE, 2002b).

2.10 NATUREZA DOS EFEITOS ESTATÍSTICOS

A definição do modelo estatístico ideal para avaliação genética, exige a caracterização da natureza dos efeitos considerados como fixos ou aleatórios. Um efeito é considerado fixo quando as conclusões a seu respeito forem válidas somente para ele próprio. Assim, quando o objeto de estudo é constituído pelo efeito de natureza fixa, ele não se constitui

como uma amostra representativa da população, mas como o próprio material de interesse (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Para os efeitos fixos, deve-se assumir a existência de um conjunto finito de respostas, contendo todos os níveis de interesse ao estudo (DUCHATEAU; JANSSEN, 1997). Por outro lado, quando o material genético avaliado se constitui numa amostra da população, de forma que as informações obtidas têm apenas o interesse de caracterizar a população de trabalho, o efeito é considerado aleatório (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Para os efeitos aleatórios, admite-se há um conjunto infinito de respostas referentes as amostras da população em estudo (DUCHATEAU; JANSSEN, 1997). Por isso, quando o fator é tomado como aleatório, significa que os níveis observados são assumidos como uma amostra aleatória de uma assumida distribuição de probabilidade (RESENDE, 2004).

O genótipo deve ser considerado como efeito aleatório em estudos de avaliação de progênies derivadas de populações segregantes sob seleção, quando o número de genótipos for maior que dez (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; RESENDE, 2004). O estabelecimento do efeito do genótipo como aleatório, tornam reprováveis os testes de comparações múltiplas de médias de tratamentos (RESENDE, 2004). Nos ensaios de competição e indicação de cultivares, com o objetivo de eleger o melhor desempenho pela comparação de médias, os genótipos podem ser tratados como efeito fixo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Entretanto, é recomendado tratar os efeitos dos genótipos sempre como aleatórios, mesmo quando houver menos do que 10 tratamentos, para evitar o uso de estimadores viesados (RESENDE; DUARTE, 2007). Portanto, para o melhoramento genético, é essencial que os efeitos de genótipo sejam considerados como aleatórios, mesmo que os materiais sejam tratados como fixos em outras abordagens padrões (RESENDE, 2004).

Para a aplicação da metodologia ideal é a definição dos efeitos como fixos ou aleatórios (RESENDE, 2002b). Quando todos os efeitos de um modelo estatístico são aleatórios, com exceção da média geral que é sempre fixa, o modelo é chamado de aleatório. Um modelo fixo é caracterizado por conter todos os elementos fixos, exceto o erro que é sempre aleatório (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Os modelos que contêm efeitos fixos e aleatórios, além da média geral e do erro, são chamados de modelos mistos (RESENDE, 2004).

2.11 METODOLOGIA DE MODELO MISTO REML/BLUP

Os melhoristas de plantas baseavam suas decisões no ajuste de modelos fixos, junto a análise de variância (ANAVA) e análise de regressão (RESENDE, 2004; DUARTE,

2010). Porém, esse método possui limitações para lidar com dados desbalanceados e com parentescos entre os genótipos. Outra desvantagem dessas técnicas se refere a condução de estimativas imprecisas dos componentes de variâncias e, conseqüentemente, predições inacuradas dos valores genéticos (RESENDE, 2007).

O uso da metodologia de modelo misto REML/BLUP com tratamentos de efeitos aleatórios fornece resultados mais realistas ao considerar dados desbalanceados e delineamentos não ortogonais (DUARTE; VENCOSKY, 2001; DUARTE, 2010).

O procedimento REML/BLUP oferece ótima predição de valores genéticos e estimação de componentes de variância (RESENDE, 2004). O método ótimo de predição de valores genéticos é o *Best Linear Unbiased Prediction* (BLUP) para designar a “melhor predição linear não viciada” de variáveis aleatórias (HENDERSON, 1973; RESENDE, 2002). No procedimento REML/BLUP, o BLUP utiliza estimativas de variâncias obtidas pelo método da máxima verossimilhança restrita ou residual (REML) – *Restricted Maximum Likelihood* (RESENDE, 2016). A adoção desse procedimento permite orientar na estratégia de seleção com maior eficiência. Além disso, a utilização de modelos estatísticos à nível de indivíduos é muito importante para obter sucesso no melhoramento de café Arábica (RESENDE, 2002a; PETEK; SERA; FONSECA, 2008; OLIVEIRA et al., 2011).

Na metodologia de modelos mistos, a significância dos efeitos aleatórios do modelo estatístico não é testada da mesma maneira como no método da ANAVA. Nesses casos, é cientificamente recomendado o teste da razão de verossimilhança – *Likelihood Ratio Test* (LRT) – por meio de uma análise *deviance* (ANADEV) (RESENDE, 2007; 2016). O LRT é uma estatística derivada da razão entre as verossimilhanças do modelo saturado (ou completo) em relação ao modelo reduzido, isto é, o resultado da diferença das *deviances* do modelo completo em relação ao modelo sem o efeito que se deseja testar. Outra forma de avaliar a significância dos efeitos genéticos, além da ANADEV via LRT, é através da estimativa de herdabilidade e seu desvio padrão. Com a posse desses valores, é possível criar um intervalo de confiança e, então, inferir sobre a significância da variabilidade genotípica (RESENDE, 2007). A significância desse efeito implica na presença de variabilidade genética, viabilizando a seleção dos tratamentos avaliados (NIELSEN et al., 2014).

2.11.1 *Restricted Maximum Likelihood* (REML)

O método REML, desenvolvido por Patterson; Thompson (1971) é caracterizado como uma generalização da ANAVA para situações mais complexas

(RESENDE, 2004). Esse método ganhou destaque em razão de suas propriedades ótimas no avanço de estudos que revelaram a baixa precisão das estimativas produzidas pelo método de ANAVA (DUARTE, 2010). Assim, o REML permite a decomposição da variação fenotípica nos seus componentes genético e ambiental e dos componentes de interação genótipo x ambiente (RESENDE, 2016). Além disso, a partir do método REML, é possível obter as estimativas fidedignas dos componentes de variância exigidas para a aplicação no BLUP (RESENDE, 2007; 2016).

2.11.2 *Best Linear Unbiased Prediction* (BLUP)

O BLUP é o procedimento ótimo de seleção para efeitos genéticos aditivos, de dominância e genotípicos, dependendo da situação (RESENDE, 2016). Resende (2004) relata que, para o caso específico de modelos mistos com efeitos aleatórios de genótipos, o BLUP minimiza o erro de predição e permite a predição não viciada de valores genéticos. Esse método também possibilita a maximização do ganho genético por ciclo de seleção e a maximização da probabilidade de selecionar o melhor entre dois genótipos, sendo o mais eficiente índice de seleção em termos de uso de informações de parentes, pois usa todas as informações disponíveis (RESENDE, 2004).

Com base na predição do valor genético dos indivíduos, é possível estimar as médias futuras dos genótipos em novos cultivos (RESENDE; DUARTE, 2007). Os valores genotípicos preditos, geralmente, não são iguais aos valores genéticos verdadeiros. A correlação ou proximidade entre esses dois valores pode ser avaliada conforme o parâmetro de acurácia (RESENDE, 2002b; RESENDE; DUARTE, 2007). Por esse motivo, esse é um dos parâmetros mais importantes, dentro do contexto da avaliação genotípica (HENDERSON, 1984). A acurácia tem a propriedade de informar a confiança na avaliação e no valor genético predito para o genótipo (RESENDE, 2002b). De acordo com Resende e Duarte (2007), as magnitudes de acurácia podem ser divididas em classes de precisão muito alta, alta e moderada, quando seus valores forem, respectivamente, maiores ou iguais a 0,9, 0,7 e 0,5; ou ainda como baixa, quando apresentar valor igual ou inferior a 0,49%. Apesar da acurácia seletiva ideal ser àquela com igual ou superior a 0,9, para fins de recomendação, na realidade dos caracteres quantitativos no melhoramento de plantas, é recomendado que a acurácia seletiva seja igual ou superior a 0,7 (RESENDE; DUARTE, 2007).

A utilização dos procedimentos REML/BLUP tem se mostrado bastante adequada na avaliação genética de cafeeiros (RESENDE et al., 2001; PETEK; SERA; FONSECA, 2008; PEREIRA et al., 2013b).

De maneira geral os aspectos biológicos são peculiares que tendem a gerar dados desbalanceados (RESENDE et al., 2001; RESENDE, 2002a). Vários modelos estatísticos para estimação de parâmetros genéticos e de predição de valores genotípicos podem ser aplicados (RESENDE et al, 2001). É importante que os modelos considerem a interação genótipo x ambiente, permitindo a seleção de genótipos em ambientes específicos ou ambiente médio, ou pela safra ou colheita, através da análise de medidas repetidas (RESENDE; FERNANDES; SIMEÃO, 1999; RESENDE, 2000). A realização de medidas repetidas ao longo dos anos é comum no melhoramento de plantas perenes, visto que o número de avaliações deve variar entre 3 e 6 anos de colheitas, para não comprometer a eficiência do programa de melhoramento por unidade de tempo (RESENDE, 2002a; MARIGUELE et al., 2011; MISTRO et al., 2008).

Os procedimentos REML/BLUP têm como principais vantagens: (a) permitir a comparação de indivíduos ou variedades ao longo do tempo (gerações, anos) e do espaço (locais, blocos); (b) permite a correção simultânea dos efeitos ambientais, estimação de componentes de variância e a predição de valores genéticos; (c) permite lidar com estruturas complexas de dados, como medidas repetidas, diferentes anos, locais e delineamentos; (d) pode ser aplicado em dados desbalanceados e delineamentos não ortogonais (RESENDE, 2016). Outra razão que justifica a utilização da metodologia de modelos mistos é a estimativa de herdabilidade e predição de valores genéticos aditivos e genotípicos, tanto intra quanto interpopulacionais (RESENDE, 2000; RESENDE et al., 2001). Em cafeeiros arábica, a seleção de indivíduos geneticamente superiores tem maior eficiência quando realizada a partir do efeito genético aditivo e, conseqüentemente, promove a maximização do ganho genético, como demonstrado pelo estudo de Petek, Sera e Fonseca (2008).

3 ARTIGO A: Resistência de genótipos de café à mancha-de-olho-pardo identificada via REML/BLUP

3.1 Resumo

Os objetivos deste estudo foram: a) estimar parâmetros genéticos relacionados com a resistência à mancha-de-olho-pardo (MOP); b) estimar o número de avaliações necessárias para atingir magnitudes altas de herdabilidade e acurácia seletiva; c) identificar genótipos de café arábica com resistência à *C. coffeicola* com base na predição dos valores genotípicos. O experimento foi instalado no Instituto Biológico em Campinas, SP, Brasil, utilizando mudas com nove a dez pares de folhas de 13 cultivares de café arábica denominadas IPR 98, IPR 99, IPR 100, IPR 102, IPR 103, IPR 106, IPR 107, IPR 108, IAC Ouro Verde, Icatu Vermelho IAC 4045, Arara, Catuaí Vermelho IAC 99 e Mundo Novo IAC 376-4 e uma progênie F4 denominada Piatã IAC 387. Essas mudas foram inoculadas com isolados de *C. coffeicola* do Instituto Biológico. Após as inoculações, o experimento no viveiro foi instalado no delineamento inteiramente casualizado, com 12 repetições de uma planta, sendo que para cada planta foram avaliados os três primeiros pares de folhas totalmente expandidos. Foram realizadas três avaliações da severidade da MOP, nos períodos 74 dias após a inoculação (DAI), 91 DAI e 105 DAI. As mudas foram mantidas no viveiro até o momento da coleta da parte aérea para análise foliar de macronutrientes e micronutrientes, que ocorreu após a terceira avaliação. A severidade da MOP foi avaliada por meio da contagem do número de lesões por folha (NL) e pela área foliar lesionada (AL), utilizando uma escala diagramática de notas de 1 a 6. Os dados das avaliações foram submetidos ao software Selegen – REML/BLUP com a finalidade de estimar os parâmetros genéticos e predizer os valores genotípicos, conforme o modelo linear misto: $y = X_m + Z_g + W_p + e$. Os valores de acurácia seletiva e das herdabilidades foram maiores quando a severidade da mancha-de-olho-pardo foi avaliada pela área lesionada utilizando uma escala diagramática do que pela contagem do número de lesões. Consequentemente, para essa última variável seriam necessárias um maior número de avaliações para atingir magnitudes altas de parâmetros. A cultivar IPR 106 apresentou o maior nível de resistência, seguido pelo genótipo Piatã IAC 387. IPR 103 e IPR 99 foram mais resistentes que outras cultivares, no entanto, foram mais suscetíveis do que IPR 106 e Piatã IAC 387.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Modelo misto. Parâmetros genéticos. *Cercospora coffeicola*.

3.2 Abstract

Resistance of coffee genotypes to brown eye spot identified via REML/BLUP

The aims of this study were: i) to estimate genetic parameters related to resistance to brown eye spot (BES); ii) to estimate the number of evaluations needed to achieve high magnitudes of heritability and selective accuracy; iii) to identify Arabica coffee genotypes with resistance to *C. coffeicola* based on the estimation of genotypic values. The experiment was conducted at the Instituto Biológico in Campinas, SP, Brazil, using seedlings with nine to ten pairs of leaves of 13 Arabica coffee cultivars named IPR 98, IPR 99, IPR 100, IPR 102, IPR 103, IPR 106, IPR 107, IPR 108, IAC Ouro Verde, Icatu Vermelho IAC 4045, Arara, Catuaí Vermelho IAC 99 and Mundo Novo IAC 376-4 and a F4 progeny named Piatã IAC 387. These seedlings were inoculated with isolates of *C. coffeicola* from Instituto Biológico. After inoculations, the experiment in the nursery was installed in a completely randomized design, with 12 replications

of a plant, and for each plant the first three pairs of fully expanded leaves were evaluated. Three evaluations of BES severity were carried out, in the periods 74 days after inoculation (DAI), 91 DAI and 105 DAI. The seedlings were kept in the nursery until the collection of the aerial part for leaf analysis of macronutrients and micronutrients, which took place after the third evaluation. The severity of BES was evaluated by counting the number of lesions per leaf (NL) and by lesioned leaf area (LA), using a diagrammatic scale from 1 to 6. The evaluation data were submitted to the Selegen – REML/BLUP software in order to estimate genetic parameters and to predict genotypic values, according to the mixed linear model: $y = X_m + Z_g + W_p + e$. Selective accuracy and heritability values were higher when brown eye spot severity was assessed by the LA using a diagrammatic scale than by NL. Consequently, for this last variable, a greater number of evaluations would be necessary to reach high magnitudes of parameters. Cultivar IPR 106 showed the highest level of resistance, followed by genotype Piatã IAC 387. IPR 103 and IPR 99 were more resistant than other cultivars, however, they were more susceptible than IPR 106 and Piatã IAC 387.

Keywords: *Coffea arabica*. Mixed model. Genetic parameters. *Cercospora coffeicola*

3.3 Introdução

A mancha-de-olho-pardo (MOP), causada pelo fungo *Cercospora coffeicola* Berk. e Cook, é uma das principais doenças da cultura do café, sendo amplamente distribuída em vários países produtores (WALLER; BIGGER; HILLOCKS, 2007). Essa doença causa danos em folhas e frutos de plantas de *Coffea* spp., tanto em mudas quanto em plantas jovens e adultas em campo (GODOY; BERGAMIN FILHO; SALGADO, 1997). Em condições de viveiro, a desfolha causa diminuição da taxa de desenvolvimento das mudas, o qual prejudica o plantio e a comercialização (POZZA et al., 2010; SILVA et al., 2016). Em campo, o patógeno causa lesões em folhas e frutos, ocorrendo a desfolha e queda dos frutos, seca de ramos, queda da produtividade e diminuição na qualidade de bebida (MARTINS et al., 2008).

Esses prejuízos são consequentes, principalmente, pela grande produção de etileno durante o processo de necrose causados pelo patógeno (GODOY; BERGAMIN FILHO; SALGADO, 1997).

Apesar de ser uma das doenças mais antigas que se tem conhecimento no cultivo de cafeeiros, a importância da MOP tem aumentado nos últimos anos devido a sua presença endêmica em regiões produtoras com diferentes sistemas agrícolas (SANTOS et al., 2008). A intensidade da doença está relacionada aos ambientes com extrema insolação, os quais favorecem a ativação da produção de cercosporina pelo patógeno (DAUB et al., 2005; SILVA et al., 2016), ao desbalanceamento nutricional, principalmente em lavouras formadas em solos arenosos (ZAMBOLIM, 2015) e à variabilidade genética das populações de *C. coffeicola* (MARTINS et al., 2008). Por esses motivos, as principais medidas de controle do patógeno são

realizadas através de práticas culturais e do uso de produtos químicos. As práticas de controle cultural são realizadas através de correções e adubações no solo, visando o equilíbrio nutricional das plantas, enquanto o controle químico é, majoritariamente, realizado pela aplicação de estrobilurinas, triazóis, benzimidazóis e cúpricos, isolados ou em misturas (POZZA et al., 2010).

Embora a utilização de cultivares resistentes também seja uma importante medida de controle, as pesquisas envolvendo o controle genético para MOP são escassas e apresentam resultados, muitas vezes, controversos (PATRÍCIO et al., 2010; DELL'ACQUA et al., 2011; BOTELHO et al., 2017; CARVALHO et al., 2017). Ao mesmo tempo, os resultados desses estudos indicam a existência de variabilidade genética para a resistência à *C. coffeicola*.

Apesar da resistência qualitativa ser quase sempre utilizada pelos melhoristas, devido a maior facilidade de ser trabalhada (CAMARGO, 2018), não foram observadas reações de resistência completa de cafeeiros à *C. coffeicola* em estudos anteriores (FERNANDES et al., 1990; PATRÍCIO et al., 2010; DELL'ACQUA et al., 2011; BOTELHO et al., 2017). Esses resultados indicam que a resistência parece ser, predominantemente, do tipo quantitativa, a qual pode ser evidenciada através da resistência incompleta ao patógeno, onde os genótipos se diferem quanto a agressividade (NELSON, 1978; CAMARGO, 2018). Em caracteres de efeito quantitativo, o efeito é condicionado por muitos genes de efeito secundário que são muito influenciados pelos efeitos ambientais (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Assim, para identificar a influência ambiental é recomendado estimar os parâmetros genéticos da característica em estudo (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005).

O estudo de parâmetros genéticos estatísticos permite reconhecer os caracteres que são herdáveis e, também, a variabilidade existente, os quais favorecem a avaliação e seleção de genótipos superiores (PEREIRA et al., 2013b; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Além disso, a utilização de procedimentos ótimos para a estimação precisa dos componentes de variância e parâmetros genéticos, favorece a identificação de genótipos resistentes a partir da predição dos valores genotípicos (RESENDE, 2004).

Os valores genotípicos preditos favorecem a seleção genética, visto que em características de efeito quantitativo, a influência ambiental embutida na estimação das médias fenotípicas não é desejável (RESENDE; DUARTE, 2007). Entretanto, para eliminar os efeitos ambientais residuais embutidos nos dados fenotípicos, é ideal considerar o efeito do genótipo como aleatório para forçar as predições em direção a média geral, por meio do *shrinkage* (RESENDE, 2004). Assim, em estudos de características de efeito quantitativo, como

provavelmente é o caso da resistência à *C. coffeicola*, é ideal a utilização de metodologias robustas que considerem a abordagem de modelos mistos.

O uso da metodologia de modelo misto REML/BLUP (*Restricted Maximum Likelihood / Best Linear Unbiased Prediction*), considerando o efeito dos genótipos como aleatório, fornece resultados mais realistas para predizer o valor genético na ocorrência de dados desbalanceados (DUARTE; VENCOSKY, 2001; DUARTE, 2010). A partir do método REML é possível obter as estimativas dos componentes de variância necessárias o BLUP, possibilitando a predição não viciada de valores genéticos para a avaliação e seleção genética (HENDERSON, 1984; RESENDE, 2016). Os resultados obtidos possibilitam aumentar a eficiência na seleção acurada dos genótipos mais promissores (RAMALHO; CARVALHO; NUNES, 2012). Diversos estudos no melhoramento de *C. arabica* têm utilizado a metodologia de modelo misto REML/BLUP (*Restricted Maximum Likelihood / Best Linear Unbiased Prediction*) para estimar os parâmetros genéticos e predizer os valores genéticos em cafeeiros (RESENDE et al., 2001; PETEK; SERA; FONSECA, 2008; PEREIRA et al., 2013; SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014; RODRIGUES et al., 2013; REZENDE et al., 2017). No estudo para resistência à *C. coffeicola* em acessos de germoplasma de café da EPAMIG (Minas Gerais, Brasil), foram obtidas estimativas de parâmetros genéticos por Botelho et al. (2017), além da predição empírica dos valores genotípicos. Entretanto, não existem estudos de resistência à MOP em cultivares de *C. arabica* através da metodologia REML/BLUP. Portanto, o objetivo do trabalho foi: a) estimar parâmetros genéticos relacionados com a resistência à MOP; b) estimar o número de avaliações necessárias para atingir magnitudes altas de herdabilidade e acurácia seletiva; c) identificar genótipos de café arábica com resistência à *C. coffeicola* com base na predição dos valores genotípicos.

3.4 Material e métodos

O experimento foi instalado no Instituto Biológico em Campinas, SP, Brasil e conduzido de dezembro de 2020 a abril de 2021, com temperatura média do período de 25,7°C.

No experimento foram usadas 13 cultivares de café arábica denominadas IPR 98, IPR 99, IPR 100, IPR 102, IPR 103, IPR 106, IPR 107, IPR 108, IAC Ouro Verde, Icatu Vermelho IAC 4045, Arara, Catuaí Vermelho IAC 99 e Mundo Novo IAC 376-4 e uma progênie F4 denominada Piatã IAC 387 (Tabela 1). Arara, IPR 98, IPR 99, IPR 107, IPR 102, IPR 103 e IPR 106 possuem introgressão de *C. canephora*, sendo que as quatro primeiras são do grupo Sarchimor e foram derivadas do Híbrido de Timor (HdT) CIFC 832/2, enquanto as

demais foram derivadas do Icatu. IPR 108 possui introgressão de *C. canephora* do HdT e do Icatu. IPR 100 é um café arábica com introgressão de *C. liberica*. As cultivares IAC Ouro Verde, Catuaí Vermelho IAC 99 e Mundo Novo IAC 376-4 são cafeeiros arábico puros.

Tabela 1. Cultivares de café arábica e progênie F4 de Piatã avaliados para resistência à mancha-de-olho-pardo, com suas respectivas origens.

Cultivar	Origem⁽⁴⁾
IPR 98	Villa Sarchi CIFC 971/10 x HdT CIFC 832/2
IPR 99	Villa Sarchi CIFC 971/10 x HdT CIFC 832/2
IPR 100	Catuaí V. IAC 81 x (Catuaí V. IAC 81 x IAC 1110-8)
IPR 102	Catuaí V. IAC 99 x Icatu de porte baixo ⁽⁵⁾
IPR 103	Catuaí V. IAC 99 x Icatu de porte baixo ⁽⁵⁾
IPR 106	Icatu IAC 925 ⁽⁶⁾ x material desconhecido
IPR 107	IAPAR 59 x Mundo Novo IAC 376-4
IPR 108	IAPAR 59 x (Catuaí V. IAC 99 x Icatu de porte baixo ⁽⁵⁾)
Arara	Sarchimor IAC 1669-20 x Catuaí Amarelo
IAC Ouro Verde	Catuaí Amarelo IAC 70 x Mundo Novo IAC 515-20
Piatã IAC 387	Progênie F4 de (<i>C. arabica</i> x <i>C. liberica</i> var. <i>dewevrei</i>) x Catuaí
Catuaí V. ⁽¹⁾	Caturra Amarelo IAC 476-11 x Mundo Novo IAC 374-19
Mundo Novo ⁽²⁾	Sumatra x Bourbon Vermelho
Icatu V. IAC 4045 ⁽³⁾	Mundo Novo x [Mundo Novo x (Bourbon x <i>C. canephora</i> tetraplóide)]

⁽¹⁾ Catuaí V. = Catuaí Vermelho IAC 99.

⁽²⁾ Mundo Novo = Mundo Novo IAC 376-4.

⁽³⁾ Icatu V. = Icatu IAC 4045.

⁽⁴⁾ HdT = Híbrido de Timor. IAC 1110-8 = café BA-10 da Índia.

⁽⁵⁾ Icatu de porte baixo = [(*C. arabica* cv. Bourbon Vermelho dihaploide com número de cromossomos duplicado x *C. canephora* com número de cromossomos duplicado) x Mundo Novo] x Catuaí Amarelo.

⁽⁶⁾ Icatu IAC 925 originado de Mundo Novo IAC 379-19 x [Mundo Novo IAC 379-19 x (*C. arabica* cv. Bourbon Vermelho dihaploide com número de cromossomos duplicado x *C. canephora* com número de cromossomos duplicado)].

Para o experimento, as mudas de cada genótipo foram produzidas no viveiro do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná–IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), localizado em Londrina, Paraná, Brasil, com sombrite de 50% de luminosidade. As mudas de cafés foram

obtidas através de semeadura em germinadores contendo areia. As plantas no estádio cotiledonar foram transplantadas para tubetes de 120 mL contendo substrato Mecplant[®], o qual foi usado adubo de liberação lenta Osmocote Plus[®] (15% de N, 9% de P₂O₅, 12% de K₂O, 1,3% de Mg, 6% de S, 0,05% de Cu, 0,46% de Fe, 0,06% de Mn, 0,02% de Mo) por m³ de substrato (2%). Foram realizadas duas aplicações foliares de Ubyverde[®] (15% de N, 15% de P₂O₅, 20% de K₂O, 1,5% de Ca, 0,05% de Mg, 3% de S, 0,2% de Zn, 0,05% de B, 0,1% de Fe, 0,02% de Mn, 0,05% de Cu, 0,01% de Mo) a 0,05%, sendo uma quando atingiram quatro pares de folhas e a outra com cinco pares. Com seis pares foi efetuada uma aplicação foliar do adubo 20 % de N: 5% de P₂O₅: 20% de K₂O (20-05-20) a 0,5%. As mudas não foram tratadas com fungicidas que controlam a MOP. As inoculações foram feitas em mudas com nove a dez pares de folhas.

No Instituto Biológico foram multiplicados os isolados IB1309, IB841 e IB1179 de *C. coffeicola* onde cresceram por cinco dias em meio de cultura V8 (DHINGRA e SINCLAIR, 1995), com fotoperíodo de 12 hs de luz por 12 hs de escuro. As plantas foram colocadas em câmara úmida pelo período de 4 horas antes da inoculação.

Após os cinco dias, as suspensões de conídios de cada isolado foram preparadas com aproximadamente 10 mL de água destilada e autoclavada. Após isso, os conídios foram retirados por meio de raspagem das estruturas reprodutivas utilizando pincel de cerdas macias. As suspensões foram colocadas num béquer de 100 mL e filtradas com gaze. Após a filtragem, os três isolados foram misturados em uma única solução, com posterior contagem dos conídios na câmara de Neubauer. As suspensões foram ajustadas com água destilada para a concentração de 10⁵ conídios de *C. coffeicola* por mL de suspensão.

As inoculações foram com um borrifador, aplicando cerca de 5mL por planta, nos dois lados dos três primeiros pares de folhas totalmente expandidos do ápice da planta, até o início de escorrimento do inóculo.

Após as inoculações, as plantas foram colocadas em câmara úmida por 24 horas. Após esse tempo foram levadas para o viveiro com sombrite de 50% de luminosidade. A irrigação foi feita por nebulizadores programados para irrigar a cada uma hora, por um período de um minuto de molhamento, com o objetivo de criar umidade nas folhas visando favorecer o desenvolvimento do fungo.

O experimento no viveiro foi instalado no delineamento inteiramente casualizado, com 12 repetições de uma planta, sendo que para cada planta foram avaliados os três primeiros pares de folhas totalmente expandidos. Foram realizadas três avaliações da severidade da MOP, nos períodos 74 dias após a inoculação (DAI), 91 DAI e 105 DAI. As

mudas foram mantidas no viveiro até o momento da coleta da parte aérea para análise foliar de macronutrientes e micronutrientes.

A severidade da MOP foi avaliada por meio da contagem do número de lesões por folha (NL). Para folhas que caíram devido a ocorrência da doença, foi atribuído o número máximo de lesões encontradas no experimento para essa folha. Além do NL, a severidade em cada folha foi avaliada com base na área foliar lesionada (AL), utilizando uma escala diagramática de notas de 1 a 6 (OLIVEIRA et al., 2001 modificado), em que: nota 1 = folha sem sintomas com 0% da área lesionada; nota 2 = 0-3% da área lesionada; nota 3 = 3,01 – 6,00% da área lesionada; nota 4 = 6,01-12,00% da área lesionada; nota 5 = 12,01-25,00% da área lesionada; nota 6 = folhas caídas devido à alta severidade de MOP. Para cada uma das avaliações de NL e AL, foi realizada a média das folhas por parcela em cada genótipo.

Após a terceira avaliação, foram coletadas amostras compostas das folhas dos genótipos para análise da quantidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, zinco, molibdênio e silício. Cada parcela foi constituída de amostra composta das folhas coletadas de três plantas, totalizando quatro parcelas de cada genótipo.

Os dados das avaliações foram submetidos ao software Selegen – REML/BLUP (RESENDE, 2016) com a finalidade de estimar os parâmetros genéticos e prever os valores genotípicos, conforme o modelo linear misto: $y = Xm + Zg + Wp + e$, em que: y é o vetor dos dados fenotípicos; m é o vetor dos efeitos das avaliações realizadas (assumidos como fixos) somados à média geral; g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios); p é o vetor dos efeitos de ambiente permanente (aleatórios); e e é o vetor de erros ou resíduo (aleatórios). As letras maiúsculas X , Z e W representam as matrizes de incidência para os efeitos m , g e p , respectivamente.

Para os resultados das análises foliares, utilizou-se o modelo linear misto descrito por: $y = Xu + Zg + e$, em que: y é o vetor dos dados referente às análises foliares; u é o vetor referente à média geral (fixos); g é o vetor dos efeitos genotípicos (aleatórios); e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A significância dos efeitos aleatórios do modelo estatístico foi testada via teste da razão de verossimilhanças (LRT) (WILKS, 1938), considerando 1 grau de liberdade e nível de significância igual a 1%.

3.5 Resultados e Discussão

Através dos valores de LRT (Tabela 1), obtidos por meio da análise das *deviances* (ANADEV), foi observada a significância do efeito do genótipo ($p > 0,01$) e do ambiente permanente para as variáveis número de lesões (NL) e área lesionada pela escala de notas (AL). Esses resultados demonstram a existência de variabilidade entre os 14 genótipos avaliados e estão de acordo com estudos anteriores que verificaram variabilidade para resistência à MOP entre diferentes acessos e cultivares de cafeeiros (PATRÍCIO; TOMA-BRAGHINI; FAZUOLI, 2010; DELL'ACQUA et al., 2011; BOTELHO et al., 2017). Além disso, a significância verificada para o efeito de ambiente permanente demonstra que houve influência das condições ambientais no desempenho dos genótipos entre as avaliações.

Tabela 1 – Resultados da ANADEV obtidos pelo teste da razão da verossimilhança (LRT) das deviances do efeito aleatório de genótipo (Gen) e do modelo completo (C) para as variáveis número de lesões (NL) e área lesionada (AL) em 14 genótipos através de três avaliações de severidade da mancha-de-olho-pardo.

Efeitos	NL		AL	
	Dev	LRT	Dev	LRT
Genótipos	1654,46	88,74**	162,25	132,55**
Ambiente permanente	1575,56	9,84**	44,75	15,05**
Modelo completo	1565,72		29,70	

NL: contagem do número de lesões; AL: baseada em uma escala diagramática de 1-6.

** : resultados significativos ao nível de 1% pelo teste de qui-quadrado.

Em relação à análise nutricional foliar realizada entre os genótipos após as avaliações, foi verificado efeito não significativo ($p < 0,05$) para a maioria dos nutrientes (Tabela 2). Esses resultados demonstram que os genótipos não se diferenciaram estatisticamente quanto a quantidade de nitrogênio, potássio, cálcio, boro, cobre, ferro, manganês e silício. De maneira geral, a nutrição mineral contribui com a redução da severidade da doença (POZZA, 1999), principalmente em relação ao conteúdo de cálcio, nitrogênio, potássio e silício (GARCIA JUNIOR et al., 2003; POZZA et al., 2001; BOTELHO et al., 2011). Porém, os resultados não significativos verificados para esses nutrientes, demonstram que os genótipos não apresentavam

diferenças nas concentrações desses nutrientes, os quais poderiam interferir na caracterização da resistência dos genótipos.

Apenas as quantidades de fósforo e zinco apresentaram significância ao nível de 1% para o efeito de genótipo, enquanto magnésio e enxofre foram significativos ao nível de 5% (Tabela 2). Contudo, não há relatos sobre a influência direta de magnésio e do enxofre, assim como a aplicação de fósforo e zinco não parece ter relação com a severidade de *C. coffeicola* em mudas de café. De acordo com Pozza et al. (2002), a aplicação de fósforo no substrato de mudas de café não demonstra relação com a intensidade da doença. Além disso, no estudo de Chaves et al. (2018), foi verificado que o uso de fósforo resultou em menor severidade para MOP apenas no período de pós colheita em plantas adultas. Para o zinco, apesar de existirem relatos sobre a diminuição do ataque de patógenos em outras culturas, o modo de ação desse nutriente não está totalmente esclarecido para o caso de MOP em cafeeiros (POZZA et al., 2001).

As estimativas de herdabilidades dos efeitos genotípicos totais (h^2_g) apresentaram média magnitude para as duas variáveis (Tabela 3), já que esse nível de magnitude se encontra entre 0,15 e 0,50 segundo a classificação de Resende (2002). Contudo, para a variável AL ($h^2_g=0,30$) o valor estimado foi 33,88% maior que NL, devido à proporção da variância ambiental apresentada pelas variáveis. Isso demonstra que, apesar de ambas terem sido utilizadas para mensurar a severidade de *C. coffeicola*, a avaliação baseada em escala diagramática possui menor variação ambiental em relação à quantificação das lesões. Dessa forma, é possível que a identificação de genótipos resistentes apresente melhores resultados pela avaliação da AL através da atribuição de notas.

O valor da estimativa de h^2_g obtida pela AL foi similar aos resultados de Botelho et al. (2017), os quais obtiveram o valor de 0,34 ao considerar a média de três avaliações para MOP em diferentes genótipos. No entanto, essas estimativas são inferiores aos valores obtidos em cafeeiros arábica para a resistência à ferrugem alaranjada (PEREIRA et al., 2013; PETEK, SERA; FONSECA, 2008; MARIUCCI JUNIOR, 2021) e à nematoides (FATOBENE et al., 2017; REZENDE et al., 2017).

Tabela 2 – Resultados da análise de deviance (ANADEV) através da Deviance (Dev) e teste da razão da verossimilhança (LRT) para o efeito de genótipo (Gen) e do modelo completo (C) para os nutrientes apresentados pelos genótipos após as avaliações de severidade da mancha-de-olho-pardo.

Efeito	N		P		K		Ca		Mg		S		Bo		Cu		Fe		Mn		Zn		Si	
	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT
Genótipo	198.97	0.00 ^{ns}	-21.97	12.25**	96.17	1.49 ^{ns}	103.10	2.20 ^{ns}	-12.14	7.76**	-174.70	4.58*	261.46	0.01 ^{ns}	22.73	3.53 ^{ns}	384.29	0.00 ^{ns}	305.18	1.91 ^{ns}	220.86	13.38**	521.48	0.01 ^{ns}
Modelo completo	198.97		-34.22		94.68		100.90		-19.90		-179.28		261.45		19.20		384.29		303.27		207.48		521.47	

Conteúdos obtidos pela análise foliar para os nutrientes de Nitrogênio (N); fósforo (P); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Enxofre (S); Boro (Bo); Cobre (Cu); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Zinco (Zn) e Silício (Si).

^{ns}: resultados não significativos ao nível de 1% e 5% pelo teste de qui-quadrado.

*: resultados significativos ao nível de 5% pelo teste de qui-quadrado.

** : resultados significativos ao nível de 1% pelo teste de qui-quadrado.

Tabela 3 – Componentes de variância e parâmetros genéticos e não genéticos para as variáveis de número de lesões (NL), notas visuais pela escala diagramática (NOTA) avaliadas em 14 cultivares de *C. arabica*.

Componente/parâmetro	Variáveis avaliadas	
	NL	NOTA
σ_g^2	2,60	0,15
σ_{perm}^2	0,44	0,02
σ_e^2	8,66	0,34
σ_f^2	11,70	0,52
h_g^2	0,22	0,30
h_{mg}^2	0,44	0,53
P	0,26	0,34
c_{perm}^2	41,72	17,83
μ	3,93	2,21

σ_g^2 : variância genotípica; σ_{perm}^2 : variância do ambiente permanente; σ_e^2 : variância residual; σ_f^2 : variância fenotípica; h_g^2 : herdabilidade dos efeitos genotípicos totais; h_{mg}^2 : herdabilidade de média dos genótipos; repetibilidade ao nível de parcelas; c_{perm}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente; μ : média geral do experimento.

No caso da ferrugem alaranjada, o maior potencial de obtenção de estimativas de herdabilidade com valores mais elevados, se deve ao fato do caráter ser governado por genes de efeito qualitativo ou quantitativo em condições de interação planta x patógeno (BETTENCOURT; RODRIGUES JUNIOR, 1988; ESKES et al., 1990). Porém, nenhum dos estudos realizados constataram altos níveis de resistência à MOP, que indicaria a resistência qualitativa (FERNANDES et al., 1990; ARAUJO NETTO et al., 1978; PATRÍCIO; TOMA-BRAGHINI; FAZUOLI, 2010; DELL'ACQUA et al., 2011). Consequentemente, a presença de resistência do tipo quantitativa contribui para que a magnitude da estimativa de herdabilidade seja de menor valor, devido à forte influência ambiental na expressão do fenótipo (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Por outro lado, ao considerar a média das três avaliações, os resultados estimados para NL e AL conduziram a coeficientes com valores superiores, quando estimado pelo nível de médias dos genótipos (h_{mg}^2). Esses resultados demonstram que o aumento do número de avaliações permite elevar a magnitude de herdabilidade, como verificado para a

magnitude alta ($>0,50$) apresentado para AL. Contudo, para que a variável NL possa assumir estimativas de magnitude alta para o parâmetro de herdabilidade, é necessário que os genótipos sejam avaliados por mais vezes. Esses resultados estão relacionados às estimativas do coeficiente de repetibilidade (ρ) de 0,26 para NL e 0,34 para AL. Segundo a classificação de Resende (2002), os valores podem ser caracterizados com magnitude baixa ($\rho < 0,30$) e média ($0,30 < \rho < 0,60$), respectivamente. Conseqüentemente, as magnitudes verificadas tendem a conduzir a melhores respostas conforme o aumento do número de avaliações (Tabela 4).

Tabela 4 - Porcentagem de eficiência (E%) pelo aumento do número de avaliações (m) da resistência à MOP pelas variáveis NL e AL, baseadas na herdabilidade média dos genótipos (h^2_{mg}) e acurácia seletiva (r_{gg}).

m	NL			AL		
	h^2_{mg}	r_{gg}	E%	h^2_{mg}	r_{gg}	E%
1	0.22	0.47	-	0.30	0.55	-
2	0.35	0.59	26.00%	0.44	0.67	22.02%
3	0.44	0.66	40.50%	0.53	0.73	33.37%
4	0.50	0.71	49.93%	0.59	0.77	40.37%
5	0.54	0.74	56.58%	0.63	0.79	45.15%
6	0.58	0.76	61.54%	0.66	0.81	48.61%
7	0.61	0.78	65.39%	0.68	0.82	51.25%
8	0.63	0.79	68.47%	0.70	0.84	53.32%
9	0.65	0.81	70.98%	0.71	0.85	54.99%
10	0.67	0.82	73.07%	0.73	0.85	56.36%

O coeficiente de repetibilidade estimado para NL demonstra que a partir de quatro avaliações realizadas seria possível assumir magnitude alta para herdabilidade, aumentando a eficiência dos resultados em, aproximadamente, 50% em relação à uma única avaliação. Além disso, as estimativas obtidas para o coeficiente de repetibilidade são relevantes também para identificar o número de avaliações necessárias para aumentar a acurácia seletiva (FERREIRA et al., 2020). Dessa forma, apesar da realização de três avaliações ter propiciado magnitude moderada para acurácia, segundo a classificação de Resende e Duarte (2007), o uso de quatro avaliações poderia elevar a magnitude para o nível alto. Já para AL, a utilização de

três avaliações foi suficiente para apresentar alta magnitude tanto para herdabilidade quanto para a acurácia seletiva, devido ao valor ligeiramente superior apresentado pelo coeficiente de repetibilidade.

Sabe-se que diversos fatores influenciam na severidade de MOP em cafeeiros, como a temperatura (SOUZA, 2007), a intensidade da luminosidade (SILVA et al., 2015), e da nutrição mineral da planta (FERNANDES, 1988; GARCIA JUNIOR et al., 2003; POZZA et al., 2001). Dessa forma, embora não tenha sido verificada diferença entre os genótipos quanto a nutrição foliar, como relatado anteriormente, outros fatores podem ter influenciado na expressão do fenótipo durante as avaliações. Esses fatores tendem a embutir os seus efeitos ambientais nas médias fenotípicas, diminuindo a eficiência de seleção de genótipos mais promissores (RESENDE; DUARTE, 2007). Por esse motivo, a consideração do ambiente como efeito fixo e o efeito de genótipo como aleatório, permitiu a predição dos valores genotípicos livres da influência ambiental para a seleção de genótipos resistentes (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores genotípico ($\mu + g$), limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) e limite superior do intervalo de confiança (LSIC) para as variáveis número de lesões (NL) e área lesionada (AL) da mancha-de-olho-pardo em 14 genótipos de *C. arabica*.

Genótipos ⁽¹⁾	NL			AL		
	$\mu + g$	LIIC	LSIC	$\mu + g$	LIIC	LSIC
IPR 106	1,62	0,39	2,85	1,50	1,23	1,78
Piatã IAC 387	1,69	0,46	2,92	1,66	1,39	1,93
IPR 103	2,33	1,08	3,59	1,85	1,57	2,13
IPR 99	3,24	2,01	4,46	1,89	1,61	2,16
IPR 102	4,43	3,18	5,68	2,07	1,80	2,35
Arara	4,82	3,57	6,07	2,12	1,84	2,40
IPR 107	5,92	4,70	7,15	2,24	1,97	2,52
IAC Ouro Verde	4,49	3,23	5,74	2,29	2,01	2,57
IPR 100	3,40	2,15	4,65	2,29	2,01	2,57
IPR 98	5,11	3,89	6,34	2,44	2,17	2,72
Mundo Novo IAC 376-4	3,07	1,84	4,30	2,49	2,21	2,76

Catuaí Vermelho IAC 99	6,79	5,57	8,02	2,66	2,39	2,94
Icatu Vermelho IAC 4045	3,19	1,94	4,44	2,69	2,41	2,96
IPR 108	4,90	3,63	6,17	2,70	2,42	2,99
Média geral	3,93			2,21		

⁽¹⁾ Genótipos ordenados pelos valores genótipos obtidos pelo BLUP para a variável AL.

Os valores genotípicos para as variáveis NL e AL demonstraram que a cultivar IPR 106 apresentou menor severidade à MOP, tanto pela quantidade de lesões apresentadas quanto pela porcentagem de área foliar danificada pelas lesões. O genótipo Piatã IAC 387 apresentou valores genotípicos bastante semelhantes aos de IPR 106, ordenado pelo BLUP como o segundo melhor genótipo tanto para NL quanto para AL.

Os intervalos de confiança do limite superior (LSIC) e inferior (LIIC) obtidos para IPR 106 e Piatã IAC 387 permitiram inferir que o desempenho apresentado por esses genótipos para NL não se diferiram estatisticamente de IPR 103, Mundo Novo IAC 376-4, Icatu Vermelho IAC 4045, IPR 99 e IPR 100. Para a variável AL, tanto IPR 102 quanto Arara não diferiram da cultivar suscetível Mundo Novo IAC 376-4. Portanto, IPR 106 se destacou como sendo mais resistente do que o Piatã IAC 387, pois a primeira diferiu de IPR 102 e Arara, enquanto para o segundo não houve diferença. IPR 103 e IPR 99 foram mais resistentes do que as cultivares mais suscetíveis, pois para NL e AL não foram observadas diferenças significativas em relação à IPR 106 e Piatã IAC 387.

Os resultados de Piatã IAC 387 foram semelhantes aos observados por Patrício et al. (2010), os quais relataram menor incidência e severidade de MOP nas avaliações desse genótipo. No entanto, não existem relatos sobre a resistência à *C. coffeicola* em IPR 106, o qual parece se tratar de uma importante fonte de resistência para MOP. Ambos, além de apresentarem menor quantidade de lesões, provavelmente possuem mecanismos que retardam ou impossibilitam o desenvolvimento de *C. coffeicola*, em razão da menor intensidade de sintomas. As reações à MOP apresentada pelas cultivares IPR 99, Arara, IPR 107, IPR 98 e IPR 108, as quais são derivadas de Híbrido de Timor (HdT), apresentaram resultados divergentes. Enquanto IPR 99 demonstrou uma provável resistência moderada, tendo em vista que seus valores genotípicos foram inferiores à média geral para ambas as variáveis, o contrário ocorreu para IPR 107, IPR 98 e IPR 108. Em contrapartida, os valores genotípicos de NL para a cultivar Arara foram superiores à média geral dos genótipos, mas apresentou resultado semelhante ao de IPR 99 para AL. Além disso, o LIIC do valor genotípico de Arara para AL, foi inferior ao

LSIC de Piatã IAC 387, indicando que os valores genotípicos não possuem diferença com esse genótipo de maior resistência.

Sabe-se que os acessos de HdT costumam apresentar resultados variáveis quanto a reação à MOP (SETOTAW et al., 2010), assim como genótipos derivados de HdT (PATRÍCIO; TOMA-BRAGHINI; FAZUOLI, 2010). Nos estudos de Botelho et al. (2017), os genótipos derivados de Híbrido de Timor foram os que apresentaram maior nível de resistência em razão da menor frequência de sintomas de MOP. Fernandes et al. (1990) também relatam que alguns genótipos derivados de HdT possuíam menor severidade à MOP em condições de campo, embora não apresentem resistência completa. Entretanto, apesar do potencial como provável fonte de resistência, as progênies derivadas do cruzamento entre acessos de HdT e outros genótipos suscetíveis podem apresentar resistência intermediária ou suscetibilidade ao patógeno (FERNANDES et al., 1990; BOTELHO et al., 2017). Além disso, os diferentes níveis de resistência indicam novamente a resistência do tipo quantitativa (ESKES; BRAGHINI, 1981; CAMARGO, 2018).

Os valores genotípicos para AL verificados para Mundo Novo IAC 376-4 e Icatu Vermelho IAC 4045, demonstram que essas progênies apresentaram maior suscetibilidade ao patógeno. Para ambos os genótipos, não houve diferença significativa com os valores genotípicos de Catuaí Vermelho IAC 99 e IPR 108, baseado na sobreposição de LIIC e LSIC. Dessa forma, embora Mundo Novo IAC 376-4 e Icatu Vermelho IAC 4045 não apresentassem diferença significativa com os genótipos mais resistentes para NL, essas progênies também não se diferem das mais suscetíveis para AL. Portanto, não é possível determinar a resistência de cafeeiros apenas pela quantificação da incidência de danos, como realizado para a variável NL. Isso ocorre devido a variável determinar apenas o número de lesões e não a porcentagem que essas lesões ocupam nas folhas, como é realizado pela AL.

O maior valor genotípico observado para a variável NL foi o de Catuaí Vermelho IAC 99, devido a maior quantidade de lesões verificadas. Os resultados se comportaram como esperado, conforme relatado em estudos anteriores em cultivares do grupo Catuaí (ARAUJO NETTO et al., 1976; FERNANDES et al., 1990; PATRÍCIO; TOMA BRAGHINI; FAZUOLI, 2010). Como relatado anteriormente, essa cultivar também foi ordenada entre as mais suscetíveis, baseado no valor genotípico para a variável AL. Ao mesmo tempo, os valores genotípicos de Catuaí não se diferenciaram de IPR 107, IAC Ouro Verde, IPR 100, IPR 98, Mundo Novo IAC 376-4, Icatu Vermelho IAC 4045 e IPR 108. Desse modo, apesar de Patrício, Toma-Braghini e Fazuoli (2010) terem observado uma possível resistência

de IAC Ouro Verde à *C. coffeicola*, isso não foi verificado no presente estudo. IAC Ouro Verde foi originada do cruzamento entre os genitores Mundo Novo e Catuaí, ambos suscetíveis no nosso estudo.

Apesar de alguns estudos relatarem diferentes níveis de reação à MOP em genótipos do grupo Icatu (PATRÍCIO; TOMA-BRAGHINI; FAZUOLI, 2010; ARAUJO NETTO et al., 1976; POZZA et al., 2004), o genótipo utilizado nesse estudo apresentou um dos maiores valores genotípicos para AL. A suscetibilidade de Icatu e Catuaí corroboram com os resultados de Dell'Acqua et al. (2011), os quais não verificaram diferenças da severidade de MOP entre os dois genótipos. Além disso, os resultados para esses genótipos podem explicar a suscetibilidade observada para IPR 108, visto que essa cultivar é derivada do cruzamento entre IAPAR 59 x (Catuaí Vermelho IAC 99 x Icatu de porte baixo). Embora o genitor IAPAR 59 seja derivado de HdT, o que também não garante que possua resistência, os cruzamentos com genitores suscetíveis à MOP tendem a gerar progênies suscetíveis, como observado por Fernandes et al. (1990).

A suscetibilidade de Mundo Novo já foi relatada por Patrício, Toma-Braghini e Fazuoli (2010), corroborando com os resultados obtidos no presente estudo para a variável AL. Também relatam que a suscetibilidade a MOP apresentada por Mundo Novo tende a ser maior que Catuaí, a qual não foi verificada no presente estudo, pois os valores genotípicos de AL não diferiram estatisticamente.

Desse modo, os genótipos com maior resistência à MOP foram IPR 106, Piatã IAC 387, IPR 103 e IPR 99, com destaque para o primeiro seguido pelo segundo, pois apresentar menor severidade. É interessante que estudos futuros realizem avaliações desses genótipos mais resistentes com diferentes isolados de *C. coffeicola*, o que poderá elucidar a existência de raças fisiológicas e a durabilidade da resistência. Consequentemente, esses genótipos poderão ser utilizados como fonte de resistência em programas de melhoramento ou recomendados para o plantio em áreas mais afetadas por esse patógeno.

3.6 Conclusão

Os valores de acurácia seletiva e das herdabilidades foram maiores quando a severidade da mancha-de-olho-pardo foi avaliada pela área lesionada utilizando uma escala diagramática do que pela contagem do número de lesões. Consequentemente, para essa última

variável seriam necessárias um maior número de avaliações para atingir magnitudes altas de parâmetros.

A cultivar IPR 106 apresentou o maior nível de resistência, seguido pelo genótipo Piatã IAC 387. IPR 103 e IPR 99 foram mais resistentes que outras cultivares, no entanto, foram mais suscetíveis do que IPR 106 e Piatã IAC 387.

4 ARTIGO B. Predição de ganhos genéticos e estimação de parâmetros genéticos para resistência ao nematoide *Meloidogyne paranaensis* em progênies de café arábica

4.1 Resumo

Os objetivos deste estudo foram: a) estimar parâmetros genéticos relacionados com a resistência à *M. paranaensis* (MP); b) identificar progênies com resistência a esse nematoide com base na estimação dos valores genotípicos; c) predizer o ganho genético das progênies para resistência à MP. Foram avaliadas 45 progênies F₇ de Icatu IAC 925 x Sarchimor IAC 1669-33 do programa de melhoramento do IDR-Paraná, em um experimento conduzido em casa de vegetação no IDR-Paraná, em Londrina, Paraná, Brasil. Em cada planta foram inoculados 1000 ovos e juvenis J2. Aos 120 dias após a inoculação, foram realizadas as avaliações das variáveis fator de reprodução (FR) e número de nematoides por grama de raízes (NGR). Foi empregada a metodologia de modelo misto da máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viciada (REML/BLUP) para estimar os componentes de variância, parâmetros genéticos, valores genotípicos e efeito genético aditivo, além de predizer o ganho genético para resistência. Os valores de herdabilidade individual no sentido restrito (h^2_a) estimados para ambas as variáveis demonstraram baixa magnitude. Contudo, os coeficientes de herdabilidade restrita para média de progênies (h^2_m) apresentaram valores de 0,49 para FR e 0,50 para NGR, caracterizados como magnitudes médias. Por meio da metodologia REML/BLUP, foi possível identificar maiores ganhos genéticos para resistência à *Meloidogyne paranaensis* com as sete progênies F₇ selecionadas.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Modelo misto. REML/BLUP. Nematode das galhas.

4.2 Abstract

Prediction of genetic gains and estimation of genetic parameters for resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in Arabica coffee progenies

The aims of this study were: i) to estimate genetic parameters related to resistance to *Meloidogyne paranaensis* (MP); ii) to identify progenies with resistance to this nematode based on the estimation of genotypic values; c) to predict the genetic gain of the progenies for resistance to MP. Forty-five F₇ progenies of Icatu IAC 925 x Sarchimor IAC 1669-33 from the IDR-Paraná breeding program were evaluated in an experiment conducted in a greenhouse at the IDR-Paraná, in Londrina, Paraná, Brazil. In each plant 1000 eggs and J2 juveniles were

inoculated. At 120 days after inoculation, evaluations of the variables reproduction factor (RF) and number of nematodes per gram of roots (NGR) were performed. The mixed model methodology of restricted maximum likelihood and best linear unbiased prediction (REML/BLUP) was used to estimate the variance components, genetic parameters, genotypic values and additive genetic effect, in addition to predicting genetic gain for resistance. The values of individual heritability in the narrow sense (h^2a) estimated for both variables showed low magnitude. However, the restricted heritability coefficients for the average of progenies (h^2m) presented values of 0.49 for FR and 0.50 for NGR, characterized as medium magnitudes. Through the REML/BLUP methodology, it was possible to identify greater genetic gains for resistance to *M. paranaensis* with the seven selected F₇ progenies.

Keywords: *Coffea arabica*. Mixed model. REML/BLUP. Root-knot nematode.

4.3 Introdução

A cafeicultura brasileira sofre expressivas perdas econômicas devido a ocorrência do fitonematoide *Meloidogyne paranaensis*, pois é uma espécie de alta agressividade (Gonçalves and Silvarolla 2007). Esse nematoide está amplamente disseminado nos estados do Paraná e de São Paulo (Carneiro e Almeida, 2000; Gonçalves e Silvarolla, 2001; Lordello e Lordello, 2001; Carneiro et al., 2005) e está se tornando uma grave ameaça para a cafeicultura brasileira, pois está se disseminando para várias regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais (Santos, 1997; Castro et al., 2003, 2008; Castro e Campos, 2004), o maior produtor brasileiro. Também já foi identificado atacando cafeeiros nos estados de Goiás (Silva et al., 2009) e Espírito Santo (Barros et al., 2011).

M. paranaensis causa danos sobretudo na raiz principal, provocando rachaduras, quebras e descortiçamentos, com conseqüente sintomas na parte aérea como clorose, desfolha, redução no crescimento e, muitas vezes são levadas à morte. Ocorrem manchas necróticas nos locais onde as fêmeas se encontram (SOUZA, 2000; KIMATI, 2005). Em uma área infestada com *M. paranaensis*, no município paranaense de São Jorge do Patrocínio, foi observado um declínio acentuado da produtividade e do vigor vegetativo das cultivares suscetíveis a partir da segunda safra, no quarto ano após o plantio. Nesse mesmo estudo, também foi verificado a morte de 44,66% das plantas da cultivar suscetível Catuaí

Vermelho IAC 81, enquanto para as cultivares resistentes IPR 100 e IPR 106 as porcentagens foram, respectivamente, 1,79% e 5,36% (SERA et al., 2020b).

Em áreas já infestadas pelo *M. parananensis*, as principais medidas de controle são cultural, químico, biológico e genético. A principal medida de controle desse nematoide é pelo uso de cultivares resistentes, pois possui alta eficiência e reduzido ou nenhum custo para aplicação de nematicidas, além de reduzir os danos ao meio ambiente e ao agricultor (SERA et al., 2017b, 2020b).

Alto nível de resistência à *M. paranaensis* foi encontrada em *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (Sera et al., 2006; Gonçalves e Silvarolla, 2007; Andreazi et al., 2015) e em acessos silvestres de *C. arabica* da Etiópia (Anthony et al., 2003; Boisseau et al., 2009; Fatobene et al. 2017; Holderbaum et al., 2020). Alta resistência também foi identificada em cafeeiros arábicos com introgressão de *C. canephora* como nos derivados de Icatu (Gonçalves e Silvarolla 2007, Shigueoka et al. 2016a) e em cafeeiros com introgressão de *C. liberica* como nos derivados do BA-10 (Sera et al., 2017b; 2020a). Resistência intermediária foi identificada em derivados de Híbrido de Timor (Muniz et al. 2009, Salgado et al., 2014; Shigueoka et al. 2016b). Atualmente, não existem estudos que determinaram a herança da resistência à *M. paranaensis*, no entanto, os níveis de resistência alto e intermediário já identificados indicam a existência das resistências dos tipos qualitativa e quantitativa, respectivamente.

Apesar de já existirem várias fontes de resistência identificadas, ainda são escassas as cultivares de café arábica com alta resistência a esse nematoide. No passado, para áreas infestadas com *M. parananensis*, era recomendada somente a cultivar porta-enxerto resistente Apoatã IAC 2258 de *C. canephora* (Fonseca et al., 2008; Andreazi et al., 2015). Atualmente, além desse porta-enxerto, também vem sendo recomendada as cultivares pé franco de café arábica IPR 100 e IPR 106 que possuem alta resistência à *M. parananensis* (SERA et al., 2017b; 2020b). Programas de melhoramento de café no Brasil, vêm selecionando progênies de café arábica com introgressão de *C. canephora* (Shigueoka et al. 2016a) e de *C. liberica* (Sera et al., 2020a) visando o desenvolvimento de novas cultivares do tipo pé franco.

O estudo de parâmetros genéticos estatísticos permite reconhecer os caracteres que são herdáveis e, também, a variabilidade existente, os quais favorecem a avaliação e seleção de genótipos superiores (PEREIRA et al., 2013b; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Além disso, a utilização de procedimentos ótimos para a estimação precisa dos componentes de variância e parâmetros genéticos, favorece a identificação de genótipos

resistentes a partir da predição dos valores genotípicos (RESENDE, 2004). Os valores genotípicos preditos favorecem a seleção genética, visto que em características de efeito quantitativo, a influência ambiental embutida na estimação das médias fenotípicas não é desejável (RESENDE; DUARTE, 2007). Entretanto, para eliminar os efeitos ambientais residuais embutidos nos dados fenotípicos, é ideal considerar o efeito do genótipo como aleatório para forçar as predições em direção a média geral, por meio do *shrinkage* (RESENDE, 2004).

O uso da metodologia de modelo misto REML/BLUP (*Restricted Maximum Likelihood / Best Linear Unbiased Prediction*), considerando o efeito dos genótipos como aleatório, fornece resultados mais realistas para predizer o valor genético na ocorrência de dados desbalanceados (DUARTE; VENCOVSKY, 2001; DUARTE, 2010). A partir do método REML, é possível obter as estimativas dos componentes de variância necessárias o BLUP, possibilitando a predição não viciada de valores genéticos para a avaliação e seleção genética (HENDERSON, 1984; RESENDE, 2016).

Os resultados obtidos possibilitam aumentar a eficiência na seleção acurada dos genótipos mais promissores (RAMALHO; CARVALHO; NUNES, 2012). Diversos estudos no melhoramento de *C. arabica* têm utilizado a metodologia de modelo misto REML/BLUP (*Restricted Maximum Likelihood / Best Linear Unbiased Prediction*) para estimar os parâmetros genéticos e predizer os valores genéticos em cafeeiros (RESENDE et al., 2001; PETEK; SERA; FONSECA, 2008; PEREIRA et al., 2013; SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014; RODRIGUES et al., 2013; REZENDE et al., 2017). A metodologia REML/BLUP foi utilizada para a estimativa de parâmetros genéticos e seleção de cafeeiros para resistência aos nematoides *M. exigua* (Rezende et al., 2017) e *M. paranaensis* (Rezende et al., 2019).

O programa de melhoramento do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná) possui progênes derivadas da fonte de resistência Icatu IAC 925 com alta resistência à *M. paranaensis*, no entanto, essas ainda não foram analisadas pela metodologia REML/BLUP. Portanto, o objetivo do trabalho foi: a) estimar parâmetros genéticos relacionados com a resistência à *M. paranaensis*; b) identificar progênes com resistência à esse nematoide com base na predição dos valores genotípicos; c) estimar o ganho genético das progênes para resistência à *M. paranaensis*.

4.4 Material e Métodos

4.4.1 Genótipos

Foram avaliadas 45 progênes F₇ de Icatu IAC 925 x Sarchimor IAC 1669-33 do programa de melhoramento do IDR-Paraná. Essas progênes foram originadas de uma hibridação espontânea, sendo o genitor feminino o Icatu IAC 925 e o masculino o Sarchimor IAC 1669-33. A fonte de resistência à *Meloidogyne paranaensis* é o Icatu IAC 925, que foi originado do cruzamento artificial entre *Coffea arabica* Bourbon haploide com número de cromossomos duplicado e *C. canephora* com número de cromossomos duplicado, que foi retrocruzado duas vezes com *C. arabica* cv. Mundo Novo IAC 379-19. Sarchimor foi originado do cruzamento artificial entre Villa Sarchi CIFC 971/10 e Híbrido de Timor CIFC 832/2, sendo o primeiro um *C. arabica* puro e o segundo um *C. arabica* com introgressão de *C. canephora*. As cultivares IPR 100 e Catuaí Vermelho IAC 99 foram, respectivamente, os controles resistente e suscetível.

4.4.2 Condução e Instalação do Experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no IDR-Paraná, em Londrina, Paraná, Brasil (23°21'20.0"S 51°09'58.2"W), nos períodos de 10 de setembro de 2016 a 12 de janeiro de 2017. As médias de temperatura máxima e mínima, durante o período foram 29,5°C e 19,2°C, respectivamente.

As mudas de café foram obtidas através de semeadura em germinadores contendo areia. Ao atingirem o estágio cotiledonar, foram transplantadas para tubetes para completar seu desenvolvimento até atingirem quatro a seis pares de folhas, quando foram transplantadas para copos de isopor com capacidade de 900 mL, contendo cerca de 800 mL de substrato (2:1, areia: solo) previamente esterilizado por calor seco a 160 °C por 5 horas. Um mês após o transplante, as plantas foram inoculadas com os nematoides.

4.4.3 Obtenção, Quantificação e Inoculação dos Nematoides

A população de *M. paranaensis* utilizada no experimento foi originalmente obtida de raízes de café coletadas no município de Apucarana, PR, e registrada no Laboratório de Nematologia do IDR-Paraná com o número 98.1. Essa população foi purificada a partir de uma única massa de ovos e identificada com base em fenótipos de α -esterase (CARNEIRO; ALMEIRDA; QUÉNEHERVÉ, 2000) e padrões perineais (HARTMAN; SASSER, 1985).

Rotineiramente, essa população é mantida em plantas de café ‘Mundo Novo’ em casa de vegetação. Aproximadamente 60 dias antes das inoculações, os nematoides foram extraídos de raízes de café (BONETI; FERRAZ, 1981) e inoculados em tomateiros ‘Santa Clara’, para multiplicação.

Os ovos e juvenis de segundo estágio (J_2) utilizados como inóculo foram extraídos das raízes dos tomateiros pelo método de Boneti e Ferraz (1981). Nas suspensões obtidas, o número de exemplares por mililitro foi estimado, sob microscópio óptico e com auxílio de lâmina de Peters. A inoculação das plantas foi realizada através da pipetagem de suspensão contendo 1000 exemplares dos nematoides (População inicial = P_i), em dois orifícios feitos no solo, próximos ao colo das plantas.

4.4.4 Avaliação da Resistência

As avaliações foram realizadas aos 120 dias após a inoculação. As partes aéreas dos cafeeiros foram descartadas e os sistemas radiculares lavados em água corrente e pesados. Em seguida, procedeu-se a extração dos ovos e J_2 , empregando-se a metodologia de Boneti e Ferraz (1981). Após a extração, a população final (P_f) de *M. paranaensis* foi quantificada com auxílio de lâmina de Peters, sob microscópio óptico, obtendo-se o fator de reprodução dos nematoides ($FR = P_f/P_i$) em cada parcela. Com os dados do peso do sistema radicular e P_f , foi determinado o número de nematoides por grama de raízes (NGR).

4.4.5 Análise Estatística dos Dados

Foi empregada a metodologia de modelo misto da máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viciada (REML/BLUP) para estimar os componentes de variância e predizer o efeito genético aditivo (PATTERSON; THOMPSON, 1971; HENDERSON; QUAAS, 1976). Assim, utilizou-se o seguinte modelo linear misto, implementado no *software* Selegen – REML/BLUP (RESENDE, 2016; 2017):

$$y = Xm + Zg + Wp + e ,$$

em que y é o vetor dos dados fenotípicos, m é o vetor dos efeitos fixos somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios); p é o vetor dos efeitos de parcelas (aleatórios); e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatório). As letras maiúsculas X , Z e W representam as matrizes de incidência para os respectivos efeitos.

A significância dos efeitos aleatórios presentes no modelo foi verificada pelo teste da razão de verossimilhança (LRT) (WILKS, 1938), utilizando o teste de qui-quadrado com um grau de liberdade ao nível de 1% de probabilidade.

Os efeitos aditivos (\hat{a}) de cada genótipo, obtidos pelo BLUP para as duas variáveis, foram padronizados através da transformação para a porcentagem de ganho de seleção ($GS\hat{a}(\%)$) em relação à média geral da população (M_o), dada por:

$$GS(\%) = \frac{\hat{a}}{M_o} * 100$$

Posteriormente, foi realizado o somatório do $GS\hat{a}(\%)$ para as variáveis FR e NGR, a fim de gerar o $\Sigma_{GS(\%)}$, visando ordenar os genótipos com maiores ganhos para ambas as variáveis. Em seguida, para estimar o ganho total com a seleção de n progênes ($GS_{Total}(\%)$), realizou-se a média do $\Sigma_{GS(\%)}$ para determinar a melhor porcentagem de intensidade de seleção ($IS(\%)$) aplicada aos genótipos, baseada no $GS_{Total}(\%)$ desejado para a próxima geração.

4.5 Resultados e Discussão

Com base nos valores de LRT (Tabela 1) testados ao nível de 1% pelo teste de chi-quadrado, foi verificada diferença significativa para o efeito de genótipo tanto para a variável de fator de reprodução (FR) quanto para o número de nematoides por grama de raiz (NGR). Por outro lado, não foi observada significância para o efeito de parcela para ambas as variáveis. Os resultados obtidos no presente estudo indicam a presença de variabilidade genética entre as 45 progênes avaliadas, indiferentemente das parcelas. Portanto, é possível realizar a seleção dos materiais genéticos com maior resistência à nematoides, com base nas duas variáveis analisadas.

Tabela 1. Deviances e teste da razão de verossimilhança (LRT) para as variáveis de fator de reprodução (FR) e número de nematoides por grama de raiz (NGR).

Efeito	FR		NGR	
	Deviance	LRT	Deviance	LRT
Genótipo	3373,23	21,83**	7683,67	23,68**
Parcela	3351,41	0,01 ^{ns}	7660,00	0,01 ^{ns}

Modelo completo	3351,40	7659,99
-----------------	---------	---------

** e ^{ns}: significativo e não significativo ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de qui-quadrado.

Os valores de herdabilidade individual no sentido restrito (h^2_a) estimados para ambas as variáveis demonstraram resultados semelhantes, conforme mostrado na Tabela 2. Segundo a classificação de Resende (2002), essas estimativas são de baixa magnitude visto que seus valores estão abaixo de 0,15. Além disso, as estimativas de herdabilidade dentro das progênes (h^2_{ad}), indicam a ausência de variabilidade dentro das progênes avaliadas. Contudo, os coeficientes de herdabilidade restrita para média de progênes (h^2_m) apresentaram valores de 0,49 para FR e 0,50 para NGR, caracterizados como magnitudes médias (RESENDE, 2002), entretanto, esses valores estão próximos da magnitude alta. Portanto, assim como evidenciado nos estudos de Rezende et al. (2017; 2019), a seleção para resistência à nematoide pode ser mais eficiente quando realizada para a média de progênes. Além disso, as estimativas obtidas para os 45 genótipos avaliados nesse estudo são semelhantes aos obtidos em outros trabalhos relacionados à resistência de cafeeiros à nematoides utilizando o procedimento da máxima verossimilhança restrita (SALGADO et al. 2014; REZENDE et al., 2017; 2019).

Tabela 2. Componentes de variância e parâmetros genéticos e não genéticos para as variáveis de fator de reprodução (FR) e número de nematoides por grama de raiz (NGR) avaliados em 45 progênes F₇.

Componentes/parâmetros	Variáveis avaliadas	
	FR	NGR
σ^2_a	27,58	120783,22
σ^2_{parc}	24,32	100913,17
σ^2_e	194,59	807859,45
σ^2_f	246,48	1029555,85
h^2_a	0,11	0,12
h^2_m	0,49	0,50
h^2_{ad}	0,00	0,00
c^2_{parc}	0,10	0,10
<i>M</i>	46,92	2916,27

σ^2_a : variância genética aditiva; σ^2_{parc} : variância entre parcelas; σ^2_e : variância ambiental; σ^2_f : variância fenotípica; h^2_a : herdabilidade individual no sentido restrito; h^2_m : herdabilidade no sentido restrito para média de progênies; h^2_{ad} : herdabilidade dentro das progênies; c^2_{parc} : coeficiente de determinação do efeito de parcela; μ : média geral.

Em estudo de reação em progênies de café de diferentes origens em gerações F₃ e F₄, plantados em área infestada por *M. paranaensis*, Salgado et al. (2014) estimaram o valor de 0,05 para a herdabilidade no sentido restrito. Rezende et al. (2017) também encontraram parâmetros genéticos com baixa magnitude ao avaliar a resistência à *M. exigua* em progênies F₅ de *C. arabica* em casa de vegetação. Os valores obtidos nesse estudo para as estimativas de herdabilidade individual foram de 0,16 e 0,05 para NGR e FR, respectivamente. Da mesma forma, as herdabilidades individuais estimada para o estudo de resistência à *M. paranaensis* em acessos silvestres foi de 0,14 para NGR e 0,12 para FR (REZENDE et al. 2019).

Entretanto, em ambos os estudos, ao estimarem a herdabilidade média de progênies, os valores obtidos apresentaram magnitudes de nível médio e alto (REZENDE et al., 2017; 2019). Por outro lado, as estimativas de herdabilidade no sentido amplo para resistência à nematoides podem obter magnitudes mais elevadas. No estudo de acessos etíopes de café arábica conduzido em condições controladas, Fatobene et al. (2017) obtiveram valores de 0,59 e 0,47 para as estimativas de herdabilidade individual, respectivamente para as variáveis de número de ovos somados à J2 e de FR. Nesse mesmo estudo, as estimativas de herdabilidade no sentido amplo para o nível de média de progênies alcançaram valores acima de 0,90 para as duas variáveis citadas, caracterizados como alta magnitude segundo Resende (2002). Valores de alta magnitude para herdabilidade no sentido amplo também foram verificados no estudo de Rezende et al. (2015) em cafeeiros plantados em área infestadas por *M. exigua* avaliados para o NGR.

As magnitudes mais elevadas nas estimativas de herdabilidade no sentido amplo são obtidas por considerar a variância genotípica total, compostas pelas variâncias aditiva, de dominância e epistática (FEHR, 1991; BORÉM; MIRANDA, 2013). Contudo, os resultados obtidos pela estimativa da variância genética aditiva são mais relevantes para possibilitar a compreensão da proporção genética que será transmitida para a próxima geração (FEHR, 1991; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Isso ocorre pois somente os efeitos aditivos dos alelos serão transmitidos à descendência via reprodução sexuada para serem manifestados em F_∞ (RESENDE, 2002). Desse modo, as estimativas de herdabilidade no sentido restrito possuem maior utilidade para o desenvolvimento de linhagens puras obtidas

através de subseqüentes autofecundações em genótipos selecionados no melhoramento de cafeeiros. Além disso, em espécies de propagação sexuada, a herdabilidade no sentido restrito é particularmente importante para prever os ganhos genéticos (FEHR, 1991).

Os resultados do BLUP possibilitaram verificar a porcentagem de ganhos com a seleção ($GS_{\hat{a}(\%)}$), baseada no efeito aditivo (\hat{a}) para cada genótipo testado (Tabela 3). Entretanto, foi possível observar que a progênie com efeito aditivo numericamente maior para uma das variáveis, não foi ordenada na mesma posição para a outra. Por esse motivo, a ordenação dos genótipos baseada no somatório da porcentagem do ganho ($\Sigma_{GS(\%)}$), permitiu verificar de maneira mais eficiente os ganhos proporcionados com a seleção para as duas variáveis. Dessa forma, para obter ganhos superiores a 5% com a seleção dos genótipos ($GS_{Total(\%)}$), foi necessário aplicar 15,56% de intensidade de seleção ($IS(\%)$) na população em estudo, selecionando sete das 45 progênies.

Tabela 3. Efeito aditivo (\hat{a}), porcentagem de ganho do efeito aditivo com relação à média geral ($GS_{\hat{a}(\%)}$) para as variáveis de fator de reprodução (FR) e número de nematoides por grama de raiz (NGR), ordenados pelo somatório dos ganhos com a seleção para as duas variáveis ($\Sigma_{GS(\%)}$) visando verificar o ganho total com a seleção ($GS_{Total(\%)}$) de acordo com a intensidade de seleção ($IS(\%)$) aplicada.

Genótipos	FR		NGR		$\Sigma_{GS(\%)}$	$IS(\%)$	$GS_{Total(\%)}$
	\hat{A}	$GS_{\hat{a}(\%)}$	\hat{a}	$GS_{\hat{a}(\%)}$			
23	- 1,18	2,52	77,63	2,66	5,18	2,22	5,18
41	1,14	2,43	79,77	2,74	5,16	4,44	5,17
27	1,15	2,45	78,24	2,68	5,13	6,67	5,16
35	1,12	2,39	75,92	2,60	5,00	8,89	5,12
24	1,09	2,33	74,25	2,55	4,87	11,11	5,07
34	1,09	2,33	74,06	2,54	4,87	13,33	5,04
39	1,10	2,33	73,27	2,51	4,85	15,56	5,01
13	1,04	2,21	75,15	2,58	4,79	17,78	4,98
14	1,06	2,27	71,96	2,47	4,74	20,00	4,95

36	1,05	2,23	72,54	2,49	4,72	22,22	4,93
10	1,09	2,31	70,12	2,40	4,72	24,44	4,91
30	1,05	2,24	71,98	2,47	4,70	26,67	4,89
26	1,01	2,15	73,44	2,52	4,67	28,89	4,88
32	0,97	2,08	73,22	2,51	4,59	31,11	4,86
43	1,05	2,23	67,76	2,32	4,55	33,33	4,84
33	1,01	2,15	69,43	2,38	4,53	35,56	4,82
16	1,02	2,17	67,90	2,33	4,50	37,78	4,80
45	1,11	2,37	61,70	2,12	4,48	40,00	4,78
44	0,98	2,09	68,24	2,34	4,43	42,22	4,76
17	0,97	2,06	66,66	2,29	4,34	44,44	4,74
28	0,96	2,06	66,56	2,28	4,34	46,67	4,72
20	0,95	2,03	66,40	2,28	4,31	48,89	4,70
3	1,01	2,15	62,36	2,14	4,28	51,11	4,68
7	1,00	2,13	60,43	2,07	4,20	53,33	4,66
21	0,93	1,99	63,39	2,17	4,16	55,56	4,64
2	0,90	1,91	63,42	2,17	4,09	57,78	4,62
37	0,93	1,98	60,67	2,08	4,06	60,00	4,60
5	0,89	1,89	62,61	2,15	4,04	62,22	4,58
15	0,83	1,77	61,14	2,10	3,87	64,44	4,56
22	0,79	1,68	63,66	2,18	3,86	66,67	4,53
31	0,87	1,84	54,75	1,88	3,72	68,89	4,51
18	0,82	1,75	56,77	1,95	3,70	71,11	4,48
25	0,75	1,60	57,90	1,99	3,58	73,33	4,46
9	0,78	1,66	51,16	1,75	3,42	75,56	4,43
8	0,74	1,58	50,41	1,73	3,31	77,78	4,39
40	0,63	1,34	50,67	1,74	3,08	80,00	4,36

42	0,66	1,40	46,81	1,61	3,00	82,22	4,32
19	0,53	1,14	36,67	1,26	2,40	84,44	4,27
29	0,27	0,57	35,45	1,22	1,78	86,67	4,21
4	0,51	1,09	-4,33	-0,15	0,94	88,89	4,12
1	0,01	0,02	11,25	0,39	0,41	91,11	4,03
12	-0,30	-0,64	-40,49	-1,39	-2,03	93,33	3,89
6	-1,48	-3,16	-125,95	-4,32	-7,48	95,56	3,62
11	-13,59	-28,97	-913,33	-31,32	-60,28	97,78	2,17
38	-21,65	-46,15	-1441,63	-49,43	-95,58	100,00	000

Ao considerar a média fenotípica apresentada pelas sete progênes selecionadas, foi possível verificar valores inferiores a 1,0 para FR, semelhantemente a média fenotípica observada para testemunha resistente IPR 100 (Tabela 4). Por outro lado, ao considerar as 45 progênes em F₇ e a testemunha suscetível, Catuaí Vermelho IAC 99, os valores obtidos pelas médias fenotípicas apresentaram valores superiores a 1,0 para ambas. Desse modo, é possível aferir que os tratamentos selecionados possuem resistência semelhante a IPR 100, visto que as médias fenotípicas abaixo de 1,0 para o FR podem caracterizar os genótipos como resistentes, segundo Oostenbrink (1966).

Tabela 4. Médias fenotípicas para as variáveis FR e NGR entre os genótipos em estudo.

Progênes selecionadas	Médias Fenotípicas	
	FR	N GR
23	0,21	15,83
41	0,28	12,54
27	0,35	20,15
35	0,31	18,45
24	0,25	14,38
34	0,30	18,25
39	0,18	11,79
$\mu_s^{(1)}$	0,27	15,91

$\mu_{TR}^{(2)}$	0,11	6,38
$\mu_{TS}^{(3)}$	138,58	8607,24
$\mu_{PF7}^{(4)}$	2,16	141,34

(1) (1) Média das sete progênies selecionadas;

(2) (2) Média da testemunha resistente (IPR 100);

(3) (3) Média da testemunha suscetível (Catuaí vermelho IAC 99);

(4) (4) Média das 45 progênies em F7.

No nosso estudo, a fonte de resistência à *M. paranaensis* foi o Icatu IAC 925, visto que esse genótipo se constitui como uma importante fonte de resistência advinda do grupo Icatu (GONÇALVES; SILVAROLLA, 2007; SHIGUEOKA et al., 2016a). Esse mesmo parental foi responsável por conferir a resistência da cultivar IPR 106 à essa espécie de nematoide (SERA et al., 2020b). Até o momento, apenas IPR 100 e IPR 106 apresentam alta resistência à *M. paranaensis* entre as cultivares brasileiras, embora sejam suscetíveis à ferrugem alaranjada (SERA et al., 2017b; 2020a).

Contudo, além da resistência semelhante às cultivares citadas, as progênies selecionadas no presente estudo ainda possuem resistência à ferrugem alaranjada, em razão da genética oriunda do genitor Sarchimor IAC 1669-33. Esse genótipo foi responsável por transferir a resistência qualitativa à ferrugem alaranjada em diversas cultivares desenvolvidas desde a década de 1970 no Brasil (FAZUOLI, et al., 2002). Assim, as progênies selecionadas possuem grande potencial de se tornarem novas cultivares com alta resistência simultânea à *M. paranaensis* e à ferrugem alaranjada. Portanto, é interessante que avaliações futuras sejam realizadas em experimentos de campo para verificar se as progênies F₇ possuem alta produtividade, qualidade de bebida, ciclos de maturação mais precoces do que IPR 100 e IPR 106, além de confirmar a resistência à ferrugem alaranjada relatada anteriormente.

4.6 Conclusões

As estimativas da herdabilidade individual no sentido restrito e da herdabilidade restrita para média de progênies foram de magnitudes baixa e média, respectivamente, para ambas as variáveis avaliadas.

Por meio da metodologia REML/BLUP, foi possível identificar maiores ganhos genéticos para resistência à *Meloidogyne paranaensis* com as sete progênies F₇ selecionadas.

5 CONCLUSÕES GERAIS

A utilização dos procedimentos REML/BLUP, através da aplicação da metodologia de modelo misto, permitiu identificar genótipos de cafeeiros resistentes em ambos os experimentos. Os maiores níveis de resistência para *C. coffeicola* quanto para *M. paranaensis* foram identificados a partir dos maiores efeitos genéticos constatados pelo BLUP em função da menor severidade evidenciada.

Com relação aos genótipos avaliados para resistência à MOP, os valores de acurácia seletiva e das herdabilidades foram maiores quando a severidade do patógeno foi avaliada pela área lesionada, a partir da utilização de uma escala diagramática, do que pela contagem do número de lesões presentes nas folhas. Consequentemente, para essa última variável foi determinado que a realização de um maior número de avaliações é necessária para que os parâmetros possam atingir maiores magnitudes.

Para a resistência ao nematoide da espécie *M. paranaensis*, foram verificadas estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito com baixa magnitude para ambas as variáveis avaliadas. Entretanto, foi possível alcançar magnitude em nível médio para as duas variáveis, ao estimar os valores de herdabilidade restrita para média de progênies.

Assim, a realização dos estudos possibilitou identificar resistência à MOP através da cultivar IPR 106, seguida pelo genótipo Piatã IAC 387. IPR 103 e IPR 99 foram mais resistentes que outras cultivares, no entanto, foram mais suscetíveis do que IPR 106 e Piatã IAC 387. Além disso, entre as progênies em geração F₇ consideradas no segundo estudo, foi possível identificar maiores ganhos genéticos para resistência à *M. paranaensis* a partir da seleção de sete progênies que serão selecionadas para o avanço de geração.

REFERÊNCIAS

- ANDREAZI, E.; SERA, G.H.; FARIA, R.T.; SERA, T.; FONSECA, I.C.B.; MACHADO, A.C.Z.; SHIGUEOKA, L.H.; CARVALHO, F.G.; CARDUCCI, F.C. Behavior of 'IPR 100' and 'Apoata IAC 2258' coffee cultivars under different infestation levels of 'Meloidogyne paranaensis' inoculum [online]. **Australian Journal of Crop Science**, Vol. 9, No. 11, Nov 2015: 1069-1074
- ANTHONY F.; COMBES, M. C.; ASTORGA, C.; BERTRAND, B.; GRAZIOSI, G.; LASHERMES P. The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlim, v. 104, p. 894–900, 2001.
- ANTHONY, F.; TOPART, P.; ASTORGA, C.; ANZUETO, F.; BERTRAND, B. La resistencia genética de *Coffea* spp. a *Meloidogyne paranaensis*: identificación y utilización para la caficultura latinoamericana. **Manejo integrado de Playas y Agroecología**, Costa Rica n.67, p. 5-12. 2003.
- ARAÚJO NETTO, K.; MIGUEL, A.E.; FERREIRA, A.J. Comportamento de progênies de Catimor, Icatu, Catuaí e Mundo Novo e outras em relação à cercosporiose. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**, 6., 1978. Ribeirão Preto. Resumos... Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1978. p.278-279.
- ARITA, L. Y.; SILVA, S. A.; MACHADO, A. C. Z. Efficacy of chemical and biological nematicides in the management of *Meloidogyne paranaensis* in *Coffea arabica*. **CROP PROTECTION**, p. 131, 2020.
- BARROS, A. F.; OLIVEIRA, R. D. L.; ZAMBOLIN, L.; FERREIRA, A. O.; COUTINHO, R. R. *Meloidogyne paranaensis* attacking coffee trees in Espírito Santo State, Brazil. **Australasian Plant Disease**, [S.I] v. 6, p. 43-45, Maio 2011.
- BERTRAND, B.; ANTHONY, F.; LASHERMES. P.; Breeding for resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arábica* by introgression of resistance genes of *Coffea canephora*. **Plant Pathology**50: 637-643. 2001
- BETTENCOURT, A. J.; FAZUOLI, L. C. MELHORAMENTO GENÉTICO DE COFFEA ARABICA L.: Transferência de genes de resistência a *Hemileia vastatrix* do Híbrido de Timor para a cultivar Villa Sarchí de *Coffea arábica*. **Instituto Agronômico**, 2008. 20p. (Documentos IAC, 84)
- BETTENCOURT, A. J.; RODRIGUES JUNIOR, C. J. Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds.). **Coffee**. London: Elsevier Applied Science, v. 4, 1988, p. 199-234.
- BOISSEAU, M.; ARIBI, J.; SOUSA, F. R. de, CARNEIRO, R. M. D. G.; ANTHONY, F. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 38-41, 2009.
- BONETTI, J. I.; FERRAZ, S. Modificações do método de Hussey e Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**. V.6, n.3, p. 553, 1981

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6ª Edição, Viçosa: Ed. UFV, 2013. 523 p.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Melhoramento visando à resistência a doenças. In: BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. (eds.). **Melhoramento de plantas**. 7 ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2017. p. 394-418.

BOTELHO, D. M. S.; POZZA, E. A.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J. G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes de doses de Silício. **Fitopatologia Brasileira** v.30 n.6. p.582-588. 2005.

BOTELHO, D. M. S.; RESENDE, M. L. V.; ANDRADE, V. T.; PEREIRA, A. A.; PATRÍCIO, F. R. A.; JUNIOR, P. M. R.; OGOSHI, C.; RESENDE, J. C. Cercosporiosis resistance in coffee germplasm collection. **Euphytica**. 213:117. 2017.

CAMARGO, L. E. A. Controle genético. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia**: volume 1. Ouro Fino, Agronômica Ceres Ltda., 2018, p. 229-238.

CAMARGO, R. de; TELLES JUNIOR, A.Q. **O café no Brasil sua aclimação e industrialização**. Rio de Janeiro: Serviço de informação Agrícola do Ministério da Agricultura, 1953. 535 p.

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**, Piracicaba, v. 11, p. 233-241. Abr. 1987.

CARNEIRO, R. M. D. G., ALMEIDA, M.R. A.; QUÉNÉHERVÉ, P. Enzyme phenotypes of *Meloidogyne* spp. populations. **Nematology**. 2000.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Distribution of *Meloidogyne* spp. on Coffee in Brazil: identification, characterization and intraspecific variability. In: **Mejoramiento sostenible del café arabica por los recursos genéticos, asistido por los marcadores moleculares, com énfasis en la resistencia a los nemátodos**. Publicación Especial. CATIE / IRD, Turrialba. p. 43-48. 2000.

CARNEIRO, R. M. D. G.; RANDIG, O.; ALMEIDA, M. R. A.; GONÇALVES, W. 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**, Piracicaba, v. 29, n. 2, p. 233-241. Out. 2005.

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

CARVALHO, A. Melhoramento do cafeeiro VI – Estudo e interpretação, para fins de seleção de produção individuais na variedade Bourbon. **Bragantia**, Campinas, v.12, n.4/6, p. 179-200, 1952.

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

CARVALHO, A. M.; CARDOSO, D. A.; CARVALHO, G. R.; CARVALHO, V. L.; PEREIRA, A. A.; FERREIRA, A. D.; CARNEIRO, L. F. Comportamento de cultivares de cafeeiro sob a incidência das doenças da ferrugem e cercosporiose em dois ambientes de cultivo. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 100-107. 2017

CARVALHO, A. M.; MENDES, A. N. G.; BOTELHO, C. E.; OLIVEIRA, A. C. B. Desempenho agrônomo de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.71, p. 481-487, 2012.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L.C. Café. In: FURLANI, A.M.C.; VIEGAS, G.P.O. **Melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 29-76.

CARVALHO, A.M. de; PEREIRA, A.A.; CARVALHO, G.R.; MENDES, A.N.G.; BOTELHO, C.E. Avaliação de progênies de cafeeiros obtidas do cruzamento entre ‘Catuai’ e ‘Híbrido de Timor’. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 249-253, 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, n. 5, p. 565. Out. 2003.

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

CASTRO, J. M. C.; CAMPOS, V. P.; POZZA, E. A.; NAVES, R. L.; ANDRADE JÚNIOR, W. C.; DUTRA, M. R.; COIMBRA, J. L.; MAXIMINIANO, C.; SILVA, J. R. C. Levantamento de fitonematoides em cafezais do Sul de Minas Gerais. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, n. 1, p. 56-64. Mar. 2008.

CECAFE - Conselho dos exportadores de café do Brasil, 2021: Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/dados-estatisticos/exportacoes-brasileiras/> acessado em 16 de Junho, 2021.

CHALFOUN, S. M.; REIS, P. R. História da cafeicultura no Brasil. In: REIS, P.R.; CUNHA, R.L. da. **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG SM, v.1. cap. 1, p. 23-85. 2010.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. In: CLIFFORD, M. N.; WILSON, K.C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans beverage**. Westpost: AVI, p. 13-47, 1985.

CHAVES, E.; POZZA, E. A.; NETO, H. S.; VASCO, G. B.; DORNELAS, G. A.; POZZA, A. A. A.; SCOLCO, M.S. Temporal analysis of brown eye spot of coffee and its response to the interaction of irrigation with phosphorous levels. **Journal of phytopathology**. P.613-622. 2018

CLARINDO, W. R.; CARVALHO, C.R. Comparison of the *Coffea canephora* and *C. arabica* karyotype based on chromosomal DNA conten. **Plant Cell Reports**, Berlin, v.28, p. 73-81, 2009.

CONAB: Convênio Ministério da Agricultura – Secretaria da Produção e Comercialização. Acompanhamento da safra brasileira - café, v. 5– Safra 2021, n. 2 - **Segundo levantamento**,

Brasília, p. 1-61, maio de 2021 - Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>

CONCEIÇÃO, J. C.P. R.; ELLERY JUNIOR, R. G.; CONCEIÇÃO, P. H. Z. Cadeia agroindustrial do café no Brasil: uma análise do período recente. **RADAR**. Acessado em 21 de Agosto de 2019.

CORTE, G. D.; FARIA, D. S., BENETTI, E., BRITES, M., VIEIRA, H. **Eficiência do novo nematocida Fluensulfone 480 EC (NimitzTM) no controle de Meloidogyne exigua em Coffea arabica** L. Disponível em: <
<http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7656/Eficiencia%20do%20novo%20nematicida%20Fluensulfone%20480%20EC%20-NIMITZTM-%20no%20controle%20de%20Meloidogyneexigua%20em%20C.%20arabica.pdf?sequence=1>> . Acesso em: 12 maio. 2021

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**: Volume 1. 4ª Edição, Viçosa: Ed. UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**: volume 2. 3ª Edição, Viçosa: Ed. UFV, 2014. 668 p.

DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D.C. Impact of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. São Paulo, v. 18, p. 55-81, 2006.

DAUB, M. E.; HERRERO, S.; CHUNG, K. R. Photo activated perylene quinone toxins in fungal pathogenesis of plants. **FEMS Microbiology Letters**, 252, 197–206. . (2005).

DAVIS, A. P.; BRIDSON, D. M.; RAKOTONASOLO, F. A reexamination of *Coffea* subgenus Baracoffea and comments on the morphology and classification of *Coffea* and *Psilanthus* (Rubiaceae-Coffeae). In: KEATING, R.C.; HOLLOWELL, V.C.; CROAT, T. (Ed.). **Festschrift for William G. D'Arcy: the legacy of a taxonomist**. Missouri: MBG Press, 2005. p. 398-420. (Monograph in Systematic Botany 104).

DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 152, n. 4, p. 465-512, 2006.

DAVIS, A. P.; TOSH, J.; RUCH, N.; FAY, M. F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 167, n. 4, p. 357-377. 2011.

De CARVALHO, V. L; CHALFOUN, S. M.; Da CUNHA, R. L. Manejo de doenças do cafeeiro. In: REIS, P. R.; Da CUNHA, R. L. (Eds.) **Café arábica do plantio à colheita**. Lavras, MG: EPAMIG, 2010. p. 689-756.

DE OLIVEIRA, A. C. B.; SAKIYAMA, N. S.; CAIXETA, E. T.; ZAMBOLIM, E. M.; RUFINO, R. J. N.; ZAMBOLIM, L. Partial map of *Coffea arabica* L. and recovery of the recurrent parent in backcross progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 7, p. 196-203, 2007.

DELL' ACQUA R.; MANTOVANI, E. S.; BRAGHINI, M. T.; OLIVEIRA, C. M.G.; HARAKAVA, R.; ROBAINA, A. S.; PETEK, M .R.; FLÁVIA PATRICIO, F. R. A.; Variabilidade in vitro, in vivo e molecular de isolados de . **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 313-326, 2011.

DHINGRA, O.D.; SINCLAIR J.B. Basic plant pathology methods. Second edition. **CRC Lewis Publishers**: Boca Raton, 1995. 434p.

Do VALE; F. X. R.; PARLEVLIE, J. E.; ZAMBOLIM, L. Concepts in plant disease resistance. **Fitopatologia Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 577-589, 2001.

DUARTE, J. B. Biometria em genética e melhoramento de plantas: tendências e inquietações. *In*: XIV SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS: a genética quantitativa e de populações no Brasil, 14, 2010, Lavras. **Anais [...]**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010. p. 47-60.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. Estimação e predição por modelo linear misto com ênfase na ordenação de médias de tratamentos genéticos. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 109-117, 2001.

DUCHATEAU, L.; JANSSEN, P. An example-based in linear mixed models. *In*: VERBEKE, G.; MOLENBERGHS, G. (Eds.). **Linear mixed models in practice: a SAS-oriented approach**. New York: Springer-Verlag, 1997, p. 11-61.

ECHANDI E. A chasparria dos copos Por que ohongo Cercospora coffeicola Berk. e Cooke. **Turrialba**, Costa Rica, v. 9, n.2, p. 54-67, 1959.

ESKES, A. B.; HOOGSTRATEN, J. G. J.; TOMA-BRAGHINI, M.; CARVALHO, A. Race-specificity and inheritance of incomplete resistance coffee leaf rust in some Icatu coffee progenies and derivatives of Híbrido de Timor. **Euphytica**, Wageningen, v. 47, n. 1, p. 11-19, 1990.

ESKES, A. B.; TOMA-BRAGHINI, M. Assessment methods for resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. e Br.). **Plant Prot. Bulletin FAO**, v. 29, p. 56-66, 1981.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th Edition, London: Longman Green, 1996. 464 p.

FATOBENE, B. J. R.; ANDRADE, V. T.; ALOISE, G. S.; SILVAROLLA, M. B.; GONÇALVES, W.; GUERREIROFILHO, O. Wild Coffea arábica resistantto Meloidogyne paranaensis and genetic parameters for resistance. **Euphytica**. 213:196. 2017.

FAZUOLI, L. C. et al. Cultivares de Café arábica de porte baixo. *IN*: CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, p. 227-254, 2008.

FAZUOLI, L. C.; SILVAROLLA, M. B.; SALVA, T. J. G.; GUERREIRO FILHO, O.; MEDINA FILHO, H. P.; GONÇALVES, W. Cultivares de café arábica do IAC: Um patrimônio da cafeicultura brasileira. **O Agrônomo** 59: 12-15. (2007).

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: Macmillan Publishing Company, 1991. 536 p.

FERNANDES, A.T.F.; VALE, F.X.R.; PELOSO, M.C.; ZAMBOLIM, L.; MAFFIA, L.A.; PEREIRA, A.A.; CHAVES, G.M.; CRUZ FILHO, J. Resistência de progênies de Catimor a diferentes isolados de *Cercospora coffeicola* Berk. e Look. **Fitopatologia Brasileira**, v. 15, p.45-49, 1990.

FERRÃO, R. G.; CRUZ, C. D., FERREIRA, A.; CECON, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; CARNEIRO, P. C. S.; SILVA, M. F. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 61-69, 2008.

FERREIRA, F. M.; ROCHA, J. R. A. S. C.; ALVES, R. S.; ELIZEU, A. M.; BENITES, F. R. G.; RESENDE, M. D. V.; SOUZA SOBRINHO, F.; BHERING, L. L. Estimates of repeatability coefficients and optimum number of measures for genetics election of *Cynodon* spp. **Euphytica**, v. 216, v. 70, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02605-x>. Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-020-02605-x>. Acesso em 19 jan. de 2021.

FERREIRA, Paula Santos. **Plantas de cobertura no controle de *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica***. 2018. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.777>. Acessado em 25 maio 2021

FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; VOLPI, P. S.; VERDIN FILHO, A. C.; FAZUOLI, L. C. **Cultivares de café robusta**. In: CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). *Cultivares de café: origem, características e recomendações*. Brasília, DF : Embrapa Café, 2008.

GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; SOUZA, P.E.; CARVALHO, J.G.; BALIEIRO, A.C. Incidência e severidade da cercosporiose-do-cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, p.286291, 2003

GODOY, C. V.; BERGAMIN FILHO, A.; SALGADO, C. L. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). IN: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN-FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. (eds.). **Manual de fitopatologia**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, v. 2, p. 184-200, 1997.

GÖLDI, E.M. 1887. **Relatório sobre a moléstia do cafeeiro na província do Rio de Janeiro**. **Arquivos do Museu Nacional**, v. 8: 7-123. Disponível em: <<http://www.museunacional.ufrj.br/obrasraras/o/0043/7-123.pdf>> Acesso em: 05 maio 2021.

GONÇALVES, W.; PEREIRA, A. A. Resistência do cafeeiro a nematóides IV – Reação de cafeeiros derivados do Híbrido de Timor a *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**22: 39-50. 1998

GONÇALVES, W.; RAMIRO, D. A.; GALLO, P. B.; GIOMO, G. S. Manejo de nematoides na cultura do cafeeiro. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO – CAFÉ, 10., 2004, Mococa. **Anais**. São Paulo: Instituto Biológico, 2004, p. 48-66.

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

HARTMAN, R. M. e SASSER, J. N. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal pattern morphology. In: Barker, K.R., Carter, C.C.; Sasser, J.N. (Eds). **An advanced treatise on Meloidogyne**. Vol. 2. Methodology. Raleigh, NC, USA, North Carolina State University Graphics, p. 69-77. 1985.

HENDERSON, C. R. Sire evaluation and genetic trends. **Journal of Animal Science**, v. 1973, p. 10-41, 1973.

HENDERSON, C. R.; QUAAS, R. L. Multiple trait evaluation using relatives records. **Journal of Animal Science**, v. 43, n. 6, p. 1188-1197. 1976.

HENDERSON, C. R. **Applications of linear models in animal breeding**. Guelph: University of Guelph, 1984. 462 p.

ICO – International Coffee Organization. **Trade statisticstables**. London: ICO, 2021. Disponível em: http://www.ico.org/trade_statistics.asp

INOMOTO, M. M.; OLIVEIRA, C. M. G. Coffee associated *Pratylenchus* spp.–ecology and interactions with plants. In: SOUZA, R. M., Plant-parasitic nematodes of coffee. ed. Springer Science + Business Media B.V. 2008. p. 51-64.

ITO, D.S.; SERA, G.H.; SERA, T.; SANTIAGO, D.C.; KANAYAMA, F.S.; DEL GROSSI, L.; Progênieis de café com resistência aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e raça 2 de *Meloidogyne incognita*. *Coffea Science* 3: 156-163. 2008.

ITO, D. S.; MACHADO, A. C. Z.; SILVA, S. A.; DORIGO, O. F.; GARDIANO, C. G.; MATTEI, D. **Levantamento parcial de espécies de Meloidogyne em cafeeiros na Região do arenito (noroeste) do estado do Paraná**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. Anais...Brasília, DF: Embrapa Café: 2013. p. 1-4. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio8/248.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2021.

KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia**. 4. ed. v. 2. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005

KRZYZANOWSKI, A. A.; BOLOTA, E. L.; MARIANOWSKI, T.; SILVA, S. A.; DORIGO, O. F.; GARDIANO, C. G. Potencial de controle biológico de *Meloidogyne paranaensis* utilizando fungos nematófagos e fungos micorrízicos em plantas de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2011. p. 1-4. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio7/10.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2021

KRZYZANOWSKI, A.A.; FIGUEREDO, R.; SANTIAGO, D.C.; FAVORETO, L. **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.

- LIMA, L. M. de; POZZA, E. A.; SANTOS, F. da S. Relationship between incidence of brown eye spot of coffee cherries and the chemical composition of coffee beans. **Journal of Phytopathology**, 160: 209-211, 2012.
- LIMA, R. D. de; CAMPOS, V. P.; HUANG, S. P.; MELLES, C. C. A. Reprodutividade e parasitismo de *Meloidogyne exigua* em ervas daninhas que ocorrem em cafezais. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 9, p. 63-72. Out. 1985.
- LORDELLO, L. G. E.; HASHIZUME, H. Suscetibilidade da variedade Konillou de *C. canephora* a um nematoide. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 46, p. 157-158. Mar. 1971.
- LORDELLO, A. I. L.; LORDELLO, R. R. A. Nematoides encontrados em cafezais do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 23, 2001, Garça. **Anais...** Garça: SBN/FAEF. p. 85. 2001.
- MACHADO, A. C. Z.; SILVA, S. A.; DORIGO, O.F.; RIEDE, C. R.; GARBUGLIO, D. D. Phenotypic variability and response of Brazilian oat genotypes to different species of root-knot and root-lesion nematodes. **European Journal of Plant Pathology**, v. 141, n. 1, p. 111-117, 2015.
- MARIGUELE, K. H.; RESENDE, M. D. V.; VIANA, J. M. S.; SILVA, F. F.; SILVA, P. S. L.; KNOP, F. C. Métodos de análise de dados longitudinais para o melhoramento genético da pinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1657-1664, 2011.
- MARIUCCI JUNIOR, V. Estimativas de parâmetros genéticos e número ótimo de medidas para a seleção de progênies f4 de café arábica via reml/blup. Dissertação. **Univesidade Estadual de Londrina**. Londrina, 2021.
- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**. Ed. 2015. Varginha, MG. Futurama Editora, 2016.
- MAURIN, O.; DAVIS, A. P.; CHESTER, M.; MVUNG, E.F.; JAUFEEERALLY-FAKIM, Y.; FAY, M.F. Towards a phylogeny for *Coffea* (Rubiaceae): Identifying well-supported lineages based on nuclear and plastid DNA sequences. **Annals of Botany**, Londres, v. 100, n. 7, p.1565-1583, 2007.
- MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. de. Desenvolvimento de novas cultivares de café arábica. In: CARVALHO, C. H. S. de. (Ed.). **Cultivares de café: origem características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. v. 1, p. 79-101.
- MISTRO, J. C.; FAZUOLI, L. C.; GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B.; TOMA-BRAGHINI, M. Determination of the number of years in Arabica Coffee progenies selection through repeatability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 79-84, 2008.
- MONACO, L. C. Melhoramento do cafeeiro: XVII - Seleção do café maragogipe A. **D.Bragantia**, Campinas, v. 19, n. unico, p. 458-492, 1960.
- MÔNACO, L. C.; CARVALHO, A.; ANTUNES FILHO, H. Cruzamento natural dentro de "cova" do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.22 p. 11-15. 1963

MUNIZ, M. F. S.; CAMPOS, V. P.; MOITA, A. W.; GONÇALVES, W.; ALMEIDA, M. R. A.; SOUSA, F. R.; 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**, Fortaleza, v. 34, n. 6, p. 370-378, 2009.

NELSON, R. R. Genetics of horizontal resistance to plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, v. 16, p. 359-378, 1978

NIELSEN, H. B.; ALMEIDA, M.; JUNCKER, A. S.; RASMUSSEN, S.; LI, J.; SUNAGAWA, S.; PLICHTA, D. R.; GAUTIER, L.; PEDERSEN, A. G.; Le CHATELIER, E.; PELLETIER, E.; BONDE, I.; NIELSEN, T.; MANICHANH, C.; ARUMUGAM, M.; BATTO, J. M.; Dos SANTOS, M. B. Q.; BLOM, N.; BORRUEL, N.; BURGDORF, K. S.; BOUMEZBEUR, F.; CASELLAS, F.; DORÉ, J.; DWORZYNSKI, P.; GUARNER, F.; HANSEN, T.; HILDEBRAND, F.; KAAS, R. S.; KENNEDY, S.; KRISTIANSEN, K.; KULTIMA, J. R.; LÉONARD, P.; LEVENEZ, F.; LUND, O.; MOUMEN, B.; Le PASLIER, D.; PONS, N.; PEDERSEN, O.; PRIFTI, E.; QIN, J.; RAES, J.; SØRENSEN, S.; TAP, J.; TIMS, S.; USSERY, D. W.; YAMADA, T.; RENAULT, P.; SICHERITZ-PONTEN, T.; BORK, P.; WANG, J. 25, BRUNAK, S.; EHRLICH, S. D. Identification and assembly of genomes and genetic elements in complex metagenomic samples without using reference genomes. **Nature Biotechnology**, v. 32, n. 8, p. 822–828, 2014.

OLIVEIRA, C.A.; POZZA, E. A.; OLIVEIRA, V.B.; SANTOS, R. C.; CHAVES, Z. M. Escala diagramatica para avaliação de severidade de cercosporiose em folhas de cafeeiro. **II simposio de pesquisa dos cafés do Brasil** p. 1151-1157. 2001

OLIVEIRA, A. C. B.; PEREIRA, A. A.; SILVA, F. L.; REZENDE, J. C.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, G. R. Prediction of genetic gains from selection of Arabica coffee progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, p. 106-113, 2011.

OOSTENBRINK, M. Major characteristics of the relation between nematode and plants. **Meded. Landbouwhogeschool**, v. 66, p. 3-46, 1966.

PAIVA, R.N.; CARVALHO, C.H.S.; MENDES, A.N.G.; ALMEIDA, S.R.; MATIELLO, J.B.; FERREIRA, R.A. Comportamento agrônômico de progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Varginha-MG. **Coffee Science**, Lavras, v.5, p. 49-58, 2010.

PATRICIO, F. R. A.; BRAGHINI, M.T. Efeito de fungicidas triazóis sobre o controle da cercosporiose em mudas de cafeeiro. **Arq.Inst. Biol.** São Paulo, v78, n.2, p.241-249, 2011

PATRÍCIO, F.R.A.; ALMEIDA, I.M.G.; BARROS, B.C.; SANTOS, A.S.; FRARE, P.M. PAULA, P. V. A. A.; POZZA, E. A.; ALVES, E.; MOREIRA, S. I.; PAULA, J. C. A.; SANTOS, L. A. infection process of *cercospora coffeicola* in im mature coffee fruits. **Coffee Science**, Lavras, v.14, n.1, p. 127-130, 2019

PATRÍCIO, F.R.A.; BERIAM, L.O.S.; ROSSI, A.; MORAES, A.; ALMEIDA, I.M.G. Controle químico da mancha aureolada em uma região montanhosa. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 35, supl., p. S119, 2010.

PATRÍCIO, F.R.A.; BERIAM, L.O.S.; ROSSI, A.; MORAES, A.; ALMEIDA, I.M.G. Controle químico da mancha aureolada em uma região montanhosa. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 35, supl., p. S119, 2010.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v. 58, n. 3, p. 545-554, 1971.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v. 58, n. 3, p. 545-554, 1971.

PEREIRA, A. A. Cultivares: origem e suas características. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da. (Eds.). **Café arábica do plantio à colheita**. Lavras: U. R. EPAMIG SM, v. 1. 2010. p. 167-221.

PAULA, P. V. A. A.; POZZA, E. A.; ALVES, E.; MOREIRA, S. I.; PAULA, J. C. A.; SANTOS, L. A. infection process of cercospora coffeicola in immature coffee fruits. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 127 - 130. 2019

PEREIRA, A. A. Cultivares: origem e suas características. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p.161-201.

PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, A. C. B.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, G. R.; REZENDE, J.C. Cultivares de café Arábica desenvolvidas pela EPAMIG e instituições parceiras. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 34, p. 44-53, 2013.

PEREIRA, A.A.; BAIÃO, A.C. Cultivares. In: SAKIYAMA. Ney et al. **Café arábica do plantio à colheita**. Viçosa: FUNEP, 2015. p. 24-45.

PEREIRA, T. B.; CARVALHO, J. P. F.; BOTELHO, C. E.; RESENDE, M. D. V.; REZENDE, J. C.; MENDES, A. N. G. M. Eficiência da seleção de progênies de café F₄ pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p. 230-236, 2013b.

PERES, A. C. J.; SALGADO, S. M. L.; CORREA, V. R.; SANTOS, M.F.A.; MATTOS, V. S.; MONTEIRO, J. M. S.; CARNEIRO, R. M. D. G. Resistance of Coffea arabica genotypes against Meloidogyne paranaensis and M. incognita under controlled and field conditions. **NEMATOTOLOGY**, v. 19, p. 617-626, 2017.

PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B. Predição de valores genéticos aditivos na seleção visando obter cultivares de café mais resistentes à ferrugem. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 133-140, 2008.

PINTO-MAGLIO, C.A.F.; CRUZ, N.D. Pachytene chromosome morphology in *Coffea* L. I. Nucleolar chromosomes. **Caryologia**, Firenze, Italia, v. 40, n.1-2, p.7-23, 1987.

PIRAÍ. **Adubação verde na cultura do cafeeiro (café / orgânico)**. Disponível em: <http://www.pirai.com.br/texto-a52-cafe.html>. Acesso em: 10 de maio. 2021.

POZZA, A.A.A. Influência da nutrição nitrogenada e potássica na intensidade da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola* Berk. e Cook.) em mudas de cafeeiro. (Tese de Mestrado). Viçosa **Universidade Federal de Viçosa**. 1999.

POZZA, A.A.A.; AVES, E.; POZZA, E.A.; CARVALHO, J.G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.T.G.; SANTOS, D.M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.185-188, 2004

POZZA, A.A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; CAIXETA, S.L.; CARDOSO, A.A.; ZAMBOLIM, L.; POZZA, E.A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.53-60, 2001.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L. de; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (eds). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordem nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. p. 69-106.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L. de; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (eds). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordem nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. p. 69-106.

MARTINS, R. B.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Genetic Variability of *Cercospora coffeicola* from Organic and Conventional Coffee Plantings, Characterized by Vegetative Compatibility. **The American Phytopathological Society**. Vol. 98, No. 11, 2008 p.1205-1211-2008

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2ª Edição, Lavras: UFLA, 2005. 322 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; De SOUZA, J. C. **Genética na agropecuária**. 5ª Edição, Lavras: Ed. UFLA, 2012b. 566 p.

RAMALHO; M. A. P.; CARVALHO, B. L.; NUNES, A. R. Perspectives for the use of quantitative genetics in breeding of autogamous plants. **ISRN Genetics**, v. 2013, p. 1-6, 2012.

RESENDE, M. D. V. **Efeitos fixos ou aleatórios de repetições no contexto dos modelos mistos no melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002b. 23 p.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002a. 975 p.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 57 p.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

RESENDE, M. D. V. **Software SELEGEN-REML/BLUP: Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas,. 359 p. 2007

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V.; FERNANDES, J. S. C.; SIMEÃO, R. M. BLUP individual multivariado em presença de interação genótipo x ambiente para delineamentos experimentais repetidos em vários ambientes. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 17, p. 209 – 228, 1999.

RESENDE, M. D. V.; FURLANI JUNIOR, E.; MORAES, M. L. T.; FAZUOLI, L. C. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 185-193, 2001.

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A. **Análise genética de dados com dependência espacial e temporal no melhoramento de plantas perenes via modelos geoestatísticos e de séries temporais empregando REML/BLUP ao nível individual**. Colombo: Embrapa Florestas,. 80 p. 2001

REZENDE, R. M.; ANDRADE, V. T.; SALGADO, S. M. L.; REZENDE, J. C.; MENEZES, J. O.; CARVALHO, G. R. Genetic gain in the resistance of Arabica coffee progênies to root-knotnematode. **Crop Science**, v. 57, p. 1355-1362, 2017.

RIEDE, C. R.; GARBUGLIO, D. D.; MACHADO, A. C. Z.; POLA, J. N.; CARVALHAL, R.; ARRUDA, K. M. A. IPR AFRODITE – new oat cultivar with nematode resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, p. 278-281, 2015

RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H. S. G.; SOUZA FILHO, G. R.; CANDIDO, L. S. Adaptability and genotypic stability of *Coffea arabica* genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 3, p. 2391-2399, 2013.

RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H.; SOUZA FILHO, G. R.; CANDIDO, L. S. Adaptability and genotypic stability of *Coffea arábica* genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, **Brazil. Genet. Mol. Res.** v. 12, p. 2391-2399, 2014.

SAKIYAMA, N. S. O café arábica. In: SAKIYAMA, N. S. et al. **Café arábica do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 9-23.

SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; MOURA, W. M.; ZAMBOLIM, L. Melhoramento do café arábica. In: Borém, A. (ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 2005. p. 203-223.

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

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

SALGADO, S. M. L.; GUIMARÃES, M. R. B.; BOTELHO, C. E.; TASSONE, G. A. T.; MARCELO, A. L.; SOUZA, S. R.; OLIVEIRA, R. D. L.; FERREIRA, D. F. *Meloidogyne paranensis* e *Meloidogyne exigua* em lavouras cafeeiras na região sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 475-481, 2015.

SANTOS, J. M. dos. **Estudo das principais espécies de *Meloidogyne goeldi* que infectam o cafeeiro no Brasil com descrição de *Meloidogyne goeldii* sp. n.** 1997. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia). UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, 1997.

SANTOS, A. **Doenças do café.** Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB. Disponível em: <<http://www.uesb.br/utilitarios/modelos/monta.asp?site=fitopatologia&tex=ControleBiologico.html>> Acesso em: 20/maio 2021

SANTOS, J. M. Os nematoides de galha que infectam o cafeeiro no Brasil. In: Encontro sobre doenças e pragas do cafeeiro, 5, 2001, Ribeirão Preto. **Anais ...** Ribeirão Preto: Instituto Biológico, 2001. p. 10-20.

SANTOS, F. S.; SOUZA, P. E.; POZZA, E. A.; MIRANDA, J. C.; BARRETO, S. S.; THEODORO, V. C. Progresso da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk e Cook) em cafeeiros sob cultivos orgânico e convencional. **Summa Phytopathologica**, v. 34, p. 48-54, 2008.

SANTOS, F. S.; SOUZA, P. E.; POZZA, E. A.; MIRANDA, J. C.; CARVALHO, E. A.; FERNANDES, L. H. M.; POZZA, A. A. A. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.43, n.7, p.783-791. 2008

SANTOS, M. S. M.; MADALENA, J. A.; SOARES, L.; FERREIRA, P. V.; BARBOSA, G. V. S. Repetibilidade de características agroindustriais em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 301-306, 2004.

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

SERA, G. H.; SERA, T. ; FAZUOLI, L. C. . IPR 102 – Dwarf Arabica coffee cultivar with resistance to bacterial halo blight. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 403-407, 2017a.

SERA, G.H.; SERA, T.; FAZUOLI, L.C.; MACHADO, A.C.Z.; ITO, D.S.; SHIGUEOKA, L.H.; SILVA, S.A. IPR 100 – Rustic dwarf Arabica coffee cultivar with resistance to nematodes *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 17: 175-179, 2017b.

SERA, T. Coffee genetic breeding at IAPAR. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 179-199, 2001.

SERA, G. H.; CARVALHO, F. G.; FONSECA, I. C. B.; SHIGUEOKA, L. H.; SILVA, S. A.; SILVA, A. G.; ITO, D. S. Resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in Arabica coffee genotypes introgressed with *Coffea liberica*. **AUSTRALIAN JOURNAL OF CROP SCIENCE (ONLINE)**, p. 1236-1241, 2020.

SERA, G. H.; MACHADO, A. C. Z.; ITO, D. S.; SHIGUEOKA, L. H.; SILVA, S. A.; SERA, T. IPR 106: new Arabica coffee cultivar, resistant to some *Meloidogyne paranaensis* and *M.*

incognita nematode populations of Paraná. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, p. e305520317-6, 2020

SETOTAW, T. A.; PENA, G.F.; ZAMBOLIN, E.M.; PEREIRA, A.A.; SAKIYAMA, N.S. Breeding potential and genetic diversity of "Híbrido do Timor" coffee evaluated by molecular markers. **Crop Breed. Appl. Biotechnol.** v.10, n.4, pp. 298-304. 2010.

SHIGUEOKA, L. H.; SERA, G. H.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B.; ANDREAZI, E.; CARVALHO, F. G.; CARDUCCI, F. C.; ITO, D. S. Reaction of Arabica coffee progenies derivative from Icatu to *Meloidogyne paranaensis*. **BRAGANTIA**, v. 75, p. 193-198, 2016a.

SHIGUEOKA, L. H.; SERA, G. H.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B. ; MACHADO, A. C. Z. . Host reaction of arabica coffee genotypes derived from Sarchimor to *Meloidogyne paranaensis*. **NEMATODA**, v. 3, p. 10-16, 2016b.

SILVA, R. V.; OLIVEIRA, R. D. L.; ZAMBOLIN, L. Primeiro relato de ocorrência de *Meloidogyne paranaensis* em cafeeiro no estado de Goiás. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, n. 2, p. 187-190. Dez. 2009.

SILVA, M. G. da. Temperature and light intensity interaction on *Cercospora coffeicola* sporulation and conidia germination. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 2, 2016.

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**22: 51-59. 1998

SILVESTRINI, S.; JUNQUEIRA, M. G.; FAVARIN, A. C.; GUERREIRO-FILHO, O.; MALUF, M. P.; SILVAROLLA, M. B.; COLOMBO, C. A. Genetic diversity and structure of Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. Accessions using microsatellites markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 54, n. 6, p. 1367-1379, 2007.

SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. **Fundamentos de genética**. 7ª edição, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 579, 2020

SOUZA A. G. C.; HERRERO, S.; DAUB, M. E. The toxin Cercosporin is a virulence factor for infection of coffee by *Cercospora coffeicola*. Doi: <https://doi.org/10.1101/818328>

SOUZA, S. E.; SANTOS, J. M.; MATOS, R. V.; RAMOS, J. A.; SANTOS, F. S.; FERRAZ, R. C. N.; CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, C. A. Levantamento preliminar de *Meloidogyne* em cafeeiros no estado da Bahia – Planalto da Vitória da Conquista e Chapada Diamantina. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA. p. 167-170. 2000.

SOUZA, A. G. C.; RODRIGUES, F. A.; MAFIA, L. A.; GOMIDE, M. E. S.; Infection Process of *Cercospora coffeicola* on Coffee Leaf. **J Phytopathol** San Diego, 59: p. 6–11. 2011.

SOUZA, R. M. Plant-Parasitic nematodes of coffee. **Rio de Janeiro**: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2000.

STIRLING, G. R. **Biological Control of Plant Parasitic Nematodes. Progress, Problems and Prospects.** CAB International, Wallingford, UK, 1991.

TEIXEIRA-CABRAL, T. A.; SAKIYAMA, N. S.; ZAMBOLIM, L.; PEREIRA, A. A.; SCHUSTER, I. Single-locus inheritance and partial linkage map of *Coffea arabica* L. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, p. 416-421, 2004.

VAN DER PLANK, J. E. **Plant diseases: epidemic and control.** New York: Academic press, 349 p. 1963.

VASCONCELLOS, M. E. C.; GONÇALVES, P. S.; De PAIVA, J. R.; VALOIA, A. C. C. Métodos de estimação do coeficiente de repetibilidade no melhoramento da seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 433-437, 1985.

WALLER, J. M.; BIGGER, M.; HILLOCKS, R. J. Diseases and their management. *In*: WALLER, J. M.; BIGGER, M.; HILLOCKS, R. J. (Eds.). **Coffee pests, diseases and their management.** Wallingford, UK: CABI. 2007. p. 169-210.

WANG, K.-H.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. Crotoalaria as a cover crop for nematode management: a review. **Nematropica**, v. 32, n. 1, p. 35-57, 2002.

WILKS, S. S. The large-sample distribution of the likelihood ratio for testing composite hypotheses. **The Annals of Mathematical Statistics** 9, 60-62. 1938.

YU, Q.; GUYOT, R.; DE KOCHKO, A.; BYERS, A.; NAVAJAS-PÉREZ, R.; LANGSTON, B. J.; DUBREUIL-TRANCHANT, C.; PATERSON, A. H.; PONCET, V.; NAGAI, C.; MING, R.; Micro-collinearity and genome evolution in the vicinity of a fanethylene receptor gene of cultivated diploid and tetraploid coffee species (*Coffea*). **Plant J** 67:305–317. 2011.

ZAMBOLIM, L. Manejo de doenças. *In*: SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. (eds.). **Café arábica: do plantio à colheita.** Viçosa, MG: Ed. UFV. 2015. p.129-150.