



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

CARLOS THEODORO MOTTA PEREIRA

**PARÂMETROS GENÉTICOS E VALORES GENOTÍPICOS
PARA FORÇA DE DESPRENDIMENTO DE FRUTOS E
CARACTERES VEGETATIVOS EM CAFÉ ARÁBICA**

Londrina
2024

CARLOS THEODORO MOTTA PEREIRA

**PARÂMETROS GENÉTICOS E VALORES GENOTÍPICOS
PARA FORÇA DE DESPRENDIMENTO DE FRUTOS E
CARACTERES VEGETATIVOS EM CAFÉ ARÁBICA**

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

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Hiroshi Sera

Coorientador: Prof. Dr. Tiago Santos Telles

Londrina
2024

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

C284p MOTTA PEREIRA, CARLOS THEODORO.

PARÂMETROS GENÉTICOS E VALORES GENOTÍPICOS PARA FORÇA DE DESPRENDIMENTO DE FRUTOS E CARACTERES VEGETATIVOS EM CAFÉ ARÁBICA / CARLOS THEODORO MOTTA PEREIRA. - Londrina, 2024. 74 f.

Orientador: GUSTAVO HIROSHI SERA.

Coorientador: TIAGO SANTOS TELLES.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024.

Inclui bibliografia.

1. *Coffea arabica* - Tese. 2. Colheita de café - Tese. 3. Espaçamento - Tese.

4. Força de desprendimento - Tese. I. HIROSHI SERA, GUSTAVO II. SANTOS TELLES, TIAGO. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

CARLOS THEODORO MOTTA PEREIRA

**PARÂMETROS GENÉTICOS E VALORES GENOTÍPICOS
PARA FORÇA DE DESPRENDIMENTO DE FRUTOS E
CARACTERES VEGETATIVOS EM CAFÉ ARÁBICA**

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

BANCA EXAMINADORA

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

Dra. Juliana Costa de Rezende Abrahão
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG

Profª. Dra. Suzana Tiemi Ivamoto Suzuki
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela De Resende
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dra. Luciana Harumi Shigueoka
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER

Londrina, 28 _de fevereiro _de 2024.

AGRADECIMENTOS

À **DEUS** em primeiro lugar, por permitir que tudo acontecesse.

À Universidade Estadual de Londrina - UEL, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e ao Instituto de desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER, pela oportunidade da realização deste trabalho cedendo a infraestrutura necessária para a execução dos experimentos.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao pesquisador Prof. Dr. Gustavo Hiroshi Sera, pela orientação e oportunidade para realização desta tese, além dos valiosos conhecimentos compartilhados sobre o melhoramento genético de café.

Ao Dr. Tiago Santos Telles pela co-orientação.

Ao Dr. Tumoru Sera, pelos grandes ensinamentos e exemplos.

Aos funcionários, servidores do IDR-Paraná, pela colaboração, nos trabalhos de campo.

Aos amigos de trabalho Valdir, Kawana, Fernando, Marco, Harumi, Angelita, Guilherme, Bia, Gabi, Hamanaka, Isabel, Tonho, e José Alves que durante esses anos sempre colaboraram de alguma forma e momentos de descontração deixando um ambiente de trabalho agradável.

À minha esposa Ana Paula pelo incentivo, carinho e presença.

Meus pais Carlos, Wanda e minha irmã Desirée pelo contínuo incentivo para realização deste trabalho e que sempre estiveram me dando apoio.

Aos meus amigos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos demais membros da banca, pelas sugestões e contribuições.

“Ano passado eu morri, mas esse ano eu não morro”.

Belchior

RESUMO

PEREIRA, Carlos Theodoro Motta. **PARÂMETROS GENÉTICOS E VALORES GENOTÍPICOS PARA FORÇA DE DESPRENDIMENTO DE FRUTOS E CARACTERES VEGETATIVOS EM CAFÉ ARÁBICA**. 2024. 74 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

O cultivo de café é uma atividade econômica de grande importância mundial, especialmente para países como o Brasil, líder na produção e exportação desse produto. A colheita do café representa um dos principais custos de produção, e a escolha das cultivares adequadas pode impactar significativamente na rentabilidade e qualidade do café. Os objetivos deste estudo foram obter estimativas de parâmetros genéticos e predições de valores genotípicos em cultivares de café arábica, em diferentes espaçamentos de plantio, para a força de desprendimento dos frutos e características relacionadas a essa variável, além de características vegetativas da parte aérea. Em ambos os artigos dessa tese, o experimento foi realizado no centro tecnológico da COCARI no município de Mandaguari, Paraná, Brasil. No artigo A, foram avaliadas seis cultivares de café arábica nos espaçamentos de 0,60 e 0,90m entre plantas em DBC com três repetições de três plantas por parcela, em esquema de parcelas subdivididas. As características avaliadas foram a força de desprendimento dos frutos (FDF), tamanho do fruto (TF), comprimento do pedúnculo (CP) e diâmetro do pedúnculo (DP). No artigo B, foram avaliadas oito cultivares de café arábica nos espaçamentos de 0,45, 0,60, 0,75 e 0,90 m entre plantas em DBC com três repetições de sete plantas por parcela, em esquema de parcelas subdivididas. As características vegetativas avaliadas foram envergamento da haste principal (EHP), diâmetro da haste principal (DHP), largura da copa (LC) e altura da planta (AP). Utilizando a metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP), foram realizadas análises para identificar a variabilidade genética nas cultivares de café estudadas. Foram considerados diferentes espaçamentos de plantio para avaliar o impacto do ambiente na expressão dos caracteres estudados. Os resultados demonstraram que as cultivares IPR 98 e 106 apresentam menor FDF, enquanto a cultivar IPR 103 possui maior FDF. Além disso, foram identificadas diferenças nas características vegetativas das plantas, como DHP, AP e LC, entre as cultivares avaliadas. Plantas com DHP tendem a ter maior AP e LC. O estudo evidencia a eficiência da metodologia REML/BLUP na identificação da variabilidade genética para a força de desprendimento de frutos e características vegetativas em cultivares de café arábica. Os resultados também sugerem que a escolha do espaçamento entre plantas pode influenciar na expressão desses caracteres, indicando a possibilidade de diferenciar melhor os cafeeiros e aumentar o ganho genético em espaçamentos mais amplos. Essas informações são cruciais para orientar os cafeicultores na seleção das variedades mais adequadas, considerando as condições específicas de cada região de cultivo e promovendo a produção de café de alta qualidade.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; Colheita de café; Espaçamento; Força de desprendimento; Variabilidade.

ABSTRACT

PEREIRA, Carlos Theodoro Motta. **GENETIC PARAMETERS AND GENOTYPIC VALUES FOR FRUIT DETACHMENT FORCE AND VEGETATIVE TRAITS IN ARABICA COFFEE**. 2024. 74 p. Thesis (PhD in Agronomy) - State University of Londrina, Londrina, 2024.

Coffee cultivation is a globally significant economic activity, especially for countries like Brazil, a leader in the production and exportation of this product. Coffee harvesting represents one of the main production costs, and the choice of suitable cultivars can significantly impact the profitability and quality of the coffee. The objectives of this study were to obtain estimates of genetic parameters and predictions of genotypic values in Arabica coffee cultivars, at different planting spacings, for fruit detachment force and related characteristics, as well as vegetative characteristics of the aerial part. In both articles of this thesis, the experiment was conducted at the COCARI technological center in the municipality of Mandaguari, Paraná, Brazil. In article A, six Arabica coffee cultivars were evaluated at plant spacings of 0.60 and 0.90m in a randomized complete block design (RCBD) with three replications of three plants per plot, in a split-plot scheme. The evaluated characteristics were fruit detachment force (FDF), fruit size (TF), peduncle length (CP), and peduncle diameter (DP). In article B, eight Arabica coffee cultivars were evaluated at plant spacings of 0.45, 0.60, 0.75, and 0.90 m in a RCBD with three replications of seven plants per plot, in a split-plot scheme. The evaluated vegetative characteristics were main stem bending (EHP), main stem diameter (DHP), canopy width (LC), and plant height (AP). Using the methodology of mixed linear models (REML/BLUP), analyses were conducted to identify genetic variability in the studied coffee cultivars. Different planting spacings were considered to assess the impact of the environment on the expression of the studied traits. The results demonstrated that cultivars IPR 98 and 106 have lower FDF, while cultivar IPR 103 has higher FDF. Additionally, differences were identified in the vegetative characteristics of the plants, such as DHP, AP, and LC, among the evaluated cultivars. Plants with higher DHP tend to have greater AP and LC. The study highlights the efficiency of the REML/BLUP methodology in identifying genetic variability for fruit detachment force and vegetative characteristics in Arabica coffee cultivars. The results also suggest that the choice of spacing between plants can influence the expression of these traits, indicating the possibility of better distinguishing coffee plants and increasing genetic gain in wider spacings. This information is crucial for guiding coffee growers in selecting the most suitable varieties, considering the specific conditions of each cultivation region, and promoting the production of high-quality coffee.

Key-words: *Coffea arabica*; Coffee harvesting; Spacing; Detachment force; Variability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cultivares de café arábica avaliadas em Mandaguari avaliadas para força de desprendimento dos frutos, tamanho do fruto, comprimento do pedúnculo e diâmetro do pedúnculo.....	41
Tabela 2 – Análise de deviance (ANADEV): Deviance (Dev) e teste da razão da verossimilhança (LRT) para os efeitos de genótipos, de parcela, de blocos, da interação genótipos x espaçamentos (GXE) e do modelo completo para as variáveis avaliadas em seis cultivares de <i>Coffea arabica</i> plantadas nos espaçamentos de 2,75 m x 0,60 m e 2,75 m x 0,90 m.....	45
Tabela 3 – Estimativas dos componentes de variância (REML individual) para os caracteres de força de desprendimento dos frutos (FDF), tamanho do fruto (TF), diâmetro do pedúnculo (DP) e comprimento do pedúnculo (CP) avaliadas em seis cultivares de <i>Coffea arabica</i>	46
Tabela 4 – Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para os caracteres de força de desprendimento dos frutos (FDF), tamanho do fruto (TF), diâmetro do pedúnculo (DP) e comprimento do pedúnculo (CP) avaliadas em seis cultivares de <i>Coffea arabica</i>	48
Tabela 5 – Coeficientes de correlação genotípica entre força de desprendimento dos frutos (FDF), tamanho do fruto (TF), diâmetro do pedúnculo (DP) e comprimento do pedúnculo (CP) em seis cultivares de <i>Coffea arabica</i>	50
Tabela 6 – Cultivares de café arábica avaliadas para características vegetativas em um experimento em campo em Mandaguari.....	56
Tabela 7 – Análise de deviance (ANADEV): Deviance (Dev) e teste da razão da verossimilhança (LRT) para os efeitos de genótipos, de parcela e do modelo completo para as variáveis envergamento da haste principal (EHP), diâmetro do caule (DHP), Largura da copa (LC) e altura da planta (AP) avaliadas em oito cultivares de <i>Coffea arabica</i> plantadas em diferentes espaçamentos entre plantas.	61
Tabela 8 – Componentes de variância e parâmetros genéticos e não genéticos para as características envergamento da haste principal (EHP), diâmetro da haste principal (DHP), largura da copa (LC) e altura da planta (AP) avaliadas em oito cultivares de <i>Coffea arabica</i>	63
Tabela 9 – Valores genotípico ($\mu + g$), limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) e limite superior do intervalo de confiança (LSIC) diâmetro da haste principal (DHP) em oito cultivares de <i>C. arabica</i> avaliadas nos espaçamentos 0,45, 0,60, 0,75 e 0,90 metros.	67
Tabela 10 – Valores genotípico ($\mu + g$), limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) e limite superior do intervalo de confiança (LSIC) largura da copa (LC) em oito cultivares de <i>C. arabica</i> avaliadas nos espaçamentos 0,45, 0,60, 0,75 e 0,90 metros.	69
Tabela 11 – Valores genotípico ($\mu + g$), limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) e limite superior do intervalo de confiança (LSIC) altura da planta (AP) em oito cultivares de <i>C. arabica</i> avaliadas nos espaçamentos 0,45, 0,60, 0,75 e 0,90 metros.	71
Tabela 12 – Coeficientes de correlação genotípica entre envergamento da haste principal (EHP), diâmetro da haste principal (DHP), largura da copa (LC) e altura da planta (AP) avaliadas em oito cultivares de <i>Coffea arabica</i>	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANADEV	Análise de Deviance
ANOVA	Metodologia de análise de quadrados mínimos
AP	Altura da Planta
BLUP	<i>Best Linear Unbiased Prediction</i>
COCARI	Cooperativa Agropecuária e Industrial
CP	Comprimento do Pedúnculo
DEV	Deviance
DHP	Diâmetro da haste principal
DP	Diâmetro do pedúnculo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EHP	Envergamento da haste principal
EPAMIG	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
FDF	Força de desprendimento dos frutos
HDT	Híbrido de Timor
IAC	Instituto Agrônômico
IDR–Paraná	Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER
LC	Largura da copa
LIIC	Limite inferior do intervalo de confiança
LRT	<i>Likelihood Ratio Test</i>
LSIC	Limite superior do intervalo de confiança
REML	<i>Restricted Maximum Likelihood</i>
TF	Tamanho do fruto
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFV	Universidade Federal de Viçosa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Importância Econômica do Café	21
2.2	Gênero <i>Coffea</i>	22
2.3	<i>Coffea arabica</i>	23
2.4	Melhoramento genético do café	24
2.5	Crescimento e desenvolvimento do cafeeiro	27
2.6	Influência do espaçamento nos caracteres vegetativos	29
2.7	Colheita.....	32
2.8	Força de desprendimento dos frutos – FDF	33
2.9	Metodologias de análises estatísticas.....	34
3	Artigo A: Parametros genéticos e valores genotípicos da força de desprendimento dos frutos em cultivares de café arábica.....	37
3.1	Resumo	37
3.2	Abstract.....	38
3.3	Introdução	39
3.4	Material e Métodos.....	40
3.4.1	Caracteres Avaliados.....	41
3.4.2	Análise estatística.....	42
3.5	Resultados e Discussão	44
3.6	Conclusões.....	51
4	Artigo B: paramêtros genéticos e valores genotípicos para caracteres vegetativos de cultivares de café arábica em diferentes espaçamentos entre plantas.....	52
4.1	Resumo	52
4.2	Abstract.....	53
4.3	Introdução	54
4.4	Material e métodos	56
4.4.1	Análises estatísticas	57
4.5	Resultados e discussão	59
4.6	Conclusões.....	72
5	CONCLUSÕES GERAIS.....	74
6	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de café é caracterizado como uma das principais commodities agrícolas mundiais, sendo produzido em regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo. O Brasil, maior produtor e exportador global de café, é responsável por aproximadamente um terço do consumo mundial da bebida, além de representar o segundo maior consumidor (ICO, 2023).

A área total destinada ao cultivo de café no Brasil está estimada em 2,242 milhões de hectares, sendo 1,816 milhões de hectares de *Coffea arabica*, correspondendo a 80,9% de toda a cafeicultura nacional (CONAB, 2023).

A colheita representa o item mais dispendioso no custo de produção do café, podendo ser realizada manualmente, semimecanizada ou mecanizada. A colheita mecanizada, em particular, reduz significativamente os custos e aumenta a rentabilidade do cafeicultor. Em ambos os métodos, é necessário aplicar força para desprendimento dos frutos dos ramos da planta. Embora estudos apontem diferenças nas Forças de Desprendimento dos Frutos (FDF) em diversos estágios de maturação, pesquisas sobre essas disparidades entre cultivares de café ainda é limitada.

O uso de cultivares com menor FDF pode facilitar tanto a colheita manual quanto a mecanizada, permitindo a colheita mais rápida e com menor incidência de danos mecânicos às plantas. Contudo, frutos de cultivares com menor FDF tendem a cair mais facilmente com chuvas durante a colheita, prejudicando a qualidade da bebida. Em contraste, cultivares com maior FDF têm frutos mais difíceis de serem desprendidos, oferecendo a vantagem de resistir melhor às chuvas e permitindo que os frutos sequem na planta, especialmente em regiões de clima mais seco durante a colheita.

No estado do Paraná, a maioria das propriedades cafeeiras são em pequenas áreas e conta principalmente com mão de obra familiar. Assim, o uso de cultivares com menor FDF facilitaria a colheita seletiva manual, promovendo a produção de café de alta qualidade, refletindo positivamente nos preços de comercialização.

Por esses motivos, é importante compreender as FDF das cultivares para orientar os cafeicultores na escolha das variedades mais adequadas, levando em consideração as condições específicas de cada região de cultivo.

Além disso, características vegetativas, como altura e diâmetro da planta, são

fortemente influenciadas pelo ambiente. No que diz respeito ao diâmetro da copa, a escolha do espaçamento entre plantas e, principalmente, entre linhas de plantio depende do diâmetro da copa das plantas. Copas maiores exigem espaçamentos entre linhas mais amplos ou podas mais frequentes para garantir a movimentação adequada de máquinas.

O programa de melhoramento de café do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná) possui várias cultivares de café arábica, com diferentes origens e potencial para apresentar distintas forças de desprendimento e características vegetativas da parte aérea.

A maioria dos caracteres de interesse agrônômico apresenta herança quantitativa, sujeita à influência de muitos genes e a elevado efeito ambiental. Isso, somado a características biológicas das plantas perenes, como bienalidade, longevidade produtiva e longo ciclo reprodutivo, torna o melhoramento do cafeeiro um processo longo e oneroso. Avaliações de caracteres quantitativos são geralmente conduzidas ao longo de vários anos, com medidas repetidas e sucessivas gerações de autofecundação para atingir a homozigose dos genótipos.

Essas características quantitativas dificultam o desenvolvimento de cultivares, exigindo avaliações repetidas ao longo dos anos, especialmente para características relacionadas à produção. Além disso, podem resultar em dados desbalanceados e redução na taxa de sobrevivência das plantas nos experimentos. Portanto, para o estudo de caracteres quantitativos e seleção de plantas perenes, como é o caso do cafeeiro, a metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP) é considerada adequada para lidar com condições de dados desbalanceados.

Com o procedimento REML (*Restricted Maximum Likelihood*), é possível estimar parâmetros genéticos não enviesados e decompor os componentes de variância fenotípica, genética e ambiental. As estimativas dos componentes de variância fornecidas pelo procedimento REML são utilizadas para a predição dos valores genéticos pelo BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*). Considerar os tratamentos como efeito aleatório, conduz a maior acurácia preditiva. Isso acontece devido aos preditores *shrinkage* forçarem os resultados em direção à média geral, penalizando predições baseadas em pequenas amostras. Por meio do *shrinkage* ou pela multiplicação do valor fenotípico corrigido por uma função da herdabilidade do caráter sob seleção, é possível eliminar os efeitos ambientais residuais embutidos nos dados fenotípicos. Com esta eliminação o erro de predição é minimizado, gerando predições não viciadas de valores genéticos e maximizando o ganho genético por ciclo de seleção. Dessa

forma, é possível favorecer a seleção genética ao invés da fenotípica.

Para o melhoramento genético de *Coffea arabica*, diversos modelos podem ser ajustados para estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos. Contudo, ao lidar com medidas repetidas, é aconselhável que o modelo escolhido considere os efeitos de ambiente permanente, garantindo a precisão na seleção genética. Nesse contexto, o modelo de repetibilidade com estrutura de simetria composta, implementado no software Selegen REML/BLUP, permite analisar medidas repetidas assumindo a homogeneidade de covariâncias entre as colheitas.

Vários estudos em melhoramento genético de café utilizaram a metodologia de modelos mistos via REML/BLUP para estimar parâmetros genéticos e prever valores genéticos. No entanto, em café arábica não existem estudos com estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos via REML/BLUP para a característica força de desprendimento de frutos e existem apenas um estudo com esta metodologia para algumas características vegetativas.

Assim, os objetivos deste estudo foram obter estimativas de parâmetros genéticos e predições de valores genotípicos em cultivares de café arábica, em diferentes espaçamentos de plantio, para a força de desprendimento dos frutos e características relacionadas a essa variável, além de características vegetativas da parte aérea.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO CAFÉ

O café destaca-se como uma das principais commodities agrícolas mundiais e exerce significativa influência na economia brasileira, como evidenciado pela exportação de café em grão cru do Brasil, que atingiu 39,2 milhões de sacas de 60 kg no ano de 2023 (CECAFE, 2023). A cafeicultura contribui substancialmente para a geração de divisas, gerando uma receita de exportações que alcançou a marca de 8,041 bilhões de dólares durante o ano de 2023 (CECAFE, 2023).

As espécies *Coffea arabica* e *C. canephora* são comercialmente exploradas em 60 países nas regiões tropicais e subtropicais, sendo que apenas 15 destes países apresentam produção em larga escala, superando 1 milhão de sacas por ano. Entre esses, destacam-se o Brasil, Vietnã, Colômbia e Indonésia (GUERREIRO FILHO *et al.*, 2008; ICO, 2023). O Brasil, como maior produtor e exportador mundial, é responsável por um terço da produção global de café consumido (ICO, 2023).

A safra brasileira de café atingiu, em 2023, a marca de 55,1 milhões de sacas beneficiadas de 60 quilos, com uma produtividade de 29,4 sacas por hectare (CONAB, 2023). Mesmo em ano de bienalidade negativa, houve um aumento de 8,2% em relação à safra de 2022, que totalizou 50,9 milhões de sacas. O café arábica representou 70,7% da produção brasileira, apresentando um incremento de 18,9% em relação à safra anterior, enquanto o café Conilon correspondeu a 29,3% da produção nacional, com produção de 16,17 milhões de sacas, representando uma redução de 11,2% em relação à safra passada, que alcançou 18,1 milhões de sacas (CONAB, 2023).

A área total de cultivo de café no Brasil, incluindo *C. arabica* e *C. canephora*, totaliza 2,24 milhões de hectares, com redução de 0,3% em relação à safra de 2022, com 1,87 milhão de hectares em processo produtivo e 361,6 mil hectares ainda em formação. A produção de café arábica permanece concentrada em Minas Gerais e São Paulo, enquanto o café Conilon predomina no Espírito Santo, seguido por Bahia e Rondônia. Na safra de 2023, Minas Gerais continua sendo o maior estado produtor, com 29 milhões de sacas, seguido por Espírito Santo com 13 milhões, São Paulo com 5 milhões, Bahia com 3,4 milhões, Rondônia com 3,04 milhões e Paraná com 719 mil sacas (CONAB, 2023).

O Brasil conta com cerca de 300 mil produtores, sendo 70% pequenos, com

áreas inferiores a 10 hectares. Esses produtores estão organizados em aproximadamente 50 cooperativas e 20 associações de cafeicultores. Em termos de área destinada à produção de grãos, a cafeicultura ocupa uma pequena porção, gerando, no entanto, uma alta rentabilidade. Essa realidade é evidente nas regiões cafeeiras típicas de Minas Gerais, onde a cultura do café ocupa, em média, 20% das áreas das propriedades e responde por 70 a 80% da renda bruta total (CONAB, 2023).

A cultura do café desempenha um papel crucial na prevenção do êxodo rural, uma vez que demanda uma mão de obra expressiva. A cadeia produtiva do café gera aproximadamente 3 milhões de empregos diretos e indiretos, englobando trabalhadores permanentes ou temporários. No sistema de manejo convencional, é necessário um trabalhador para cada 3 hectares, enquanto no sistema mecanizado, a proporção é de um trabalhador para cada 20 hectares (Matiello *et al.*, 2016).

Além disso, a cadeia produtiva do café no Brasil tem amplo impacto econômico e social, gerando empregos e renda em setores como produção, indústria de torrado e moído, indústria de solúvel, comércio interno e externo, além de contribuir para a arrecadação de taxas e impostos pelos governos estaduais e municipais (Conceição; Ellery Junior; Conceição, 2017). Indiretamente, a cafeicultura também impulsiona empregos em atividades como classificação, beneficiamento, armazenagem, corretagem, transporte, embalagem, assistência técnica especializada, produção de sementes e mudas, venda e aluguel de máquinas, insumos agrícolas, além de serviços na área de pesquisa científica, incluindo testes de insumos agrícolas e desenvolvimento de cultivares aprimoradas (Matiello *et al.*, 2016).

2.2 GÊNERO *COFFEA*

Nos últimos anos, a estrutura taxonômica do cafeeiro foi reformulada por meio de estudos moleculares, citológicos e morfológicos (Davis *et al.*, 2006, 2011). Atualmente, o cafeeiro pertence à divisão das Fanerógamas, à classe das Angiospermas e à subclasse Eudicotiledônea, à ordem Rubiales e à família das Rubiaceae, tribo *Coffeae*, subtribo *Coffeinae*, e os gêneros *Coffea* L. e *Psilanthus* Hook.f. (Davis *et al.*, 2011).

Novas alterações taxonômicas serão propostas em breve, uma vez que as atuais espécies de *Psilanthus* serão transferidas para o gênero *Coffea*. O nome *Coffea* foi descrito inicialmente em 1753 por Lineu, enquanto *Psilanthus* foi descrito em 1873 por J. D. Hooker. Assim, o nome *Coffea* prevalecerá por ser objeto de publicação mais antiga (Davis *et*

al., 2011).

O gênero *Coffea* possui 124 espécies descritas, mas apenas *C. arabica* e *C. canephora* têm importância econômica, representando praticamente a totalidade do café produzido e comercializado no mundo (Guerreiro Filho, 2008; Davis *et al.*, 2006; 2011). As outras espécies pertencentes ao gênero *Coffea*, como *C. congensis*, *C. liberica*, *C. racemosa*, *C. dewevrei*, *C. kapakata*, *C. eugenoides*, *C. kapakata*, *C. humilis*, *C. sessiliflora*, *C. heterocalyx* e *C. anthonyi*, dentre outras, possuem uma diversidade genética bastante significativa, sendo, portanto, utilizadas no melhoramento genético do cafeeiro (Charrier; Berthaud, 1985; Guerreiro Filho *et al.*, 2008).

As espécies do gênero *Coffea* aparecem em toda a extensão geográfica que compreende desde regiões tropicais da África, Madagascar e Ilhas Mascarenhas até as regiões da Ásia tropical e Australásia, incluindo regiões com florestas semidecíduas e vegetação subtropical de altitude elevada (Davis *et al.*, 2011).

2.3 COFFEA ARABICA

A espécie *Coffea arabica* representa 60% da produção mundial, é caracterizada como um arbusto perene, com sistema radicular pivotante e parte aérea de formato cilíndrico, apresentando ramos de crescimento vertical (ramo ortotrópico), local que se desenvolvem ramos produtivos de crescimento horizontal (ramos plagiotrópicos). Pode atingir até 10 metros de altura sem manejo para poda (Oliveira *et al.*, 2007).

As folhas são completas, coriáceas, com pecíolos curtos e persistentes, formato elíptico, bordas onduladas, nervuras secundárias de pequena profundidade e domácias glabras parcialmente desenvolvidas. Quando adultas, as folhas são de coloração verde escura e brilhantes. As inflorescências se desenvolvem na axila foliar, originando até quatro flores em uma estrutura chamada de glomérulo.

As flores são completas, hermafroditas e auto compatíveis (Oliveira *et al.*, 2007).

O fruto é não climatérico, do tipo drupa, com duas sementes chatas que possuem um sulco ventral no sentido longitudinal. Quando maduro, é conhecido como cereja, podendo apresentar exocarpo de cor vermelha ou amarela. A semente possui uma película comumente chamada de pergaminho e um embrião com dois cotilédones, sendo o endosperma de coloração esverdeada, o que justifica a denominação comercial do grão como "café verde"

(*green coffee*) (Sakiyama, 2015).

No gênero *Coffea*, todas as espécies são diploides, com exceção de *Coffea arabica*, que se configura como um alotetraploide. Essa alotetraploidia é resultado da hibridação espontânea de *C. canephora* e *C. eugenioides*, comprovada por estudos associados à origem geográfica, compatibilidade em cruzamentos controlados, além de estudos genéticos e citológicos. Dessa forma, o cruzamento espontâneo com gametas não reduzidos de *C. canephora* e *C. eugenioides* originou a espécie arábica com 44 cromossomos (Teixeira-Cabral *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2007; Lasehermes *et al.*, 1999; Carvalho; Mônaco, 1964; Charrier; Berthaud, 1985).

2.4 MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFÉ

O melhoramento genético do café arábica para características agrônômicas desejáveis, tais como alta produtividade e resistência a fatores bióticos e abióticos, demanda um extenso período de estudo devido ao ciclo produtivo bianual da planta e sua natureza perene (Pereira, 2010).

A introdução do café no Brasil ocorreu em 1727, quando o sargento Francisco de Melo Palheta trouxe mudas da cultivar *Typica* do Suriname para Belém, no estado do Pará. Poucos anos depois, o cultivo de café expandiu-se para outros estados do país (Camargo; Teles Júnior, 1953).

Durante o século seguinte, mutações da *Typica* deram origem a outras cultivares selecionadas empiricamente, como Amarelo de Botucatu e Maragogipe (Mendes *et al.*, 2008a). No entanto, esses genótipos mutantes possuíam apenas modificações morfológicas, sem alteração no potencial produtivo (Mendes *et al.*, 2008b).

Com o tempo, a produtividade das cultivares *Typica*, Amarelo de Botucatu e Maragogipe estagnou, gerando a necessidade de cultivares mais produtivas. Assim, em 1859, o governo brasileiro importou da Ilha de Reunião a cultivar Bourbon Vermelho (Teixeira *et al.*, 1941). Com o objetivo de aumentar ainda mais a produtividade, a cultivar Sumatra foi introduzida em 1986, sendo essencialmente derivada da cultivar *Typica*, oferecendo pouca variabilidade genética (Carvalho, 1952; Mendes *et al.*, 2008a).

Posteriormente, assim como ocorreu com a *Typica*, mutações e cruzamentos naturais envolvendo a cultivar Bourbon Vermelho resultaram em outros genótipos, como Bourbon Amarelo, Caturra Vermelho e Caturra Amarelo (Mendes *et al.*, 2008a; Pereira; Baião,

2015).

Esses mutantes apresentaram aumento no potencial produtivo, como no caso do Bourbon Amarelo, que superava a produção do Bourbon Vermelho em 32 a 45% (Fazuoli *et al.*, 2008). Além disso, tanto as cultivares Caturra Vermelho quanto Caturra Amarelo exibiram alta capacidade produtiva e porte reduzido devido ao fator dominante "Caturra" (*CtCt*), que reduz o comprimento dos internódios (Carvalho *et al.*, 2008).

Embora o melhoramento empírico tenha resultado nas primeiras mudanças alélicas direcionadas, o melhoramento de plantas é uma ciência que estabelece hipóteses avaliadas pelo método científico, baseado no conhecimento de diversas áreas, tornando o trabalho em equipes multidisciplinares fundamental (Borém; Miranda, 2013). Nesse sentido, a segunda fase do melhoramento genético do café arábica teve como principal objetivo obter plantas mais produtivas e vigorosas, além de selecionar para resistência a pragas e doenças, tamanho da planta, uniformidade na maturação dos frutos e outros fatores (Mendes *et al.*, 2008a).

Nas décadas seguintes, por meio da identificação de plantas altamente vigorosas e produtivas no município de Mundo Novo, em São Paulo, o Instituto Agrônomo (IAC) analisou 18 plantas e considerou a hipótese de um cruzamento natural entre as cultivares Sumatra e Bourbon Vermelho (Mendes *et al.*, 2008a). O IAC realizou várias seleções nesses materiais genéticos até iniciar a multiplicação da cultivar Mundo Novo em 1952 (Carvalho, 1981; 1985; Fazuoli *et al.*, 2008).

A partir da seleção da cultivar Mundo Novo em lavouras comerciais, houve avanços significativos no programa de melhoramento do IAC (Mendes *et al.*, 2008a). Essa cultivar foi responsável por ganhos expressivos na produção nacional de café, já que as melhores progênies do Mundo Novo produziam 80% a mais do que o genótipo original, 50% a mais do que as melhores seleções do Bourbon Amarelo, 95% a mais do que as melhores seleções do Bourbon Vermelho e 240% a mais do que as progênies da Typica (Fazuoli *et al.*, 2008).

Por muitos anos, as cultivares do grupo Mundo Novo ficaram entre as mais produtivas de *Coffea arabica*, além de possuírem boa longevidade e excelente rusticidade (Fazuoli *et al.*, 2005a).

Na década de 1970, a cafeicultura brasileira teve um grande salto em

produtividade com as cultivares do grupo Catuaí (Mendes *et al.*, 2008a). Essas cultivares foram desenvolvidas a partir do cruzamento artificial entre Caturra Amarelo IAC 476-11 e Mundo Novo IAC 374-19, com o objetivo de obter cafeeiros produtivos, de porte baixo (tipo "Caturra") e com o vigor da cultivar Mundo Novo (Carvalho *et al.*, 2008; Mendes *et al.*, 2008a). Além disso, a qualidade da bebida das cultivares do grupo Catuaí é considerada excelente devido à participação de 75% da cultivar Bourbon Vermelho em sua formação (Carvalho *et al.*, 2008).

A disponibilidade dessas cultivares altamente produtivas do grupo Catuaí e Mundo Novo, combinada com a aceitação efetiva pelos agricultores, fez com que todo o parque cafeeiro do país fosse composto por esses dois grupos de cultivares, que ainda são os mais cultivados no Brasil (Mendes *et al.*, 2008a; Chalfoun; Reis, 2010).

Na década de 1990 e principalmente a partir do ano 2000, várias cultivares de diferentes origens foram lançadas, tais como Catuaí x Mundo Novo, Villa Sarchi x Híbrido de Timor, Icatu x Catuaí, Catuaí x Híbrido de Timor, Sarchimor x Mundo Novo, Catimor x Catuaí, Acaiaí x Catimor, Icatu x Catimor, Catuaí x Catindu e Catuaí x "Icatu de porte baixo". Essas cultivares foram desenvolvidas por programas de melhoramento conduzidos por instituições de pesquisa como IAC, IDR-Paraná, Fundação Procafé, Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER) e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/Universidade Federal de Viçosa/Universidade Federal de Lavras (EPAMIG/UFV/UFLA). Essas instituições fazem parte de um consórcio nacional de pesquisa, denominado Consórcio Pesquisa Café, coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e já desenvolveram cultivares com alto potencial produtivo e resistência a diferentes doenças.

O cruzamento entre Villa Sarchi CIFC 971/10 e Híbrido de Timor CIFC 832/2 resultou nas cultivares IAPAR 59, IPR 97, IPR 98, IPR 99, IPR 104 (desenvolvidas pelo IDR-Paraná), Tupi IAC 1669-33 e IAC 125 RN (desenvolvidas pelo IAC) e Sarchimor MG 8840 (desenvolvida pela EPAMIG), que fazem parte do grupo denominado Sarchimor (SERA, *et. al.* 2022).

Três cultivares derivadas do cruzamento entre Sarchimor e Mundo Novo foram lançadas pelo IDR-Paraná com os nomes IPR 107, IPR Pérola, IPR Alvorada e quatro cultivares pela Fundação Procafé com os nomes Acauã, Acauã novo, Asabranca, Graúna. IPR 107, IPR Pérola e IPR Alvorada foram originadas do cruzamento entre IAPAR 59 (Sarchimor IAC 1669) e Mundo Novo IAC 376-4, que possuem ciclos precoce a médio, enquanto as outras quatro foram originadas do cruzamento entre Sarchimor IAC 1668 x Mundo Novo IAC 379-

19, que possuem ciclos médio a tardio. As sete cultivares são de porte baixo e altamente resistentes à ferrugem (Sera *et al.*, 2022).

Em 2012, foi lançada IPR 100, a primeira cultivar de café arábica de porte baixo com resistência aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita*. Essa cultivar foi obtida do cruzamento entre 'Catuaí Vermelho IAC 81' e ('Catuaí Vermelho IAC 81' x IAC 1110-8) (Andreazi *et al.*, 2015).

IPR 103, lançado em 2006 (Sera; Sera; Fazuoli, 2013), e IPR 102, lançado em 2015, foram originados do mesmo híbrido entre 'Catuaí Vermelho IAC 99' e "Icatu de porte baixo", denominado H9878 no IAC, embora de diferentes plantas F₁. IPR 102 é a única cultivar de porte baixo identificada com alta resistência à mancha aureolada (Ito *et al.*, 2008; Sera; Sera; Fazuoli, 2017).

As instituições iniciaram programas de melhoramento com o objetivo de mitigar problemas climáticos, como calor, seca e chuva durante a colheita. Também estão sendo desenvolvidas cultivares com arquitetura e frutos que facilitem a colheita mecanizada. Além disso, o melhoramento genético está focado na melhoria da qualidade da bebida, um atributo importante diante de mercados cada vez mais exigentes.

As pesquisas atuais de melhoramento do cafeeiro visam o aumento da produtividade e resistência, não apenas à ferrugem, mas também aos nematoides, com destaque para *M. paranaensis*, *M. incognita* e *M. exigua*. Além disso, estão sendo desenvolvidas cultivares com diferentes ciclos de maturação dos frutos, a fim de mitigar os problemas de falta de mão de obra na colheita.

2.5 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO CAFEEIRO

O café arábica é uma planta perene que apresenta bienalidade na produção, caracterizada pela alta e baixa produção de grãos em anos alternados (Sakiyama, 2015). A alternância bienal na produção ocorre devido à disputa interna por água e nutrientes na planta, que está simultaneamente passando pelas fases de reprodução e crescimento vegetativo. Manter um equilíbrio entre a capacidade de produção e o crescimento vegetativo é essencial para garantir a estabilidade da produção ao longo dos anos. Quando se trata da concorrência por minerais e amido, os frutos em desenvolvimento vigoroso têm prioridade como drenos em relação aos novos ramos em crescimento (Sakiyama, 2015).

A fase de reprodução é caracterizada pela habilidade da planta em produzir

flores, sendo influenciada por mudanças no meristema das gemas (Larcher, 2000). No caso do cafeeiro, a etapa reprodutiva começa com a formação das flores e se encerra com a queda dos frutos. Camargo e Camargo (2001) dividiram o ciclo fenológico completo do cafeeiro em seis fases: 1) crescimento vegetativo e desenvolvimento de gemas foliares; 2) estímulo e amadurecimento das gemas florais; 3) período de floração; 4) processo de maturação dos frutos; 5) momento de amadurecimento dos frutos; 6) período de descanso e envelhecimento dos ramos secundários e terciários.

Pezzopane *et al.* (2003) apresentaram uma escala numérica para as fases reprodutivas do cafeeiro: 0 (gema em dormência); 1 (gema inchada); 2 (botão floral); 3 (floração); 4 (pós-floração); 5 (frutos em início de formação); 6 (expansão dos frutos); 7 (fruto verde); 8 (verde-canário); 9 (cereja); 10 (passa); 11 (seco). Moraes *et al.* (2008) propuseram uma escala de fases reprodutivas para o cafeeiro dividida em quatro fases: Desenvolvimento da gema floral (G), Período de Floração (FL), Processo de Frutificação (F) e Etapa de Maturação (M). As fases G e F foram subdivididas, levando em consideração o tamanho das gemas e dos frutos, abrangendo intervalos de G1 a G6 e F1 a F6, respectivamente. A descrição da maturação incluiu uma categorização baseada na cor dos frutos: M1 - fruto verde; M2 - verde-canário; M3 - vermelho-claro (cereja); M4 - vermelho-escuro (passa); e M5 - preto (seco).

A análise histológica é o meio mais preciso para compreender as mudanças nas fases fenológicas (Moens, 1963; Barros *et al.*, 1978). No entanto, sua implementação prática é complexa, tornando as escalas fenológicas uma prática mais ágil e eficiente, podendo ser utilizadas para pesquisas sobre o crescimento, produtividade e manejo da lavoura cafeeira (Camargo; Camargo, 2001; Pezzopane *et al.*, 2003; Moraes *et al.*, 2008).

Em cultivos onde as plantas são adensadas, a produtividade frequentemente ultrapassa significativamente aquela obtida em cultivos tradicionais com espaçamentos mais largos. Normalmente, o retorno econômico supera os custos adicionais associados às aplicações fitossanitárias e aos tratos culturais. Contudo, a decisão de escolher a densidade ideal de plantio muitas vezes gera incertezas durante o estabelecimento do cafezal. Embora o desenvolvimento do cafeeiro é variável conforme a cultivar, condições do solo e clima, suplementado pela nutrição e nível tecnológico do produtor, é complexo sugerir uma densidade de plantio ideal que se adequaria a todas as propriedades nas diversas regiões cafeeiras (Pereira *et al.*, 2011; Pereira *et al.*, 2022).

Em plantios adensados, os cafeeiros demandam maior disponibilidade de

água, luz e minerais do que em plantios convencionais, sendo assim, em regiões com baixa precipitação, poderá ocorrer redução na produtividade. Por outro lado, as raízes de cafeeiros em cultivos adensados parecem penetrar em horizontes mais profundos no solo, possibilitando dessa forma a exploração de um maior volume de solo e, conseqüentemente, uma maior absorção de água e maior eficiência da utilização de nutrientes. Além disso, devido ao maior grau de auto-sombreamento das copas nos plantios adensados, as temperaturas das folhas e do solo são reduzidas, concorrendo, para diminuir a evapotranspiração, um aspecto ainda facilitado pela menor abundância de plantas daninhas. O auto-sombreamento concorre também para reduzir a profusão da iniciação floral e, por extensão, a sobrecarga, a flutuação bienal da produção e a ocorrência de seca de ramos (Damatta; Rena, 2002).

A disponibilidade de luz é, provavelmente, o principal fator limitante à produção dos plantios adensados, e a limitação de luz a cada planta de café não é contraditória com a maximização da produção por unidade de área, na medida em que uma menor produção por planta seria contrabalanceada por um maior número de plantas por área. Em todo caso, em função da extensão do adensamento, a produção econômica do cafeeiro pode ser limitada a três a cinco colheitas, um período correspondente ao potencial máximo de frutificação de cafeeiros jovens. Após esse período, a produção declina rapidamente, em função da baixa disponibilidade de luz por unidade de área foliar; como consequência, o terço inferior da copa é perdida, ocorrem brotações excessivas e há uma tendência de ramos ortotrópicos estiolarem-se. Nesse contexto, a sustentabilidade econômica do cafezal somente poderá ser mantida às expensas de um manejo adequado de podas ou via eliminação de partes das plantas (Damatta *et al.*, 2007).

2.6 INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO NOS CARACTERES VEGETATIVOS

A arquitetura vegetal envolve a descrição dos componentes das plantas, incluindo tipo biológico, forma, localização/orientação no espaço e relação física entre eles. O espaçamento pode causar variações nas estruturas dos órgãos vegetativos, ramificação e distribuição em parcelas (Godin, 2000).

No caso dos cafeeiros, a arquitetura de cultivares contrastantes e os espaçamentos entrelinhas influenciam atributos morfológicos e impactam no manejo das lavouras em operações mecanizadas, principalmente em lavouras adensadas. A disposição das plantas na área, afeta todo o sistema de produção, sendo um grande desafio encontrar o equilíbrio entre o número de plantas e os componentes de produção. A cafeicultura adensada

tem utilizado cultivares de porte baixo para melhorar as operações mecanizadas, facilitando a colheita e o tratamento fitossanitário (Rakocevic; Androcioli Filho, 2010).

Segundo o estudo de Araujo Junior *et al.* (2013), que analisaram os atributos arquiteturais (altura, diâmetro da copa e diâmetro do caule) de cultivares contrastantes como IPR 106, Catuaí Vermelho IAC99 e Catuaí Erecta IAPAR 88039 em três espaçamentos nas entrelinhas, constatou-se que os espaçamentos entrelinhas influenciaram nos atributos morfológicos das cultivares avaliadas, e a redução do espaçamento, aumenta a produtividade, principalmente da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99.

Além da redução no espaçamento nas entrelinhas, a redução do espaçamento entre plantas, na linha de plantio também aumenta a produtividade e influencia o crescimento e a arquitetura dos cafeeiros (Pereira *et al.*, 2011). No entanto, devido às diferentes arquiteturas das cultivares existentes no mercado, é necessária uma combinação entre cultivar e espaçamento, os quais podem proporcionar maior produtividade e rentabilidade para o cafeicultor, simplesmente pela escolha correta do espaçamento (Pereira *et al.*, 2022).

A escolha dos espaçamentos de plantio requer cuidado, pois cada opção apresenta vantagens e desvantagens em relação à rentabilidade. Em espaçamentos mais largos, a densidade de plantas por área é reduzida, resultando em custos mais baixos para a aquisição de mudas e uma operação de desbrota menos onerosa devido ao menor número de plantas. Além disso, é importante considerar que espaçamentos mais adensados podem aumentar a propagação de doenças devido à maior umidade e à menor ventilação na copa. Por outro lado, em espaçamentos mais amplos, há o risco de ocorrência de insetos ou pragas que se proliferam em ambientes mais arejados (Pereira *et al.*, 2011).

Outro aspecto a ser considerado em espaçamentos mais adensados, as plantas tendem a crescer mais verticalmente, podendo dificultar atividades como colheita, tratos culturais e a aplicação de defensivos agrícolas, conforme observado por Pereira *et al.* (2011). No entanto, os mesmos autores também constataram que, em espaçamentos mais próximos entre plantas, os cafeeiros apresentaram um diâmetro de copa menor. Isso viabiliza o cultivo em espaçamentos entre linhas mais densos, o que poderia resultar em maior produtividade devido ao aumento do número de plantas por área plantada.

A utilização de espaçamentos mais estreitos implica redução na produção por planta, mas pode aumentar a produtividade por área, minimizando o estresse das plantas, que por sua vez, reduz o desgaste pós-colheita e a bienalidade da produção. Esses espaçamentos

menores também facilitam a mecanização, possibilitando a aplicação eficiente de insumos e cobrindo o solo mais rapidamente, reduzindo a ocorrência de erosão e o crescimento de plantas daninhas, conforme destacado por Matiello *et al.* (2016). Em estudos conduzidos por Silveira *et al.* (2018), observaram que espaçamentos entre plantas de 0,50 m a 0,70 m, houve uma maior porcentagem de grãos chatos e uma menor porcentagem de grãos moça em comparação com espaçamentos de 0,80 m e 1,00 m.

Diversas pesquisas também constataram rendimentos mais elevados em arranjos de plantas mais adensados. Em um estudo que analisou a variedade Catuaí Vermelho IAC 99 nas safras de 2004 a 2011, verificou-se que os espaçamentos de 0,25 m, 0,50 m e 0,75 m resultaram em maior produtividade em comparação com 1,00 m (Andrade *et al.*, 2014). Em outra pesquisa que avaliou as safras de 2006, 2007 e 2008, observou-se que as variedades Obatã IAC 1669-20, Tupi IAC 1669-33 e Catuaí Vermelho IAC 144 apresentaram maior produtividade a 0,50 m, menor a 1,00 m e rendimentos intermediários a 0,70 m e 0,80 m (Silveira *et al.*, 2018).

Vários fatores podem explicar esses rendimentos superiores em espaçamentos mais estreitos entre as plantas. Um dos principais é o aumento no número de plantas por hectare. No entanto, características morfológicas específicas de cada cultivar, como altura e diâmetro da planta, formato e estrutura da copa, ramificação plagiotrópica e tamanho das folhas, também desempenham um papel importante. Esses aspectos podem influenciar a intensidade de luz que atinge o interior da planta, resultando em um aumento ou redução na indução floral.

A cultivar IPR 102, possui intensa ramificação plagiotrópica e uma copa mais fechada; o espaçamento mais amplo de 0,60 m contribui para uma maior produtividade, possibilitando uma maior entrada de luz no interior da planta (Pereira *et al.*, 2022).

Matiello *et al.* (2016) recomendam, para *C. arabica*, espaçamentos entre plantas de 0,50 m a 0,70 m, com uma muda por cova. Esses autores também afirmam que espaçamentos mais estreitos são apropriados para regiões mais quentes e para variedades menos vigorosas, com diâmetro de copa mais estreito e estrutura mais aberta.

Em contrapartida, cultivares com uma copa mais fechada podem apresentar menor produtividade se o espaçamento entre plantas for excessivamente amplo, pois isso reduz o número de plantas por hectare, mas também pode levar a um esgotamento nutricional devido à produção excessiva por planta a longo prazo.

Portanto, a escolha adequada dos espaçamentos de plantio é decisiva para otimizar a produtividade, considerando as características específicas das cultivares e as condições ambientais da região. A busca pelo equilíbrio entre o número de plantas, a arquitetura das cultivares e as práticas de manejo adequadas é fundamental para maximizar a eficiência da cafeicultura.

2.7 COLHEITA

A colheita e pós-colheita constituem uma das operações mais importantes e onerosas na produção de café, do ponto de vista econômico e social, devido à intensa utilização de mão de obra, resultante da falta de mecanização nessa etapa. A colheita manual demanda tempo excessivo e mão de obra, elevando os custos de produção e inviabilizando a atividade cafeeira em algumas regiões (Cirillo, 2007). Optar pela colheita manual pode representar até 40% dos custos totais de produção de cada saca de café (Matiello *et al.*, 2016).

A operação de colheita manual envolve a retirada dos frutos da planta, seja por derriça ou a dedo, sobre panos, peneiras, cestos ou no solo, e seu subsequente recolhimento por meio de ajuntamento, rastelação, assopramento ou sucção, além da abanação para separar os frutos de resíduos como folhas, ciscos e galhos (Matiello *et al.*, 2016).

Nos últimos anos, observa-se um agravamento da escassez de mão de obra durante a colheita de café, afetando a maioria das regiões produtoras. Acredita-se que apenas por meio da mecanização da lavoura será possível superar essas dificuldades (Teixeira *et al.*, 2015). Considerando a importância econômica e social dessa atividade para a maioria das regiões produtoras, percebe-se que esse problema é mais sério do que aparenta. Se a situação persistir, sem alternativas para a mecanização da cafeicultura, existe o risco de desarticulação de toda uma cadeia econômica, resultando em vazio socioeconômico com sérias consequências para as cidades brasileiras e para o país (Teixeira *et al.*, 2015).

Em regiões de topografia plana, existe a opção do uso de máquinas colhedoras, substituindo a mão de obra nas lavouras durante a colheita. Entretanto, em áreas de topografia acidentada, o problema persiste devido à falta de máquinas capazes de realizar a colheita com segurança para o operador, especialmente em áreas mais inclinadas. Além disso, nessas regiões, predominam propriedades de agricultura familiar, com áreas de até 50 hectares, o que pressupõe baixa capacidade de investimento. Nesse contexto, é necessária a adoção de máquinas de menor custo ou a formação de cooperativas de produtores para viabilizar a

aquisição do maquinário (Teixeira *et al.*, 2015).

A colheita do café é mais desafiadora quando comparada à colheita de cereais, devido à arquitetura da planta, à desuniformidade na maturação dos frutos e à alta umidade (Ferraz *et al.*, 2012).

Na década de 1970, iniciou-se no Brasil a colheita mecanizada do café, crescendo gradualmente devido às dificuldades e ao alto custo da mão de obra operacional e social. Nos últimos anos, observa-se uma nova expansão no uso da colheita mecanizada, impulsionada por novas tecnologias e diversas opções de colhedoras e recolhedoras de café. Atualmente, cerca de 800 mil hectares são colhidos anualmente de forma mecanizada, divididos entre fazendas pequenas, médias e grandes em regiões planas e onduladas (Matiello *et al.*, 2016).

A colheita mecanizada é realizada por colhedoras autopropelidas que possuem motorização própria para locomoção e acionamento dos dispositivos. Operam a cavaleiro sobre a linha de café, realizando derriça em linha, recolhimento e ventilação dos grãos. As colhedoras de arrasto, acopladas ao trator, atuam de maneira semelhante, derriçando, recolhendo e ventilando os frutos. Ambos os tipos de colhedoras têm o mesmo princípio de funcionamento, equipadas com cilindros verticais oscilantes que possuem varetas flexíveis feitas de diversos materiais, como nylon, fibras de vidro e carbono, envolvendo as plantas lateralmente para derriçar os frutos por meio da vibração (Silva *et al.*, 2010).

2.8 FORÇA DE DESPRENDIMENTO DOS FRUTOS – FDF

O desprendimento dos frutos de café ocorre quando as forças inerciais resultantes do movimento do fruto se tornam superiores à força de tração requerida para provocar o desprendimento (Parchomchuk; Cooke, 1971). A análise da força de desprendimento dos frutos é importante, pois algumas cultivares exigem uma força maior para a remoção dos frutos, enquanto outras cultivares necessitam de uma força menor, influenciando diretamente na eficiência e facilidade da colheita (Crisoto; Nagao, 1991).

Além da variabilidade genética, outros fatores podem influenciar na força de desprendimento dos frutos (FDF), como os estágios de maturação dos frutos de café, tamanho dos frutos e composição química, umidade e condições nutricionais do solo. A FDF está diretamente relacionada ao estágio de maturação; frutos cerejas apresentam menor resistência ao desprendimento, enquanto frutos verdes exigem uma força maior para serem colhidos

(Crisoto; Nagao, 1991; Silva *et al.*, 2010).

Os cafeicultores enfrentam grande dificuldade ao definir o melhor momento de realizar a colheita, devido à desuniformidade da maturação dos frutos, pois frutos verdes necessitam de uma maior FDF que os frutos cerejas (Tongumpai, 1993; Silva *et al.*, 2010). Além do estágio de maturação, foi observado que existem diferenças significativas na FDF entre cultivares. Os frutos de 'Mundo Novo IAC 376-4' e 'Catuaí Vermelho IAC 99' foram mais fáceis de serem colhidos do que 'Icatu amarelo IAC 3282', tanto em estágio verde quanto no estágio cereja (Silva *et al.*, 2010).

Aliado ao estágio de maturação dos frutos, os cafeicultores que realizam a colheita mecanizada têm dificuldade de definir a vibração e velocidade adequadas no qual as colhedoras de café devem operar (Ferraz *et al.*, 2014). Segundo Silva *et al.* (2013), é através da FDF que os cafeicultores podem ter um parâmetro objetivo na decisão do início da colheita mecanizada e seletiva do café, sendo um fator para o gerenciamento da colheita mecanizada.

As condições climáticas também influenciam a FDF, por exemplo, períodos de chuva intensa ou alta umidade foram associados a uma redução na FDF. Esses resultados indicam a importância de considerar o estágio de maturação dos frutos e as condições climáticas ao programar a colheita dos cafeeiros. Uma colheita realizada no momento adequado, levando em conta a facilidade de desprendimento dos frutos, pode contribuir para a obtenção de uma colheita mais eficiente e de frutos completamente maduros (Silva *et al.*, 2010).

2.9 METODOLOGIAS DE ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O estudo adequado das relações entre uma variável dependente contínua e uma ou mais variáveis independentes, é apurado pelo suporte dos modelos estatísticos (Duchateau; Janssen, 1997). A caracterização adequada dos modelos e seus parâmetros é importante para a correta tomada de decisão (Duarte, 2010). No entanto essa caracterização é um dos grandes obstáculos na área do melhoramento genético (Duarte; Vencovsky, 2001). Definir os efeitos como fixos ou aleatórios é um bom parâmetro para a aplicação da metodologia ideal (Resende, 2002b). O modelo é classificado como aleatório quando todos os efeitos do modelo estatístico são aleatórios, exceto a média geral que é fixa. Já o modelo fixo contém todos os efeitos do modelo estatístico como fixo, exceto o erro que sempre é aleatório (Cruz; Regazzi; Carneiro, 2012).

Os melhoristas de plantas, por muitos anos sustentaram suas decisões no

ajuste de modelos fixos relacionados com a análise de variância (ANOVA) e análise de regressão (Resende, 2004; Duarte, 2010). Entretanto, essas técnicas possuem restrições na análise de genótipos aparentados e dados desbalanceados. Além de desvantagens como a falta de acurácia nas predições de valores genéticos, devido a imprecisão das estimativas dos componentes de variâncias (Resende, 2007). Na área do melhoramento de plantas é primordial que os efeitos genéticos sejam considerados aleatórios, ou seja, os modelos devem ser sempre aleatórios ou mistos (Resende, 2004). Além disso, a predição dos valores genéticos de candidatos a seleção é um grande problema do melhoramento genético, pois os componentes de variância conhecidos ou estimados devem ser precisos (Resende, 2004; Duarte, 2010). Para melhorar essa precisão é necessário que as análises da avaliação dos genótipos abordem a perspectivas estatísticas e genéticas, sendo assim, nas avaliações de campo além de estimar as médias fenotípicas é desejável estimar os valores genotípicos também (Resende; Duarte, 2007).

A metodologia de modelo misto - *Restricted Maximum Likelihood / Best Linear Unbiased Prediction* (REML/BLUP) é uma alternativa para experimentos com dados desbalanceados e delineamentos não ortogonais, pois os efeitos de tratamentos são considerados aleatórios, sendo assim fornecem resultados mais realistas (Duarte; Vencovsky, 2001; Duarte, 2010). Quando comparado com modelo fixo, o uso de modelo misto demonstra que é possível acrescentar dados para melhor prever o valor genético em tratamentos com parcela perdida, sem repetição, dados desbalanceados; ou de genótipos não avaliados, mas ainda fazendo parte da mesma população (Duarte, 2010). Segundo Resende (2004) o procedimento REML/BLUP associado a um modelo linear misto oferece ótima predição de valores genéticos e estimação de componentes de variância de candidatos a seleção.

A utilização do REML possibilita a obtenção de maior eficiência na estratégia de seleção, pois utiliza modelos estatísticos à nível de indivíduos, obtendo sucesso no melhoramento de espécies perenes, como café arábica (Resende, 2002a; Petek *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2011).

O BLUP é o procedimento mais eficaz para prever valores genéticos de variáveis aleatórias (Henderson, 1984; Resende, 2002a). Ele utiliza estimativas de variâncias obtidas pelo método da máxima verossimilhança restrita ou residual (REML - *Restricted Maximum Likelihood*) (Resende, 2016).

Segundo Resende (2004), o uso da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) apresenta vantagens em comparação com a metodologia de quadrados mínimos

(ANOVA), sendo elas: alta acurácia na produção de estimativas ou predições de efeitos de tratamentos em experimentos com dados perdidos; predições ajustadas dos efeitos aleatórios em direção a média geral, penalizando as estimativas baseadas em amostras reduzidas; possibilidade de ajuste de diferentes variâncias para cada grupo de tratamentos, possibilitando considerar variâncias heterogêneas; a modelagem da estrutura de correlação em experimentos com dependência espacial, medidas repetidas e, em múltiplos experimentos para conduzir a estimativas mais precisas; condução de resultados mais conclusivos para a inferência exigida, quando a estrutura dos dados é hierárquica ou em multiníveis.

Diferentemente do que acontece na metodologia ANOVA, na metodologia de modelos mistos, o teste de significância dos efeitos aleatórios é realizado pelo teste da razão de verossimilhança, denominado LRT – *Likelihood Ratio Test*, por meio da análise *deviance*, também denominada de ANADEV (Resende, 2007; 2016). O valor da *deviance* deriva entre as verossimilhanças do modelo saturado (ou completo) e o modelo reduzido. A estimativa de herdabilidade e seu desvio padrão é uma outra opção para avaliar a significância dos efeitos genéticos. Com esses valores é possível criar um intervalo de confiança e inferir sobre a significância da variabilidade genotípica (Resende, 2007). Através da significância desse efeito é possível inferir sobre a variabilidade genética dos tratamentos e as possíveis seleções (Nielsen *et al.*, 2014).

3 ARTIGO A: PARAMETROS GENÉTICOS E VALORES GENOTÍPICOS DA FORÇA DE DESPRENDIMENTO DOS FRUTOS EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA.

3.1 RESUMO

O cultivo do café envolve a colheita, etapa mais onerosa do custo de produção, que pode ser feita manual ou mecanicamente. A colheita mecânica reduz custos e pode aumentar os lucros, e a força necessária para desprender os frutos pode variar entre estágios de maturação e as variedades de café. Cultivares com menor força de desprendimento dos frutos facilitam a colheita, mas podem sofrer danos pela chuva, prejudicando a qualidade dos frutos. Por outro lado, cultivares com maior força de desprendimento dos frutos suportam melhor a chuva, permitindo que os frutos sequem na planta, especialmente em regiões de climas secos durante o período de colheita. O IDR-Paraná possui diversas cultivares de café arábica, provenientes de diferentes origens e com potencial para apresentar distintas forças de desprendimento dos frutos (FDF). Estudos genéticos permitem identificar características hereditárias e selecionar genótipos superiores, prevendo seus valores genotípicos. O modelo misto REML/BLUP é eficaz e oferece estimativas precisas de componentes de variância e parâmetros genéticos. O objetivo deste estudo foi estimar parâmetros genéticos e prever valores genotípicos em cultivares de café arábica para FDF e características morfológicas do fruto. O experimento foi realizado em Mandaguari, PR, Brasil, em DBC com três repetições de três plantas por parcela, em esquema de parcelas subdivididas. Foram avaliadas FDF, tamanho do fruto (TF), comprimento do pedúnculo (CP) e diâmetro do pedúnculo (DP) em seis cultivares de café arábica em espaçamentos de 0,60 m e 0,90 m entre plantas. A análise estatística revelou significância genética e ambiental para características como FDF, TF, CP) e DP. A variabilidade genética foi alta para FDF e moderada para os demais caracteres. As estimativas de herdabilidade indicaram que as características estudadas são controladas por poucos genes, sendo o comprimento do pedúnculo influenciado por um maior número de genes. Os resultados mostraram que as cultivares IPR 106 e IPR 98 são mais fáceis de colher, enquanto a IPR 103 é mais resistente. Além disso, frutos com menor comprimento de pedúnculo são mais fáceis de desprender. O estudo demonstrou variabilidade genética significativa entre as cultivares de café arábica para características relacionadas à colheita. Os resultados são importantes para orientar os cafeicultores na escolha das variedades mais adequadas às condições específicas de cada região de cultivo, visando melhorar a eficiência da colheita e a qualidade do café.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, colheita, modelos mistos, REML/BLUP.

3.2 ABSTRACT

Coffee cultivation involves harvesting, the most costly stage of production, which can be done manually or mechanically. Mechanical harvesting reduces costs and can increase profits, but the force required to detach the fruits can vary between ripening stages and coffee varieties. Cultivars with lower fruit detachment force facilitate harvesting but may suffer damage from rain, compromising fruit quality. On the other hand, cultivars with higher fruit detachment force better withstand rain, allowing the fruits to dry on the plant, especially in regions with dry climates during the harvesting period. IDR-Paranáhas various arabica coffee cultivars from different origins with the potential to exhibit distinct fruit detachment forces (FDF). Genetic studies allow the identification of hereditary characteristics and the selection of superior genotypes, predicting their genotypic values. The mixed model REML/BLUP is effective and provides precise estimates of variance components and genetic parameters. The objective of this study was to estimate genetic parameters and predict genotypic values in arabica coffee cultivars for FDF and morphological fruit characteristics. The experiment was conducted in Mandaguari, PR, Brazil, using a randomized complete block design with three repetitions of three plants per plot, in a split-plot scheme. FDF, fruit size (TF), peduncle length (CP), and peduncle diameter (DP) were evaluated in six arabica coffee cultivars at plant spacings of 0.60 m and 0.90 m. Statistical analysis revealed genetic and environmental significance for traits such as FDF, TF, CP, and DP. Genetic variability was high for FDF and moderate for other traits. Heritability estimates indicated that the studied traits are controlled by few genes, with peduncle length influenced by a larger number of genes. Results showed that cultivars IPR 106 and IPR 98 are easier to harvest, while IPR 103 is more resistant. Additionally, fruits with shorter peduncle length are easier to detach. The study demonstrated significant genetic variability among arabica coffee cultivars for harvesting-related traits. These results are important for guiding coffee growers in selecting the most suitable varieties for the specific conditions of each cultivation region, aiming to improve harvesting efficiency and coffee quality.

Keywords: *Coffea arabica*, harvesting, mixed models, REML/BLUP.

3.3 INTRODUÇÃO

A colheita do café é a etapa mais onerosa no custo de produção, podendo ser executada de forma manual ou mecanizada. A colheita mecanizada, em especial, contribui significativamente para a redução dos custos e o aumento da rentabilidade do cafeicultor. Em ambos os métodos, é necessário aplicar força para desprendimento dos frutos dos ramos da planta. Apesar de estudos indicarem divergências nas Forças de Desprendimento dos Frutos (FDF) em diferentes estágios de maturação, a investigação sobre tais disparidades entre variedades de café ainda é limitada (Cirillo, 2007; Matiello *et al.*, 2016).

A utilização de cultivares com menor FDF pode facilitar tanto a colheita manual quanto a mecanizada, permitindo uma colheita mais ágil e com menor incidência de danos mecânicos às plantas. No entanto, os frutos de cultivares com menor FDF tendem a cair mais facilmente com a chuva durante a colheita, prejudicando a qualidade da bebida. Em contrapartida, cultivares com maior FDF apresentam frutos mais resistentes ao desprendimento, conferindo a vantagem de suportar melhor as chuvas e permitir que os frutos sequem na planta, especialmente em regiões de clima mais seco durante a colheita (Cristo; Nagao, 1991; Silva *et al.*, 2010).

Por essas razões, é importante compreender as FDF das cultivares para orientar os cafeicultores na escolha das variedades mais apropriadas, considerando as condições específicas de cada região de cultivo. O programa de melhoramento de café, do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná) possui diversas cultivares de café arábica, provenientes de diferentes origens e com potencial para apresentar distintas FDF.

A análise de parâmetros genéticos estatísticos possibilita a identificação de características hereditárias e da variabilidade existente, facilitando a avaliação e seleção de genótipos superiores (Pereira *et al.*, 2013b; Cruz; Carneiro; Regazzi, 2014). Além disso, a utilização de procedimentos ótimos para a estimativa precisa de componentes de variância e parâmetros genéticos favorece a caracterização de genótipos por meio da predição de valores genotípicos (Resende, 2004). Os valores genotípicos preditos potencializam a seleção genética, pois, em características com efeitos quantitativos, a influência ambiental incorporada na estimativa das médias fenotípicas é indesejável (Resende; Duarte, 2007). No entanto, para eliminar os efeitos ambientais residuais presentes nos dados fenotípicos, é ideal considerar o

efeito genotípico como aleatório, forçando as previsões em direção à média geral, por meio do *shrinkage* (Resende, 2004).

A utilização da metodologia de modelo misto *Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction* (REML/BLUP), ao considerar o efeito genotípico como aleatório, proporciona resultados mais realistas na predição do valor genético em situações de dados desbalanceados (Duarte; Vencovsky, 2001; Duarte, 2010). O método REML possibilita a obtenção das estimativas dos componentes de variância necessários ao BLUP, permitindo a predição imparcial de valores genéticos para a avaliação e seleção genética (Henderson, 1984; Resende, 2016).

Diversos estudos no melhoramento genético de café utilizaram a metodologia de modelos mistos via REML/BLUP para estimar parâmetros genéticos e prever valores genéticos. Contudo, no café arábica, não existem estudos com a estimação de parâmetros genéticos e a predição de valores genotípicos via REML/BLUP para a característica força de desprendimento de frutos.

O objetivo deste estudo foi estimar parâmetros genéticos e prever valores genotípicos em cultivares de café arábica para FDF e características morfológicas do fruto.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Em dezembro de 2013, o experimento foi instalado no espaçamento entre linhas de 2,75 m, no Centro Tecnológico da COCARI - Cooperativa Agropecuária e Industrial, localizado no município de Mandaguari, no estado do Paraná, Brasil, a uma altitude de 710 metros acima do nível do mar e coordenadas geográficas de 23°30.525' S de latitude e 51° 42.860' W de longitude. As médias anuais de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação são, respectivamente, de 20,3 °C, variando de 70 a 75%, e entre 1400 a 1600 mm. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é classificado como Cfa, caracterizado por um clima temperado úmido com verões quentes.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com três repetições de três plantas por parcela, em esquema de parcelas subdivididas, visando avaliar a força de desprendimento dos frutos – FDF, tamanho do fruto – TF, comprimento do pedúnculo – CP e diâmetro do pedúnculo – DC de seis cultivares (Tabela 1) em dois espaçamentos entre plantas (0,60 e 0,90 m). As cultivares foram as parcelas e os espaçamentos entre plantas as subparcelas.

Tabela 1. Cultivares de café arábica avaliadas em Mandaguari-PR, avaliadas para força de desprendimento dos frutos, tamanho do fruto, comprimento do pedúnculo e diâmetro do pedúnculo.

Trat	Cultivar	Origem
1	IPR 98	Villa Sarchi CIFC 971/10 x HdT CIFC 832/2 ^(1, 2)
2	IPR 99	Villa Sarchi CIFC 971/10 x HdT CIFC 832/2 ^(1, 2)
3	IPR 103	Catuaí V. IAC 99 x Icatu de porte baixo ⁽²⁾
4	IPR 106	Icatu IAC 925 x material desconhecido ⁽²⁾
5	IPR 107	IAPAR 59 x Mundo Novo IAC 376-4 ⁽²⁾
6	Mundo Novo IAC 376-4	Sumatra x Bourbon Vermelho ⁽³⁾

⁽¹⁾ HdT = Híbrido de Timor.

⁽²⁾ Cultivares de *C. arabica* com introgressão de *C. canephora*.

⁽³⁾ *C. arabica* puro.

O experimento foi conduzido em condições de sequeiro, sem irrigação suplementar e durante todo o período de condução do experimento, as plantas receberam os tratos culturais necessários, conforme Matiello *et al.* (2016). Desbrotas foram realizadas para que as plantas fossem conduzidas com uma única haste principal.

3.4.1 Caracteres Avaliados

Para a avaliação de caracteres, foi considerada a safra de 2021, onde as avaliações ocorreram nos meses de junho e julho, à medida que as cultivares atingiam o estágio de maturação cereja.

Para o caracter FDF, as plantas foram divididas em terço superior, médio e inferior, nos dois lados do cafeeiro visando obter uma representatividade de toda a planta. Em cada lado e em cada terço foram avaliados um ramo aleatório, obtendo o valor de FDF de dez frutos por ramo e em três plantas de cada cultivar, totalizando 60 frutos por planta e 180 frutos por parcela. No total foram avaliadas seis parcelas por genótipo, sendo três para o espaçamento de 0,60 m e três para o 0,90 m.

Para mensurar a variável FDF foi utilizado o dinamômetro...ESCREVER COMO FOI REALIZADO A AVALIAÇÃO DO FDF (COMO NA APRESENTAÇÃO), assim como foi descrito para as variáveis CP e DP (abaixo).

Para as avaliações dos caracteres tamanho do fruto (TF), comprimento do

pedúnculo (CP) e diâmetro do pedúnculo (DP) foram coletadas uma outra amostra de 30 frutos (no estádio cereja) por parcela nas mesmas seis posições da planta da avaliação do FDF e, desta forma, foram coletados cinco frutos por posição. A parcela foi constituída de uma única planta e os dados de cada parcela foi obtida pela média das seis posições.

Para mensurar as variáveis CP e DP foi utilizando um paquímetro com medições em mm^{-1} , enquanto para TF foram medidos o comprimento e largura dos frutos e posteriormente pela fórmula $v = \frac{4}{3} \pi abc$, o tamanho foi mensurado em volume expresso em cm^3 (Sodré, 2020).

3.4.2 Análise estatística

Os dados obtidos no experimento foram analisados pelo *software* SELEGEN – REML/BLUP. O programa foi utilizado para estimar os componentes de variância pelo método REML (máxima verossimilhança restrita) e realizar a predição dos valores genotípicos pelo BLUP (melhor predição linear não viciada).

Na análise conjunta dos dados de FDF, TF, CP e DP foram usados o modelo 53 do Selegen para experimentos em delineamento incompleto em vários locais e em várias observações por parcela, representado por:

$$y = Xr + Zg + Wp + Ti + Sb + e,$$

onde, y é o vetor dos dados fenotípicos, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), b é o vetor de efeitos de blocos (assumidos como aleatórios), i é vetor dos efeitos da interação genótipos x ambientes (aleatórios), p é o vetor dos efeitos de parcela (aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

As letras maiúsculas X, Z, W, T e S representam as matrizes de incidência para os efeitos r , g e p , respectivamente.

Para os modelos estatísticos o software calculou o logaritmo do ponto de máximo da função de verossimilhança residual (L), para os modelos com e sem o efeito a ser testado (reduzido), para a obtenção da *deviance* ($D = -2 \text{Log } L$) de cada um deles. A diferença entre as *deviance* obtida pelos modelos estatísticos completo e reduzidos permitiu estimar a razão de verossimilhança (LR). Dessa forma, os valores de LR foram testados, via LRT (*Likelihood Ratio Test*), para analisar a significância dos efeitos aleatórios pelo teste de qui-

quadrado com 1 grau de liberdade e nível de significância igual a 1% e 5% (Resende, 2007; 2016).

Os valores de variância fenotípica individual (σ_f^2), herdabilidade no sentido amplo (h_g^2), herdabilidade ajustada da média de genótipo, assumindo sobrevivência completa (h_{mg}^2), acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa (Acgen), coeficiente de determinação do efeito das parcelas (c_{parc}^2), coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes (c_{int}^2), coeficiente de determinação dos efeitos de blocos (c_{bloc}^2), correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes (rgloc), foram estimados para cada um dos caracteres pelas respectivas expressões (Resende, 2002):

$$\sigma_f^2 = \sigma_g^2 + \sigma_{parc}^2 + \sigma_{int}^2 + \sigma_{bloc}^2 + \sigma_e^2,$$

onde σ_g^2 é a variância genotípica, σ_{parc}^2 é a variância entre as parcelas, σ_{int}^2 é a variância da interação genótipos ambientes, σ_{bloc}^2 é a variância ambiental entre blocos e σ_e^2 é a variância residual.

$$h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{(\sigma_g^2 + \sigma_{parc}^2 + \sigma_{int}^2 + \sigma_{bloc}^2 + \sigma_e^2)}$$

$$h_{mg}^2 = \frac{\sigma_g^2}{\left(\sigma_g^2 + \frac{\sigma_{parc}^2}{r} + \frac{\sigma_{int}^2}{b \cdot r} + \frac{2}{t \cdot b \cdot r}\right)}$$

$$c_{parc}^2 = \frac{\sigma_{parc}^2}{\sigma_f^2}$$

$$c_{int}^2 = \frac{\sigma_{int}^2}{\sigma_f^2}$$

$$c_{bloc}^2 = \frac{\sigma_{bloc}^2}{\sigma_f^2}$$

em que h_g^2 = herdabilidade individual no sentido amplo, h_{mg}^2 = herdabilidade ajustada da média de genótipo, assumindo sobrevivência completa c_{parc}^2 = coeficiente de determinação dos efeitos de parcela, c_{int}^2 = coeficiente de determinação dos efeitos da interação

genótipos x ambientes, c_{bloc}^2 = coeficiente de determinação dos efeitos de blocos, σ_g^2 é a variância genotípica, σ_{parc}^2 é a variância entre as parcelas, σ_{int}^2 é a variância da interação genótipos ambientes, σ_{bloc}^2 é a variância ambiental entre blocos e σ_e^2 é a variância residual.

O coeficiente de variação genotípica CV_{gi} (%), e o coeficiente de variação residual CV_e (%) foram estimados para cada um dos caracteres pelas respectivas expressões (RESENDE *et al.*, 2014):

$$CV_{gi} \% = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\mu} \cdot 100$$

$$CV_e \% = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\mu} \cdot 100$$

A existência de diferenças significativas entre as cultivares foi analisada por meio da sobreposição do limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) e o limite superior do intervalo de confiança (LSIC) dos valores genéticos preditos, para cada uma das quatro variáveis avaliadas.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos valores de LRT (Tabela 2) foi possível observar significância para o efeito de genótipo para as variáveis FDF, TF, DP e CP. Esses resultados revelam que existe variabilidade genética para essas características avaliadas em seis cultivares de café arábica, portanto, as estimativas de parâmetros genéticos foram significativamente diferentes de zero.

Pelos valores correspondentes ao efeito de parcela, foi possível observar significância para as variáveis FDF, TF, DP e CP. Esses resultados de significância do efeito de parcelas indicam que houve variabilidade entre as parcelas, sob uma possível influência ambiental.

Para os valores correspondentes ao efeito de blocos, foi possível observar significância apenas para as características de FDF e não significância para as demais. Assim, para as variáveis TF, DP e CP foi possível verificar que pela metodologia de coleta dos frutos nas seis posições a influência ambiental não diferiu entre os blocos. Por outro lado, o efeito de blocos significativo para FDF indica que ocorreu influência ambiental entre os blocos,

provavelmente, devido ao FDF ser mais influenciado do que as outras variáveis quando os frutos são coletados em diferentes posições da planta. Em um estudo, verificou-se que frutos expostos à face leste e oeste não tiveram diferenças significativas para FDF no estágio de maturação cereja (Ferraz *et al.*, 2014) e nem nas posições superior e inferior da planta (Ferreira Júnior *et al.*, 2018). No entanto, essas diferenças na FDF entre os blocos em nosso estudo podem ter ocorrido devido à desuniformidade na umidade do solo nos diferentes blocos e à umidade dos frutos nas diferentes posições da planta (Silva *et al.*, 2016).

Em relação ao efeito da interação genótipos x espaçamentos, para as características FDF, TF, DP e CP não houve significância para esse efeito, portanto, o espaçamento entre plantas não influenciou nos caracteres avaliados (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise de deviance (ANADEV): Deviance (Dev) e teste da razão da verossimilhança (LRT) para os efeitos de genótipos, de parcela, de blocos, da interação genótipos x espaçamentos (GxE) e do modelo completo para as variáveis avaliadas em seis cultivares de *Coffea arabica* plantadas nos espaçamentos de 2,75 m x 0,60 m e 2,75 m x 0,90 m.

Variáveis	Efeito	Dev	LRT
FDF	Genótipos	11885,76	12,01 *
	Parcela	11979,37	105,62*
	blocos	11879,62	5,87 **
	GxE	11873,75	0,00 ns
	Modelo completo	11873,75	
TF	Genótipos	2273,08	7,12 *
	Parcela	2342,43	76,47 *
	blocos	2267,11	1,15 ns
	GxE	2265,96	0,00 ns
	Modelo completo	2265,96	
DP	Genótipos	-5486,66	11,43 *
	Parcela	-5436,93	61,16 *
	blocos	-5498,05	0,04 ns
	GxE	-5498,08	0,01 ns
	Modelo completo	-5498,09	
CP	Genótipos	-3942,90	5,67 *
	Parcela	-3919,54	29,03*
	blocos	-3948,57	0,00 ns
	GxE	-3948,57	0,00 ns
	Modelo completo	-3948,57	

FDF: Força de desprendimento dos frutos; TF: tamanho do fruto; DP: diâmetro do pedúnculo; CP: comprimento do pedúnculo,

*, ** e ns: resultados significativos ao nível de 1% e 5% e não-significativos pelo teste de qui-quadrado.

A magnitude da variabilidade ou a proporção genotípica das características avaliadas no nosso estudo, podem ser analisadas pelos valores de herdabilidade (Tabela 3). De acordo com Resende (2002), magnitudes de herdabilidades com valores abaixo de 0,15 são consideradas baixas, entre 0,15 e 0,50 são moderadas e acima de 0,50 são altas.

Tabela 3 – Estimativas dos componentes de variância (REML individual) para os caracteres de força de desprendimento dos frutos (FDF), tamanho do fruto (TF), diâmetro do pedúnculo (DP) e comprimento do pedúnculo (CP) avaliadas em seis cultivares de *Coffea arabica*.

Parâmetros	Estimativa (individual)			
	FDF	TF	DP	CP
σ_g^2	1,9001	1,2673	0,0010	0,0008
σ_{parc}^2	0,1599	0,6182	0,0003	0,0008
σ_{int}^2	0,0670	0,0876	0,0000	0,0000
σ_{bloc}^2	-1,0683	0,4638	0,0003	0,0012
σ_e^2	3,2048	2,7826	0,0016	0,0073
σ_f^2	4,2636	5,2195	0,0031	0,0102
h_g^2	0,4457	0,2428	0,3074	0,0755
h_{mg}^2	0,9649	0,8702	0,9254	0,7463
Acgen	0,9823	0,9329	0,9620	0,8639
c_{parc}^2	0,0375	0,1184	0,0957	0,0833
c_{int}^2	0,0157	0,0168	0,0022	0,0017
c_{bloc}^2	-0,2506	0,0889	0,0850	0,1199
Rg loc	0,9659	0,9354	0,9927	0,9777
CV_{gi} (%)	22,8365	13,1839	19,4149	7,7575
CV_e (%)	7,6517	10,9310	13,1956	10,8920
μ	6,0362	8,5388	0,1594	0,3570

σ^2 : variância genotípica; σ^2 : variância ambiental entre as parcelas; σ^2 : variância da interação genótipos ambientes; σ^2 : variância ambiental entre blocos; σ^2 : variância residual; σ_f^2 : variância fenotípica individual; h_g^2 : herdabilidade individual no sentido amplo; h_{mg}^2 : herdabilidade ajustada da média de genótipo, assumindo sobrevivência completa; Acgen: acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa; c_{parc}^2 : coeficiente de determinação do efeito das parcelas; c_{int}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes; c_{bloc}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de blocos Rg loc: correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes; CV_{gi} (%): coeficiente de variação genotípica; CV_e (%): coeficiente de variação residual; μ : média geral do experimento.

Em estudos com progênes de *C. arabica* para as variáveis produção e caracteres morfológicos relacionados à produção foram observadas herdabilidades individuais no sentido amplo (h_g^2) de magnitudes baixa e moderada, enquanto para herdabilidades da média de genótipo (h_{mg}^2) foram moderadas e altas (Walyaro; Van Der Vossen, 1979). Em cultivares

de café arábica foram encontradas herdabilidades individuais no sentido amplo de baixa magnitude para as variáveis altura da planta e diâmetro do caule, porém para essas mesmas variáveis foram encontrados herdabilidades ao nível de média dos genótipos de moderada e alta magnitudes, respectivamente (Resende *et al.*, 2001). Em progênes F4 originadas do cruzamento entre os cafeeiros Catuaí e Híbrido de Timor CIFC 2570 avaliadas para a resistência ao nematoide *Meloidogyne exigua* pela variável número de nematoides por grama de raízes, os valores das herdabilidades individuais e da média dos genótipos foram de magnitudes moderada e alta, respectivamente (Rezende *et al.*, 2017). Em acessos silvestres de cafeeiros arábicos da Etiópia, os quais possuem uma maior variabilidade genética do que das progênes F4 de Catuaí x Híbrido de Timor CIFC 2570, pela mesma variável foram encontrados valores de magnitudes altas tanto pela herdabilidade individual quanto pela média dos genótipos (Fatobene *et al.*, 2017).

No nosso estudo, os valores da h^2_{mg} foram 0,96, 0,87, 0,93 e 0,75 para FDF, TF, DP e CP, respectivamente, enquanto os valores de h^2 foram muito mais baixas, respectivamente, com os valores de 0,45, 0,24, 0,31 e 0,08. Dessa forma, a h^2 foram de magnitude alta para todas as variáveis estudadas, enquanto para h^2 foram de magnitude moderada para os caracteres de FDF, TF e DP e de baixa magnitude para CP. Os valores das herdabilidades das variáveis FDF, TF e DP são similares aos dos estudos relacionados com a resistência aos nematoides (Fatobene *et al.*, 2017; Rezende *et al.*, 2017), indicando que são caracteres menos influenciados pelo ambiente e controlados por um menor número de genes do que a variável CP e caracteres relacionados com a produção (Walyaro; Van der Vossen, 1979; Resende *et al.*, 2001). Pelo coeficiente de variação residual (CV_e) foi possível verificar que DP apresentou a maior influência ambiental, seguido de TF, CP e FDF. No entanto, para confirmar a quantidade de genes envolvidos no controle de cada característica seriam necessários efetuar estudos de herança. Uma outra explicação para os menores valores de herdabilidade para CP é a menor variabilidade genética entre as cultivares avaliadas, podendo ser maior se tivessem sido avaliados genótipos com maior variabilidade genética. A menor variabilidade de CP pode ser observada pela estimativa do coeficiente de variação genotípica (CV_{gi}) desta variável, cujo valor foi o menor quando comparado com outras variáveis (Tabela 3).

Resende e Alves (2020) verificaram que quando a herdabilidade individual é superior a 0,50, a seleção baseada somente na informação de plantas individuais é o suficiente para uma alta acurácia e, conseqüentemente, não existe vantagem nas informações da família

da progênie. A h^2_{mg} é maior do que h^2_g , pois os efeitos ambientais são minimizados pelo número de repetições e de plantas por parcela (Resende *et al.*, 2001). Em estudos em *C. arabica* é comum encontrar valores da h^2_{mg} maiores que a h^2_g (Walyaro; Van Der Vossen, 1979; Resende *et al.*, 2001; Fatobene *et al.*, 2017; Rezende *et al.*, 2017), indicando que nesses estudos as seleções tendem a ser mais eficientes pela média das progênies do que por plantas individuais. No entanto, no nosso estudo o objetivo não foi a seleção de progênies visando a obtenção de uma nova população melhorada e, assim, os resultados das herdabilidades levam a outras conclusões. Com os valores das h^2_g e h^2_{mg} é possível concluir que existe uma maior variabilidade genética entre as seis cultivares quando comparada com a variabilidade dentro das cultivares. Isto já era esperado porque as seis cultivares devem ter um alto nível de homozigose, pois são do tipo linhas puras e obtidas por meio de autofecundações sucessivas pelo método genealógico.

Pela sobreposição dos intervalos de confiança do limite superior (LSIC) e inferior (LIIC) dos valores genotípicos ($u + g$) preditos (Tabela 4) permitiram inferir que IPR 103 se diferiu estatisticamente de IPR 98 e IPR 106 para FDF, já as cultivares Mundo Novo, IPR 99 e IPR 107 não tiveram diferença estatística nem de IPR 103 e nem de IPR 98 e IPR 106. Portanto, IPR 103 se destacou com maior FDF, IPR 98 e IPR 106 com menor FDF e as cultivares Mundo Novo, IPR 99 e IPR 107 apresentaram valores intermediários.

Tabela 4 - Estimativas dos componentes da média (BLUP individual) para os caracteres de força de desprendimento dos frutos (FDF), tamanho do fruto (TF), diâmetro do pedúnculo (DP) e comprimento do pedúnculo (CP) avaliadas em seis cultivares de *Coffea arabica*, no município de Mandaguari-PR-Brasil, nos espaçamentos de plantio de 2,75 m entre linhas x 0,60 m entre plantas e 2,75 m entre linhas x 0,90 m entre plantas.

Caracteres	Cultivares	Componentes da média (BLUP individual)					
		$g^{(1)}$	$u + g^{(1)(2)}$		acurácia	LIIC ⁽¹⁾	LSIC ⁽¹⁾
FDF	IPR 103	1,6666	7,7027	a	0,9020	6,5361	8,8694
	Mundo Novo	1,0419	7,0780	ab	0,9021	5,9120	8,2441
	IPR 99	0,8266	6,8627	ab	0,9019	5,6958	8,0297
	IPR 107	-0,6469	5,3892	ab	0,9016	4,2207	6,5577
	IPR 98	-1,1830	4,8532	b	0,9012	3,6824	6,0239
	IPR 106	-1,7051	4,3310	b	0,9021	3,1651	5,4970
TF	IPR 107	1,8338	10,3725	a	0,8808	9,3277	11,4174
	Mundo Novo	0,3696	8,9083	ab	0,8808	7,8634	9,9532
	IPR 106	0,2247	8,7634	ab	0,8808	7,7185	9,8083
	IPR 99	-0,4339	8,1049	b	0,8808	7,0600	9,1498
	IPR 103	-0,7106	7,8281	b	0,8808	6,7832	8,8730
	IPR 98	-1,2835	7,2553	b	0,8771	6,1955	8,3150
DP	IPR 103	0,0432	0,2026	a	0,8993	0,1761	0,2291
	Mundo Novo	0,0178	0,1772	ab	0,8993	0,1507	0,2038

	IPR 99	0,0017	0,1612	ab	0,8993	0,1346	0,1877
	IPR 98	-0,0024	0,1570	ab	0,8968	0,1302	0,1839
	IPR 107	-0,0124	0,1470	b	0,8993	0,1205	0,1736
	IPR 106	-0,0480	0,1114	b	0,8993	0,0849	0,1380
CP	IPR 107	0,0200	0,3769	a	0,8600	0,3492	0,4046
	IPR 99	0,0174	0,3744	ab	0,8600	0,3467	0,4021
	IPR 106	0,0155	0,3725	ab	0,8600	0,3448	0,4002
	IPR 103	0,0101	0,3671	ab	0,8600	0,3394	0,3948
	Mundo Novo	-0,0180	0,3389	ab	0,8600	0,3112	0,3666
	IPR 98	-0,0450	0,3120	b	0,8505	0,2835	0,3406

⁽¹⁾ g – valor genotípico; (u + g) – valores genotípicos livres da interação; LIIC = intervalos de confiança do limite inferior; LSIC = intervalos de confiança do limite superior.

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pela da sobreposição do LIIC e o LSIC dos valores genéticos preditos. Pelos valores genotípicos de TF foi possível inferir que IPR 107 diferiu estatisticamente das cultivares IPR 99, IPR 103 e IPR 98, enquanto Mundo Novo e IPR 106 não tiveram diferenças estatísticas de IPR 107 e nem de IPR 99, IPR 103 e IPR 98. Assim, IPR 107 apresentou maior TF, IPR 99, IPR 103 e IPR 98 os menores valores de TF e Mundo Novo e IPR 106 valores intermediário.

IPR 103 apresentou o maior valor genotípico para DP e diferiu estatisticamente de IPR 107 e IPR 106, enquanto Mundo Novo, IPR 99 e IPR 98 mostraram valores intermediários de DP.

O maior valor genotípico para CP foi de IPR 107, o qual diferiu estatisticamente de IPR 98. As outras cultivares não diferiram nem de IPR 107 e nem de IPR 98.

No geral a cultivar IPR 103 apresentou maior FDF, menor TF, maior DP e CP intermediário. IPR 99 apresentou TF menor e valores intermediários de FDF, DP e CP, já IPR 107 apresentou maior TF e CP, menor DP e FDF intermediário. IPR 98 apresentou menor FDF, TF e CP, com DP intermediário. IPR 106 apresentou menor FDF e DP, já para TF e CP apresentou valores intermediários, enquanto Mundo Novo foi intermediário para todas as variáveis.

Em um experimento em campo, no município de Boa Esperança, MG, Brasil, foram encontradas diferenças significativas entre os estádios de maturação verde e cereja e entre as cultivares Catuaí Vermelho IAC 99, Mundo Novo IAC 376-4 e Icatu Precoce IAC 3282. No estádio verde, Icatu apresentou o maior FDF e diferiu estatisticamente de Catuaí Vermelho IAC 99 e Mundo Novo IAC 376-4. Já no estádio cereja, as três cultivares se diferiram estatisticamente, sendo que Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou o menor FDF, Mundo Novo IAC 376-4 teve valores intermediários e Icatu o maior FDF (SILVA *et al.*, 2010). Cultivares do

grupo Icatu, Catucaí Vermelho 20/15 e Guara possuem maior FDF e, portanto, são mais dificeis de serem colhidos (Matiello *et al.*, 2016). Catucaí Vermelho 20/15, Guara e IPR 103 so cultivares originadas do cruzamento entre Icatu e Catucaí (Sera *et al.*, 2013, 2022). Os resultados do nosso estudo corroboram com os citados anteriormente, pois IPR 103 apresentou o maior FDF e, portanto, é o mais difıcil de ser colhido. Portanto, parece que Icatu possuem genes relacionados à maior FDF, sendo que essa característica foi transferida para algumas cultivares derivadas do Icatu como é o caso do IPR 103, Catucaí Vermelho 20/15 e Guara. Um dos genitores de IPR 106 é o genótipo Icatu IAC 925 (Sera *et al.*, 2020), no entanto, a característica de maior FDF não foi selecionada durante as sucessivas gerações de autofecundação para o desenvolvimento desta cultivar. Utilizando como base os resultados do estudo de Silva *et al.* (2010), em que Catucaí Vermelho IAC 99 teve menor FDF que Mundo Novo IAC 376-4 é, provável que IPR 98 e IPR 106 tenham FDF similar ao Catucaí Vermelho IAC 99, no entanto, isso precisa ser comprovado em outros experimentos. Baseado neste mesmo estudo, é possível que IPR 99 e IPR 107 sejam mais fáceis de serem colhidos do que Icatu Precoce IAC 3282.

As correlações genoticas de 0 – 0,33, 0,34 – 0,66 e 0,67 – 1,0 são classificadas de magnitudes baixas, médias e altas, respectivamente (Resende; Alves, 2020). Portanto, pelos coeficientes de correlação genotica obtidos foi possível demonstrar que a característica FDF está altamente correlacionada com CP (Tabela 5), indicando que quanto maior o CP maior será a FDF e, conseqüentemente, será mais difıcil a colheita dos frutos. Esta mesma correlação foi positiva e média entre DP e CP. As demais variáveis não tiveram correlação entre si. Os resultados das correlações entre FDF e CP e os valores genoticos dessas variáveis corroboraram e foram mais evidentes para IPR 98, pois esta cultivar teve um dos menores FDF e o menor CP. Não existem experimentos que estudaram a associação entre características dos frutos com a FDF. No entanto, Sera *et al.* (2022) sugeriram a hipótese de que cultivares de frutos maiores seriam mais fáceis de serem colhidos, porém esta hipótese não foi confirmada com os resultados da nossa pesquisa, pois apesar da correlação entre essas variáveis ser negativa o valor foi de baixa magnitude.

Tabela 5 – Coeficientes de correlação genotica entre força de desprendimento dos frutos (FDF), tamanho do fruto (TF), diâmetro do pedúnculo (DP) e comprimento do pedúnculo (CP) em seis cultivares de *Coffea arabica*.

Caracteres	FDF	TF	DP	CP
FDF	1,0000	-0,1636 ⁽¹⁾	0,1482 ⁽¹⁾	0,8897 ⁽³⁾
TF		1,0000	-0,1856 ⁽¹⁾	-0,3344 ⁽¹⁾
DP			1,0000	0,5398 ⁽²⁾
CP				1,0000

Magnitudes dos coeficientes de correlação genotípica conforme Resende e Alves (2020): ⁽¹⁾ Baixa; ⁽²⁾ moderada; ⁽³⁾ alta.

3.6 CONCLUSÕES

Pela metodologia REML/BLUP foi identificada variabilidade genética para as características força de desprendimento, tamanho, diâmetro e comprimento do pedúnculo dos frutos entre as cultivares de café arábica estudadas.

Os valores de herdabilidade indicaram que cada uma dessas variáveis é controlada por poucos genes, no entanto, o comprimento do pedúnculo parece ser um carácter controlado por mais genes.

Pelos valores genotípicos preditos foi possível verificar que os frutos das cultivares IPR 106 e IPR 98 são mais fáceis de serem retirados dos ramos, enquanto no IPR 103 foi mais difícil.

Foi observado que frutos com menor comprimento de pedúnculo são mais fáceis de serem desprendidos dos ramos.

4 ARTIGO B: PARAMÊTROS GENÉTICOS E VALORES GENOTÍPICOS PARA CARACTERES VEGETATIVOS DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS ENTRE PLANTAS

4.1 RESUMO

O espaçamento entre plantas e linhas desempenha um papel essencial na produtividade das cultivares de café arábica. As especificidades morfológicas de cada cultivar, como altura, diâmetro da copa e ramificação, podem afetar sua produtividade em diferentes espaçamentos. Espaçamentos menores entre plantas podem aumentar a produtividade por área, facilitar a mecanização e reduzir o estresse das plantas, mas podem exigir podas frequentes e aumentar o risco de propagação de doenças. Por outro lado, espaçamentos mais amplos resultam em custos mais baixos, menor ocorrência de doenças, mas podem levar a menor produtividade por planta. O objetivo deste estudo foi obter estimativas de parâmetros genéticos e previsões de valores genotípicos para características vegetativas de cultivares de café arábica, em quatro espaçamentos de plantio entre plantas. Foram avaliadas oito cultivares de café arábica nos espaçamentos de 0,45, 0,60, 0,75 e 0,90 m entre plantas em DBC com três repetições de sete plantas por parcela, em esquema de parcelas subdivididas. As características vegetativas avaliadas foram envergamento da haste principal (EHP), diâmetro da haste principal (DHP), largura da copa (LC) e altura da planta (AP). Utilizando a metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP), foram realizadas análises para identificar a variabilidade genética nas cultivares de café estudadas. Os resultados também sugerem que a escolha do espaçamento entre plantas pode influenciar na expressão desses caracteres e aumentar o ganho genético em espaçamentos mais amplos. Pela metodologia REML/BLUP, foi identificada variabilidade genética para as características DHP, LC e AP entre as cultivares de café arábica estudadas. Os valores de herdabilidade e do coeficiente de variação residual indicaram que DHP, LC e AP são controlados por poucos genes e foram pouco influenciados pelo ambiente; no entanto, EHP foi mais influenciado pelo ambiente e parece ser um carácter controlado por mais genes. Os valores das herdabilidades e das variabilidades genéticas tiveram uma tendência de aumento conforme ocorreu o aumento do espaçamento entre plantas. Isso indica que, com o plantio em espaçamentos entre plantas mais largos, poderão ser encontradas maiores diferenças genéticas entre os cafeeiros, além de possibilitar um maior ganho genético

Palavras-chave: *Coffea arabica*; Modelos mistos; Espaçamentos; Herdabilidade.

4.2 ABSTRACT

The spacing between plants and rows plays a crucial role in the productivity of arabica coffee cultivars. The morphological specificities of each cultivar, such as height, canopy diameter, and branching, can affect their productivity at different spacings. Smaller spacings between plants can increase productivity per area, facilitate mechanization, and reduce plant stress, but may require frequent pruning and increase the risk of disease spread. On the other hand, wider spacings result in lower costs, less susceptibility to diseases, but may lead to lower productivity per plant. The objective of this study was to obtain estimates of genetic parameters and predictions of genotypic values for vegetative characteristics of arabica coffee cultivars, at four planting spacings between plants. Eight arabica coffee cultivars were evaluated at spacings of 0.45, 0.60, 0.75, and 0.90 m between plants in a randomized complete block design with three replications of seven plants per plot, in a split-plot scheme. The vegetative characteristics evaluated were main stem bending (EHP), main stem diameter (DHP), canopy width (LC), and plant height (AP). Using the mixed linear models methodology (REML/BLUP), analyses were performed to identify genetic variability in the studied coffee cultivars. The results also suggest that the choice of spacing between plants can influence the expression of these traits, indicating the possibility of better differentiating coffee plants and increasing genetic gain in wider spacings. Using the REML/BLUP methodology, genetic variability was identified for the DHP, LC, and AP characteristics among the studied arabica coffee cultivars. Heritability values and residual coefficient of variation indicated that DHP, LC, and AP are controlled by few genes and were little influenced by the environment; however, EHP was more influenced by the environment and appears to be a trait controlled by more genes. Heritability and genetic variability values tended to increase as the spacing between plants increased. This suggests that with planting in wider plant spacings, greater genetic differences among coffee plants could be found, in addition to enabling greater genetic gain.

Keywords: *Coffea arabica*; Mixed models; Spacings; Heritability.

4.3 INTRODUÇÃO

Um dos fatores que podem influenciar na produtividade das cultivares são espaçamentos de plantio entre plantas. Já é conhecido que a produtividade do café arábica é maior em espaçamentos de plantio mais adensados tanto entre linha quanto entre plantas (Pereira *et al.*, 2011; Andrade *et al.*, 2014; Silveira *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2022). Em estudo feito com diferentes arranjos de espaçamentos entre plantas e entre linhas, foi encontrado que as combinações mais produtivas para uma mesma população de plantas por hectare ocorrem quando se emprega menor espaçamento entre plantas do que entre linhas. Também foi observado que a mesma população de plantas, mas em diferentes arranjos, não proporcionam a mesma produção total (Andrade *et al.*, 2014).

Cada cultivar possui especificidades para vários caracteres morfológicos, como altura e diâmetro da planta, formato e arquitetura da copa, intensidade da ramificação plagiotrópica e tamanho das folhas, os quais podem influenciar na produtividade das cultivares em diferentes espaçamentos entre plantas e entre linhas (Rodrigues *et al.*, 2014; Sera *et al.*, 2022).

No que diz respeito ao diâmetro da copa, a escolha do espaçamento entre plantas e, principalmente, entre linhas de plantio depende do diâmetro da copa das plantas. Copas maiores exigem espaçamentos entre linhas mais amplos ou podas mais frequentes para garantir a circulação adequada de máquinas (Matiello *et al.*, 2016; Sera *et al.*, 2022). A utilização de espaçamentos entre plantas mais estreitos implica em uma redução na produção por planta, mas pode aumentar a produtividade por área, minimizando o estresse das plantas, o que, por sua vez, reduz o desgaste pós-colheita e a bienalidade da produção. Esses espaçamentos menores também facilitam a mecanização, possibilitando a aplicação eficiente de insumos e cobrindo o solo mais rapidamente, o que reduz a ocorrência de erosão e o crescimento de plantas daninhas (Matiello *et al.*, 2016).

Espaçamentos mais largos, tanto entre linhas quanto entre plantas, resultam em custos mais baixos para a aquisição de mudas e uma operação de desbrota menos onerosa devido ao menor número de plantas. Além disso, é importante considerar que espaçamentos mais adensados podem aumentar a propagação de doenças devido à maior umidade e à menor ventilação na copa. Por outro lado, em espaçamentos mais amplos, há o risco de ocorrência de insetos ou pragas que se proliferam em ambientes mais arejados (Pereira *et al.*, 2011).

Pereira *et al.* (2011) verificaram que em espaçamentos mais adensados, as plantas tendem a crescer mais em altura, o que pode dificultar atividades como colheita, tratamentos culturais e a aplicação de defensivos agrícolas. Estes mesmos autores também constataram que em espaçamentos mais próximos entre plantas, os cafeeiros apresentaram um diâmetro de copa menor, o que poderia permitir o plantio em espaçamentos entre linhas mais densos. No entanto, ainda existem poucas pesquisas relacionadas à influência dos espaçamentos de plantio em características vegetativas de cultivares de café arábica.

A avaliação e seleção de genótipos superiores pode ser mais fácil por meio da análise de parâmetros genéticos estatísticos, possibilitando a identificação de características hereditárias e da variabilidade existente (Pereira *et al.*, 2013b; Cruz; Carneiro; Regazzi, 2014). A estimativa precisa de componentes de variância e parâmetros genéticos pela utilização de procedimentos ótimos favorece a identificação de genótipos superiores por meio da predição de valores genotípicos (Resende, 2004). Em caracteres quantitativos a influência ambiental incorporada na estimativa das médias fenotípicas é indesejável e, portanto, os valores genotípicos preditos potencializam a seleção genética (Resende; Duarte, 2007). Para eliminar os efeitos ambientais residuais presentes nos dados fenotípicos, é necessário considerar o efeito genotípico como aleatório, forçando as previsões em direção à média geral, por meio do *shrinkage* (Resende, 2004).

A utilização da metodologia de modelo misto *Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction* (REML/BLUP) considera o efeito genotípico como aleatório, o que proporciona resultados mais realistas na predição do valor genético em situações de dados desbalanceados (Duarte; Vencovsky, 2001; Duarte, 2010). O método REML possibilita a obtenção das estimativas dos componentes de variância necessários ao BLUP, permitindo a predição imparcial de valores genéticos para a avaliação e seleção genética (Henderson, 1984; Resende, 2016).

A metodologia de modelos mistos via REML/BLUP foi utilizada para estimar parâmetros genéticos e prever valores genéticos em alguns estudos no melhoramento genético de café (Resende *et al.*, 2001; Rodrigues *et al.*, 2013; Rezende *et al.*, 2017). Contudo, não existem estudos que estimaram parâmetros genéticos e predisseram valores genotípicos via REML/BLUP para características vegetativas em cultivares de café arábica em diferentes espaçamentos de plantio.

O objetivo deste estudo foi obter estimativas de parâmetros genéticos e

predições de valores genotípicos para características vegetativas de cultivares de café arábica, em quatro espaçamentos de plantio entre plantas.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Em dezembro de 2013, procedeu-se à instalação do experimento nas instalações do Centro Tecnológico da COCARI - Cooperativa Agropecuária e Industrial, localizado no município de Mandaguari, no estado do Paraná, Brasil. A referida localização possui uma altitude de 710 metros acima do nível do mar, apresentando coordenadas geográficas de 23° 30.525' S de latitude e 51° 42.860' W de longitude. As médias anuais de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação são, respectivamente, de 20,3 °C, variando entre 70 e 75%, e situando-se na faixa de 1400 a 1600 mm. Segundo a classificação de Köppen, o clima é designado como Cfa, caracterizado por um clima temperado úmido com verões quentes.

O delineamento adotado no experimento foi o de blocos ao acaso, com três repetições compostas por sete plantas, empregando um esquema de parcelas subdivididas. As características vegetativas avaliadas foram envergamento da haste principal (EHP), diâmetro da haste principal (DHP), largura da copa (LC) e altura da planta (AP).

O espaçamento de plantio entre as linhas foi fixado em 2,75 m, enquanto os espaçamentos entre as plantas foram 0,45 m, 0,60 m, 0,75 m e 0,90 m. As cultivares desempenharam o papel de parcelas, enquanto os espaçamentos entre as plantas foram designados como subparcelas. As cultivares de café arábica submetidas à avaliação foram: IPR 98, IPR 99, IPR 100, IPR 102, IPR 103, IPR 106, IPR 107 e Mundo Novo IAC 376-4 (Tabela 6).

Tabela 6. Cultivares de café arábica avaliadas para características vegetativas em um experimento em campo em Mandaguari, PR.

Trat	Cultivar	Origem ⁽¹⁾
1	IPR 98	Villa Sarchi CIFIC 971/10 x HdT CIFIC 832/2 ⁽²⁾
2	IPR 99	Villa Sarchi CIFIC 971/10 x HdT CIFIC 832/2 ⁽²⁾
3	IPR 100	Catuaí V. IAC 81 x (Catuaí V. IAC 81 x IAC 1110-8) ⁽³⁾
4	IPR 102	Catuaí V. IAC 99 x Icatu de porte baixo ⁽²⁾
5	IPR 103	Catuaí V. IAC 99 x Icatu de porte baixo ⁽²⁾

6	IPR 106	Icatu IAC 925 x material desconhecido ⁽²⁾
7	IPR 107	IAPAR 59 x Mundo Novo IAC 376-4 ⁽²⁾
8	Mundo Novo IAC 376-4	Sumatra x Bourbon Vermelho ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ HdT = Híbrido de Timor; V = Vermelho.

⁽²⁾ Cultivares de *C. arabica* com introgressão de *C. canephora*

⁽³⁾ Cultivares de *C. arabica* com introgressão de *C. liberica*.

⁽⁴⁾ *C. arabica* puro.

O experimento foi conduzido em condições de sequeiro, sem irrigação suplementar e durante todo o período de condução do experimento, as plantas receberam os tratamentos culturais necessários, conforme Matiello *et al.* (2016). Desbrotas foram realizadas para que as plantas fossem conduzidas com uma única haste principal.

As avaliações das características EHP, DHP, LC e AP foram realizadas durante dois anos consecutivos, nos meses de agosto e setembro de 2020 e 2021. A variável EHP foi avaliada por meio de uma escala de notas de 1 a 5, onde: nota 1 = envergamento da haste principal de 0° a 5°; nota 2 = 5,1° a 10°; nota 3 = 10,1° a 20°; nota 4 = 20,1° a 30°; e nota 5 = > 30°. A variável DHP foi mensurada a 5 cm do solo com o auxílio de um paquímetro, expresso em centímetros. A variável LC foi avaliada pela medição do comprimento do ponteiro do ramo plagiotrópico mais comprido do terço inferior de um lado da planta até o outro ponteiro. A medição da AP foi realizada desde o nível do solo até o ponto apical da haste principal. LC e AP foram mensuradas com o auxílio de uma régua graduada, utilizando a unidade de medida em metros.

4.4.1 Análises estatísticas

Os dados provenientes do experimento foram analisados utilizando o software SELEGEN – REML/BLUP. O programa foi empregado para estimar os componentes de variância por meio do método REML (máxima verossimilhança restrita) e para realizar a predição dos valores genéticos através do BLUP (melhor predição linear não viciada).

Os dados relativos a EHP, DHP, LC e AP foram submetidos ao modelo 29 do SELEGEN para experimentos de delineamento em blocos completos, em vários locais e safras, representado por:

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

onde, y é o vetor dos dados fenotípicos, m é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (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 o e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas X, Z e W representam as matrizes de incidência para os efeitos m , g , p respectivamente.

Para os modelos estatísticos o software calculou o logaritmo do ponto de máximo da função de verossimilhança residual (L), para os modelos com e sem o efeito a ser testado (reduzido), para a obtenção da *deviance* ($D = -2 \text{Log } L$) de cada um deles. A diferença entre as *deviance* obtida pelos modelos estatísticos completo e reduzidos permitiu estimar a razão de verossimilhança (LR). Dessa forma, os valores de LR foram testados, via LRT (*Likelihood Ratio Test*), para analisar a significância dos efeitos aleatórios pelo teste de qui-quadrado com 1 grau de liberdade e nível de significância igual a 1% e 5% (Resende, 2007; 2016).

Os valores variância genotípica (σ_g^2), variância de ambiente permanente (σ_{perm}^2), variância residual temporária (σ_e^2), variância fenotípica individual (σ_f^2), herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais (h_g^2), repetibilidade ao nível de parcela (r), coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente (c_{perm}^2), herdabilidade média de genótipo (h_{mg}^2), acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa (Acgen) (Resende, 2002):

$$\sigma_f^2 = \sigma_g^2 + \sigma_{perm}^2 + \sigma_e^2,$$

$$h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{(\sigma_g^2 + \sigma_{perm}^2 + \sigma_e^2)}$$

$$c_{perm}^2 = \frac{\sigma_{perm}^2}{\sigma_f^2}$$

$$h_{mg}^2 = \frac{\sigma_g^2}{(\sigma_g^2 + \frac{\sigma_{perm}^2}{r} + \frac{\sigma_e^2}{t.r})}$$

$$r_{perm} = \frac{\sigma_g^2 + \sigma^2}{\sigma_f^2}$$

em que h_g^2 = herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, h_{mg}^2 = herdabilidade de médias de genótipos, c^2_{perm} = coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente, r = repetibilidade ao nível de parcela.

O coeficiente de variação genotípica CV_{gi} (%), e o coeficiente de variação residual CV_e (%) foram estimados para cada um dos caracteres pelas respectivas expressões (Resende *et al.*, 2014):

$$CV_{gi} \% = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\mu} \cdot 100$$

$$CV_e \% = \frac{\sigma^e}{\mu} \cdot 100$$

A existência de diferenças significativas entre as cultivares foi analisada por meio da sobreposição do limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) e o limite superior do intervalo de confiança (LSIC) dos valores genéticos preditos, para cada uma das quatro variáveis avaliadas.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos valores de LRT, no espaçamento de 0,45 m, foi possível observar significância a 5% e 1% para o efeito de genótipo, respectivamente, para as variáveis diâmetro da haste principal (DHP) e altura de planta (AP), e não significância para envergamento da haste principal (EHP) e largura de copa (LC). No espaçamento de 0,60 m, foi observada significância a 1% para o efeito de genótipo nas variáveis DHP e LC, e não significância para EHP e AP. Já nos espaçamentos de 0,75 m e 0,90 m, houve significância a 1% para DHP, LC e AP, e não significância para EHP (Tabela 7).

Esses resultados evidenciam a existência de variabilidade genética entre as oito cultivares avaliadas para DHP nos quatro espaçamentos avaliados. Para LC, houve variabilidade nos espaçamentos de 0,60 m, 0,75 m e 0,90 m, e para AP, nos espaçamentos de 0,45 m, 0,75 m e 0,90 m. Por outro lado, para a variável EHP, não foi identificada variabilidade

nos quatro espaçamentos avaliados. Dessa forma, não foram identificadas diferenças para EHP entre as cultivares avaliadas, independente dos espaçamentos entre plantas utilizado.

Quanto aos efeitos de parcela, houve significância a 1% para EHP nos quatro espaçamentos avaliados. Para DHP, houve significância a 1% nos espaçamentos de 0,45 m, 0,75 m e 0,90 m, e não significância no 0,60 m. Para LC, houve diferença significativa a 1%, somente, nos espaçamentos 0,45 m e 0,75 m. Em relação à característica AP, houve significância a 1% para o efeito de parcela nos espaçamentos mais largos de 0,75 m e 0,90 m, e não significância nos espaçamentos mais estreitos de 0,45 m e 0,60 m (Tabela 7).

Esses resultados de significância do efeito de parcelas indicam que houve variabilidade entre as parcelas, sob uma possível influência ambiental. A variável EHP foi a mais influenciada pelos espaçamentos, pois foi identificada significância para o efeito de parcela, independente dos espaçamentos de plantio utilizados.

Tabela 7 – Análise de deviance (ANADEV): Deviance (Dev) e teste da razão da verossimilhança (LRT) para os efeitos de genótipos, de parcela e do modelo completo para as s variáveis envergamento da haste principal (EHP), diâmetro do caule (DHP), Largura da copa (LC) e altura da planta (AP) avaliadas em oito cultivares de *Coffea arabica* plantadas em diferentes espaçamentos entre plantas.

Variáveis	Efeito	0,45 m		0,60 m		0,75 m		0,90 m	
		Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT
EHP	Genótipo	428,77	0,02 ^{ns}	400,47	0,01 ^{ns}	200,77	0,38 ^{ns}	160,95	3,59 ^{ns}
	Parcela	444,82	16,07 [*]	421,66	21,2 [*]	356,07	155,68 [*]	165,96	8,6 [*]
	Modelo completo	428,75		400,46		200,39		157,36	
DHP	Genótipo	-26,48	4,06 ^{**}	77,3	19,77 [*]	65,34	14,1 [*]	-66,43	9,24 [*]
	Parcela	30,91	61,45 [*]	59,15	1,62 ^{ns}	59,2	7,96 [*]	-31,39	44,28 [*]
	Modelo completo	-30,54		57,53		51,24		-75,67	
LC	Genótipo	-625,41	0 ^{ns}	-658,56	14 ^{**}	-684,86	7,58 ^{**}	-259,73	4,56 ^{**}
	Parcela	-485	140,41 [*]	-669,6	2,96 ^{ns}	-665,87	26,57 [*]	-262	2,2 ^{ns}
	Modelo completo	-625,41		-672,56		-692,44		-264,29	
AP	Genótipo	-268,87	22,7 [*]	673,71	2,49 ^{ns}	-564,03	23,48 [*]	-697,14	23,08 [*]
	Parcela	-287,47	4,1 ^{ns}	671,61	0,39 ^{ns}	-561,7	25,81 [*]	-692,17	28,05 [*]
	Modelo completo	-291,57		671,22		-587,51		-720,22	

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

Os valores da herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo (h_g^2) e da herdabilidade de médias de genótipos (h_{mg}^2), representam a proporção genotípica das características avaliadas no nosso estudo (Tabela 8). De acordo com Resende (2002), magnitudes de herdabilidades com valores abaixo de 0,15 são consideradas baixas, entre 0,15 e 0,50 são moderadas e acima de 0,50 são altas.

Foram observadas h_g^2 de baixa magnitude em todos os espaçamentos avaliados para a EHP. Para esta mesma característica, os valores h_{mg}^2 foram de baixa magnitude nos espaçamentos 0,45 m e 0,60 m, e foram de moderada magnitude nos demais espaçamentos. Para DHP, em todos os espaçamentos, foram encontrados moderada e alta magnitudes, respectivamente, para h_g^2 e h_{mg}^2 .

Diferenças de magnitudes de herdabilidades, entre os espaçamentos de plantio, foram mais evidentes para as variáveis LC e AP. Para LC, foram observadas baixas magnitudes da h_g^2 nos espaçamentos de 0,45 m e 0,90 m, e foram moderadas no 0,60 m e 0,75 m. Os valores h_{mg}^2 desta mesma variável, foram de alta magnitude nos espaçamentos 0,60 m e 0,75 m, e foram de baixa e moderada magnitudes, respectivamente, nos espaçamentos 0,45 m e 0,90 m. A h^2 nos espaçamentos de 0,75 m e 0,90 m foram de alta magnitude para AP, e foi moderada e baixa, respectivamente, no 0,45 m e no 0,60 m. Os valores de h^2 , desta mesma variável, foram altos nos espaçamentos 0,45 m, 0,75 m e 0,90 m, e foram de moderada magnitude no 0,60 m.

Tabela 8 – Componentes de variância e parâmetros genéticos e não genéticos para as características envergamento da haste principal (EHP), diâmetro da haste principal (DHP), largura da copa (LC) e altura da planta (AP) avaliadas em oito cultivares de *Coffea arabica*.

Espaçamento	Componente/parâmetro	Variáveis				
		EHP	DHP	LC	AP	
0,45 m	σ_{perm}^2	σ_g^2	0,0091	0,1721	0,0003	0,1252
			0,1907	0,1838	0,0780	0,0091
	r	σ_e^2	1,0873	0,2663	0,0474	0,1357
		σ_f^2	1,2872	0,6223	0,1258	0,2700
		h_g^2	0,0070	0,2766	0,0030	0,4636
			0,1552	0,5719	0,6232	0,4975
		c_{perm}^2	0,1481	0,2953	0,6201	0,0338
		h_{mg}^2	0,0314	0,6005	0,0108	0,8057
		CV_{gi} %	3,6456	7,3834	0,9432	12,0226
		CV_e %	39,8493	9,1844	11,8556	12,5166
μ	2,6167	5,6187	1,8364	2,9431		
0,60 m	σ_{perm}^2	σ_g^2	0,0026	0,2109	0,0200	0,0992
			0,1729	0,0141	0,0027	0,0360

		σ_e^2	0,9835	0,3748	0,0484	2,2000
		σ_f^2	1,1590	0,5999	0,0712	2,3353
		h_g^2	0,0022	0,3516	0,2814	0,0425
	r		0,1514	0,3752	0,3203	0,0579
	c_{perm}^2		0,1491	0,0235	0,0389	0,0154
		h_{mg}^2	0,0102	0,7258	0,6539	0,1800
		CV_{gi} %	2,6764	7,4662	8,2418	10,7250
		CV_e %	52,0531	9,9532	12,8213	50,5070
	μ		1,9052	6,1509	1,7159	2,9367
		σ_g^2	0,1044	0,2465	0,0212	0,1338
	σ_{perm}^2		0,6133	0,0459	0,0110	0,0143
		σ_e^2	0,5039	0,3573	0,0435	0,0568
		σ_f^2	1,2217	0,6497	0,0757	0,2049
		h_g^2	0,0854	0,3793	0,2800	0,6527
0,75 m	r		0,5875	0,4500	0,4252	0,7225
	c_{perm}^2		0,5020	0,0706	0,1452	0,0698
		h_{mg}^2	0,2548	0,7396	0,6315	0,8923
		CV_{gi} %	18,2548	7,5666	8,0067	13,4977
		CV_e %	40,1050	9,1098	11,4692	8,7944
	μ		1,7700	6,5616	1,8185	2,710
		σ_g^2	0,0686	0,2615	0,0190	0,1290
	σ_{perm}^2		0,0564	0,1178	0,0082	0,0144
		σ_e^2	0,5035	0,2331	0,1496	0,0348
		σ_f^2	0,6286	0,6125	0,1768	0,1784
		h_g^2	0,1092	0,4269	0,1075	0,7234
0,90 m	r		0,1990	0,6193	0,1540	0,8044
	c_{perm}^2		0,0897	0,1924	0,0465	0,0809
		h_{mg}^2	0,3649	0,7527	0,3679	0,9162
		CV_{gi} %	18,2038	7,7838	8,1442	12,9644
		CV_e %	49,3173	7,3490	22,8527	6,7336
	μ		1,4388	6,5697	1,6925	2,7704

σ_g^2 : variância genotípica; σ_{parc}^2 : variância ambiental entre as parcelas; σ_{int}^2 : variância da interação genótipos ambientes; σ_{bloc}^2 : variância ambiental entre blocos; σ_e^2 : variância residual; σ_f^2 : variância fenotípica individual; h_g^2 : herdabilidade individual no sentido amplo; h_{mg}^2 : herdabilidade ajustada da média de genótipo, assumindo sobrevivência completa; Acgen: acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa; c_{parc}^2 : coeficiente de determinação do efeito das parcelas; c_{int}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes; c_{bloc}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de blocos Rg loc: correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes; CV_{gi} (%): coeficiente de variação genotípica; CV_e (%): coeficiente de variação residual; μ : média geral do experimento.

Apesar de não identificadas diferenças significativas para EHP, pelo LRT, entre as cultivares avaliadas em todos os espaçamentos, foram observadas h_{mg}^2 de moderada magnitude para esta variável nos espaçamentos 0,75 m e 0,90 m. Além disso, os coeficientes de variação genotípica (CV_{gi}) para esta variável, nestes dois espaçamentos citados, apresentaram as maiores porcentagens quando comparado com outras características. Por outro lado, os coeficientes de variação residual (CV_e) foram altos e os maiores nos espaçamentos 0,75

m e 0,90 m quando comparados com as características DHP, LC e AP. Nos espaçamentos 0,45 m e 0,60 m os CV_{gi} foram baixos e apresentou os maiores CV_e quando comparado com as demais variáveis. Os valores das herdabilidades não foram maiores, pois a variância residual (σ^2) foi muito alta. Portanto, existe variabilidade genética entre as cultivares para EHP, principalmente, quando as cultivares foram avaliadas no 0,75 m e no 0,90 m, porém ocorreu uma alta influência ambiental para esta variável. Isto indica que para EHP é necessário reduzir a σ^2 de futuros experimentos visando atingir valores maiores de herdabilidades. Resende *et al.* (2001) demonstraram em um estudo com cultivares de *Coffea arabica* a possibilidade de aumentar os valores de h^2 aumentando o número de repetições e reduzindo o número de plantas por parcela. Esses autores verificaram que para DHP a h_{mg}^2 foi 0,58 utilizando quatro repetições de dez plantas e foi 0,80 se utilizado 20 repetições de duas plantas. No nosso estudo foram utilizadas três repetições de sete plantas por parcela e, portanto, os valores de herdabilidades poderiam ser aumentados, por exemplo, se as cultivares tivessem sido avaliadas em um experimento com sete repetições de três plantas.

Foi possível observar uma tendência do aumento dos valores das herdabilidades e da variabilidade genética com o aumento do espaçamento entre plantas. Isto, provavelmente, ocorreu porque em espaçamentos mais largos entre as plantas, as cultivares tiveram maior espaço para o crescimento da parte vegetativa e, conseqüentemente, apresentaram mais diferenças para os caracteres avaliados. Para DHP não foram observadas diferenças na classificação das magnitudes de h_g^2 e de h_{mg}^2 entre os espaçamentos avaliados, porém os valores dessas herdabilidades e do CV_{gi} sempre foram maiores com o aumento do espaçamento entre plantas. Para LC, as magnitudes dessas duas herdabilidades foram mais altas no 0,60 m e 0,75 m, e foram mais baixas no 0,45 m e 0,90 m. Estas herdabilidades foram mais baixas no 0,45 m, pois a variabilidade genética entre as cultivares foi a de menor valor, enquanto no 0,90 m a explicação para os valores mais baixos das herdabilidades foi a maior variabilidade ambiental observada neste espaçamento mais largo. Para AP os valores de h_g^2 , h_{mg}^2 e CV_{gi} foram maiores no 0,75 m e 0,90 m e ao mesmo tempo apresentaram os menores CV_e . As magnitudes mais baixas de h_g^2 e h_{mg}^2 no 0,60 m para AP pode ser explicado pelo alto CV_e e, conseqüentemente, maior influência ambiental neste espaçamento. Portanto, é possível sugerir que para experimentos com o objetivo de avaliar e selecionar para EHP, DHP e AP, os cafeeiros sejam implantados em espaçamentos mais largos como o 0,75 m e 0,90 m, enquanto para LC os espaçamentos indicados sejam 0,60 m e 0,75 m.

No geral, os valores das herdabilidades das variáveis DHP, LC e AP são similares aos dos estudos relacionados com a resistência aos nematoides (Fatobene *et al.*, 2017; Rezende *et al.*, 2017), indicando que são caracteres menos influenciados pelo ambiente e controlados por um menor número de genes do que a variável EHP. Em um estudo com diferentes cultivares de *C. arabica*, foram encontradas h^2_{mg} de magnitudes moderadas para as variáveis produção de duas safras consecutivas, número de frutos por nó, número de nós produtivos, inflorescências por nó produtivo e número de flores por inflorescências (Walyaro; Van Der Vossen, 1979), indicando que esses caracteres relacionados com a produtividade são controlados por um maior número de genes do que as variáveis DHP, LC e AP. Por outro lado, quando são avaliados um maior número de anos de produção podem ser encontrados valores de h^2 com magnitude alta (Walyaro; Van Der Vossen, 1979; Rodrigues *et al.*, 2013). No nosso estudo, altas magnitudes de herdabilidade foram observadas para AP nos espaçamentos 0,45 m, 0,75 m e 0,90 m, porém as magnitudes foram baixas para h^2_g e moderada para h^2_{mg} no 0,60 m. Em dois estudos com variedades de *C. arabica*, para AP, também foram encontradas magnitudes baixa para h^2_g e moderada para h^2_{mg} (Walyaro; Van Der Vossen, 1979; Resende *et al.*, 2001). As herdabilidades foram mais baixas nesses dois estudos, quando comparado com os valores encontrados para os espaçamentos 0,75 m e 0,90 m, provavelmente, porque os espaçamentos eram estreitos, porém os dados dos espaçamentos utilizados não foram relatados. É conhecido que o porte da planta baixo, originado de mutação em *C. arabica* cv. Bourbon Vermelho, é controlado por único gene dominante denominado *Ct*, com um par de alelos e dominância completa, ou seja, plantas com os alelos *CtCt* e *Ctct* são de porte baixo, enquanto plantas *ctct* são de porte alto (Carvalho *et al.*, 1984). O gene *Ct* reduz o comprimento médio dos internódios dos ramos plagiotrópicos e ortotrópicos e, conseqüentemente, afetam diretamente na AP e na LC. A ação predominante do gene *Ct* nas variáveis AP e LC, explica os altos valores de herdabilidades encontrados.

Pelo coeficiente de variação residual (CV_e) também foi possível verificar que EHP é mais influenciado pelo ambiente do que as demais variáveis, em todos os espaçamentos de plantio (Tabela 8), reforçando que é um caracter controlado por um maior número de genes. No entanto, estudos de herança devem ser realizados para confirmar a quantidade de genes envolvidos no controle de cada característica.

h^2_{mg} maiores que h^2_g são encontrados em vários estudos em *C. arabica* (Walyaro; Van Der Vossen, 1979; Resende *et al.*, 2001; Fatobene *et al.*, 2017; Rezende *et al.*, 2017), indicando que as seleções dos genótipos desses estudos tendem a ser mais eficientes pela média das progênies do que por plantas individuais. Os maiores valores de h^2_{mg} em comparação h^2_g pode

ser explicada pela minimização dos efeitos ambientais devido ao número de repetições e das plantas por parcela (Resende *et al.*, 2001). No nosso estudo não foi efetuada a seleção de progênies, pois foram avaliadas cultivares do tipo linhas puras e, portanto, os resultados das herdabilidades levam a outras conclusões. Com os valores encontrados das h^2_g e h^2_{hg} é possível concluir que a variabilidade genética entre as oito cultivares foi maior que a variabilidade dentro das cultivares. Isto já era esperado porque as oito cultivares devem ter um alto nível de homozigose, pois são do tipo linhas puras e obtidas por meio de autofecundações sucessivas pelo método genealógico.

Pela sobreposição dos intervalos de confiança do limite superior (LSIC) e inferior (LIIC) dos valores genotípicos ($\mu + g$) preditos não foram detectadas diferenças estatísticas para EHP entre as cultivares avaliadas, em todos os espaçamentos de plantio.

Para DHP, em todos os espaçamentos, a cultivar Mundo Novo IAC 376-4 apresentou o maior valor genotípico e diferiu estatisticamente das cultivares com DHP mais estreito. Por outro lado, IPR 106 foi a cultivar com menor valor genotípico de DHP e foi a única que diferiu estatisticamente de Mundo Novo, em todos os espaçamentos. IPR 102 e IPR 107 não diferiu do IPR 106 nos espaçamentos 0,60 m, 0,75 m e 0,90 m, e no 0,45 m não diferiram de Mundo Novo e IPR 106 e, portanto, também possuem menor DHP. IPR 100 não diferiu de IPR 106 no 0,60 m e 0,90 m, e não diferiu de Mundo Novo e IPR 106 no 0,45 m e 0,75 m. Nos espaçamentos 0,60m e 0,75m, IPR 98 e IPR 103 não diferiram de Mundo Novo e diferiram das cultivares com menor DHP, enquanto no 0,45 m e 0,90 m essas duas cultivares não diferiram nem do Mundo Novo e nem dos cafeeiros com menores DHP. Em todos os espaçamentos, IPR 99 também não diferiu tanto das cultivares com maiores DHP quanto dos menores DHP (Tabela 9). Em experimento em campo no município de Machado (estado de MG, Brasil) foi demonstrado na cultivar Catuaí (porte baixo) que a redução do espaçamento entre plantas promove a redução do DHP (Pereira *et al.*, 2011). Isso foi observado no nosso estudo tanto pelo valor genotípico quanto pela média fenotípica. DHP menores foram mais evidentes nos espaçamentos 0,45 m e 0,60 m, e foram muito semelhantes no 0,75 m comparado com o 0,90 m.

Tabela 9 – Valores genotípico ($\mu + g$), limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) e limite superior do intervalo de confiança (LSIC) diâmetro da haste principal (DHP) em oito cultivares de *C. arabica* avaliadas nos espaçamentos 0,45, 0,60, 0,75 e 0,90 metros.

Espaçamento	Genótipo	$\mu + g$	Acurácia	LIIC	LSIC	Med Fenot ⁽¹⁾	
0,45 m	Mundo Novo	6,15	0,79	5,66	6,65	6,33	a
	IPR 98	5,87	0,79	5,38	6,37	5,91	ab
	IPR 103	5,84	0,79	5,35	6,34	5,92	ab
	IPR 99	5,81	0,79	5,31	6,30	5,85	ab

	IPR 107	5,49	0,79	5,00	5,99	5,41	ab
	IPR 102	5,41	0,79	4,91	5,90	5,28	ab
	IPR 100	5,23	0,79	4,73	5,72	5,03	ab
	IPR 106	5,15	0,79	4,66	5,65	4,95	b
0,60 m	Mundo Novo	6,82	0,91	6,45	7,20	6,86	a
	IPR 98	6,54	0,91	6,16	6,92	6,56	a
	IPR 103	6,48	0,91	6,10	6,86	6,49	a
	IPR 99	6,29	0,91	5,91	6,67	6,30	ab
	IPR 100	5,92	0,91	5,55	6,30	5,90	b
	IPR 107	5,84	0,91	5,47	6,22	5,82	b
	IPR 102	5,74	0,91	5,36	6,12	5,71	b
	IPR 106	5,57	0,91	5,19	5,94	5,52	b
0,75 m	Mundo Novo	7,37	0,89	6,94	7,81	7,44	a
	IPR 98	6,84	0,89	6,41	7,28	6,87	a
	IPR 103	6,81	0,89	6,38	7,25	6,84	a
	IPR 99	6,74	0,89	6,31	7,18	6,76	ab
	IPR 100	6,36	0,89	5,92	6,80	6,34	ab
	IPR 102	6,31	0,89	5,87	6,74	6,29	b
	IPR 107	6,21	0,89	5,77	6,65	6,17	b
	IPR 106	5,85	0,89	5,41	6,28	5,77	b
0,90 m	Mundo Novo	7,36	0,86	6,86	7,87	7,48	a
	IPR 98	6,89	0,86	6,38	7,39	6,93	ab
	IPR 103	6,86	0,86	6,35	7,36	6,90	ab
	IPR 99	6,75	0,86	6,25	7,26	6,74	ab
	IPR 107	6,31	0,86	5,81	6,82	6,25	b
	IPR 100	6,26	0,86	5,76	6,77	6,19	b
	IPR 102	6,19	0,86	5,69	6,70	6,10	b
	IPR 106	5,92	0,86	5,42	6,43	5,78	b

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pela da sobreposição do LIIC e o LSIC dos valores genéticos preditos.

No espaçamento 0,45 m não foram observadas diferenças estatísticas para LC (Tabela 10), até mesmo para a cultivar de porte alto Mundo Novo IAC 376-4. Nos espaçamentos 0,60 m, 0,75 m e 0,90 m, esta cultivar de porte alto teve a maior LC e diferiu estatisticamente das cultivares com menor LC. IPR 99 não diferiu de Mundo Novo nesses três espaçamentos mais largos, porém também não diferiu das cultivares com menor LC no 0,60 m e 0,90 m, mostrando que a LC desta cultivar foi intermediária. No 0,75 m, IPR 102 não diferiu de Mundo Novo e diferiu da cultivar com menor LC, no 0,90 m, não diferiu nem do Mundo Novo e nem das cultivares com menor LC, porém no 0,60 m não diferiu das cultivares com menor LC. IPR 98 não diferiu nem do Mundo Novo e nem das cultivares com menores LC no 0,60 m e 0,75 m, porém não diferiu de IPR 106, que foi a cultivar com menor LC no 0,90 m.

IPR 103 e IPR 107 não diferiram das cultivares com menor LC no 0,60 m, enquanto no 0,75 m e no 0,90 m não diferiram das cultivares com menor LC também não diferiram de Mundo Novo. Nos espaçamentos 0,60 m e 0,90 m, IPR 106 não diferiu das cultivares com menor LC, enquanto no 0,75 m essa cultivar não diferiu nem de Mundo Novo e nem de IPR 100, a qual teve a menor LC. IPR 100 também teve o menor valor genotípico no 0,60 m, e no 0,90 m não diferiu de Mundo Novo e das cultivares com menor LC (Tabela 10). Baseado nesses resultados dos valores genotípicos é possível verificar que, nitidamente, a LC de Mundo Novo é a mais larga. A LC das demais cultivares variam conforme as alterações dos espaçamentos, porém é possível observar que IPR 99 parece ter uma LC intermediária entre o porte alto e as outras de porte baixo. Aparentemente, IPR 100 e IPR 106 são as cultivares de porte baixo com menor LC, pois foram as únicas que estavam no grupo dos cafeeiros com menor LC em dois espaçamentos. Portanto, pelos resultados obtidos foram observadas cultivares com três diferentes LC, sendo Mundo Novo a cultivar mais larga, e dois grupos diferentes dentro das cultivares de porte baixo. Como já relatado anteriormente, o porte baixo do cafeeiro é controlado por um gene dominante de efeito principal (*major gene Ct*) (Carvalho *et al.*, 1984), no entanto, Sera *et al.* (2022) relataram a hipótese que o porte também pode ser afetado por genes de efeito secundário (*minor genes*) de caráter quantitativo, o que exigiria a existência de subclassificações dentro das cultivares de porte baixo e alto. Esses autores sugeriram a classificação do porte do cafeeiro em baixo-pequeno, baixo-médio, baixo-grande, alto-pequeno, alto-médio e alto-grande. Essa hipótese pode explicar a existência de cultivares de porte baixo diferindo estatisticamente para LC.

No mesmo experimento citado anteriormente para DHP foi observado que plantas em espaçamento entre plantas mais estreitos tiveram a LC também mais estreita, sendo que esta diferença foi mais evidente entre 0,50 m e 0,75 m e entre 0,50 m e 1,00 m, sendo semelhante entre 0,75 m e 1,00 m (Pereira *et al.*, 2011). Ao contrário, tanto pelo valor genotípico quanto pela média fenotípica, observamos que a redução do espaçamento entre plantas, no geral, reduziu a LC (Tabela 10). Isso foi mais nítido entre os espaçamentos 0,45 m e 0,60 m, entre 0,45 m e 0,90 m e entre 0,75 m e 0,90 m. As alterações na LC conforme a mudança dos espaçamentos foi mais evidente entre as cultivares de porte baixo, já que as LC da cultivar de porte alto Mundo Novo foram quase iguais, independente do espaçamento utilizado.

Tabela 10 – Valores genotípico ($\mu + g$), limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) e limite superior do intervalo de confiança (LSIC) largura da copa (LC) em oito cultivares de *C. arabica* avaliadas nos espaçamentos 0,45, 0,60, 0,75 e 0,90 metros.

<u>Espaçamento</u>	Genótipo	$\mu + g$	Acurácia	LIIC	LSIC	Med Fenot ⁽¹⁾
--------------------	----------	-----------	----------	------	------	--------------------------

0,45 m	Mundo Novo	1,84	0,10	1,80	1,88	2,02	a
	IPR 102	1,84	0,10	1,80	1,88	1,97	a
	IPR 99	1,84	0,10	1,80	1,88	1,99	a
	IPR 98	1,84	0,10	1,80	1,88	1,95	a
	IPR 107	1,83	0,10	1,80	1,87	1,72	a
	IPR 106	1,83	0,10	1,80	1,87	1,71	a
	IPR 103	1,83	0,10	1,80	1,87	1,71	a
	IPR 100	1,83	0,10	1,80	1,87	1,71	a
0,60 m	Mundo Novo	1,95	0,89	1,82	2,07	1,97	a
	IPR 99	1,87	0,89	1,74	1,99	1,88	ab
	IPR 98	1,74	0,89	1,62	1,87	1,75	ab
	IPR 103	1,68	0,89	1,56	1,81	1,68	b
	IPR 102	1,68	0,89	1,55	1,81	1,67	b
	IPR 107	1,67	0,89	1,54	1,79	1,66	b
	IPR 106	1,58	0,89	1,45	1,70	1,56	b
	IPR 100	1,56	0,89	1,43	1,68	1,54	b
0,75 m	Mundo Novo	1,96	0,85	1,81	2,11	2,00	a
	IPR 99	1,94	0,85	1,79	2,09	1,96	a
	IPR 102	1,94	0,85	1,79	2,09	1,96	a
	IPR 98	1,81	0,85	1,66	1,96	1,81	ab
	IPR 107	1,80	0,85	1,65	1,95	1,79	ab
	IPR 103	1,79	0,85	1,64	1,94	1,78	ab
	IPR 106	1,75	0,85	1,59	1,90	1,73	ab
	IPR 100	1,56	0,85	1,41	1,71	1,50	b
0,90 m	Mundo Novo	1,93	0,81	1,77	2,09	2,02	a
	IPR 99	1,81	0,81	1,65	1,97	1,84	ab
	IPR 103	1,68	0,82	1,53	1,84	1,68	ab
	IPR 102	1,68	0,82	1,52	1,84	1,68	ab
	IPR 107	1,63	0,81	1,47	1,79	1,61	ab
	IPR 100	1,62	0,81	1,46	1,78	1,59	ab
	IPR 98	1,61	0,81	1,46	1,77	1,59	b
	IPR 106	1,57	0,81	1,41	1,73	1,53	b

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pela da sobreposição do LIIC e o LSIC dos valores genéticos preditos.

Para AP, nos espaçamentos 0,45 m, 0,75 m e 0,90 m, a cultivar Mundo Novo IAC 376-4 apresentou o maior valor genotípico e diferiu estatisticamente das demais cultivares avaliadas. Isso já era esperado pois se trata da única cultivar avaliada nesse estudo, classificada como porte alto (Sera *et al.*, 2022). As demais cultivares, todas de porte baixo, não diferiram entre si nesses três espaçamentos. No 0,60 m, apesar de Mundo Novo apresentar o maior valor genotípico, as cultivares não diferiram entre si (Tabela 11). A hipótese da ação de *minor genes* no porte (Sera *et al.*, 2022), relatado anteriormente para LC, não foi observada para AP, pois as cultivares de porte baixo não diferiram entre si em todos os espaçamentos, indicando que esses *minor genes* afetam mais a LC do que a AP. Isso, provavelmente, ocorre porque as cultivares

possuem diferentes intensidades de ramificações plagiotrópicas, as quais podem afetar no comprimento dos ramos plagiotrópicos. Como exemplo, plantas mais ramificadas podem apresentar menor LC do que plantas com menor intensidade de ramificações plagiotrópicas.

Tabela 11 – Valores genotípico ($\mu + g$), limite inferior do intervalo de confiança (LIIC) e limite superior do intervalo de confiança (LSIC) altura da planta (AP) em oito cultivares de *C. arabica* avaliadas nos espaçamentos 0,45, 0,60, 0,75 e 0,90 metros.

Espaçamento	Genótipo	$\mu + g$	Acurácia	LIIC	LSIC	Med Fenot ⁽¹⁾	
0,45 m	Mundo Novo	3,73	0,91	3,45	4,01	3,76	a
	IPR 102	3,00	0,91	2,72	3,28	3,00	b
	IPR 99	3,00	0,91	2,72	3,28	3,00	b
	IPR 98	2,91	0,91	2,63	3,19	2,90	b
	IPR 103	2,86	0,91	2,58	3,14	2,86	b
	IPR 100	2,70	0,91	2,42	2,98	2,69	b
	IPR 106	2,69	0,91	2,41	2,97	2,68	b
	IPR 107	2,66	0,91	2,38	2,94	2,65	b
0,60 m	Mundo Novo	3,44	0,74	3,03	3,86	3,74	a
	IPR 100	3,15	0,74	2,74	3,57	3,28	a
	IPR 103	2,92	0,74	2,50	3,33	2,89	a
	IPR 99	2,87	0,73	2,45	3,29	2,82	a
	IPR 102	2,87	0,73	2,45	3,29	2,82	a
	IPR 98	2,80	0,74	2,38	3,21	2,70	a
	IPR 107	2,77	0,74	2,35	3,18	2,65	a
	IPR 106	2,67	0,73	2,25	3,09	2,50	a
0,75 m	Mundo Novo	3,54	0,92	3,25	3,83	3,58	a
	IPR 99	2,77	0,92	2,48	3,06	2,77	b
	IPR 102	2,73	0,92	2,44	3,02	2,74	b
	IPR 103	2,68	0,92	2,40	2,97	2,68	b
	IPR 98	2,55	0,92	2,26	2,84	2,55	b
	IPR 107	2,55	0,91	2,26	2,84	2,55	b
	IPR 106	2,46	0,92	2,17	2,75	2,45	b
	IPR 100	2,41	0,91	2,12	2,69	2,40	b
0,90 m	Mundo Novo	3,56	0,92	3,28	3,85	3,60	a
	IPR 99	2,86	0,92	2,58	3,14	2,86	b
	IPR 103	2,80	0,92	2,52	3,09	2,80	b
	IPR 102	2,74	0,92	2,46	3,03	2,74	b
	IPR 98	2,66	0,92	2,38	2,94	2,66	b
	IPR 100	2,61	0,92	2,33	2,89	2,61	b
	IPR 107	2,49	0,92	2,20	2,77	2,48	b
	IPR 106	2,44	0,92	2,16	2,72	2,43	b

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pela da sobreposição do LIIC e o LSIC dos valores genéticos preditos.

As correlações genotípicas de 0 – 0,33, 0,34 – 0,66 e 0,67 – 1,0 são classificadas de

magnitudes baixas, moderada e altas, respectivamente (Resende; Alves, 2020). Portanto, pelos coeficientes de correlação genotípica obtidos foi possível demonstrar que a característica DHP está altamente correlacionada com LC (Tabela 12), indicando que plantas com maior DHP apresentaram maior LC. Também a correlação foi alta e positiva entre LC e AP, mostrando que plantas mais altas tiveram maior largura da copa. Correlações genotípicas positivas e semelhantes entre as variáveis citadas acima também foram observados em um experimento em campo com variedades de *C. arabica* (Walyaro; Van Der Vossen, 1979). Pereira *et al.* (2011) também demonstraram que cafeeiros com maior DHP tiveram maior LC, porém ao contrário do observado no nosso estudo, esses autores verificaram que cafeeiros com maiores DHP e LC apresentaram menor AP.

Tabela 12 – Coeficientes de correlação genotípica entre envergamento da haste principal (EHP), diâmetro da haste principal (DHP), largura da copa (LC) e altura da planta (AP) avaliadas em oito cultivares de *Coffea arabica*.

Caracteres	EHP	DHP	LC	AP
EHP	1,0000	0,2146 ⁽¹⁾	-0,3082 ⁽¹⁾	0,1042 ⁽¹⁾
DHP		1,0000	0,7314 ⁽³⁾	0,7726 ⁽³⁾
LC			1,0000	0,7812 ⁽³⁾
AP				1,0000

Magnitudes dos coeficientes de correlação genotípica conforme Resende e Alves (2020): ⁽¹⁾ Baixa; ⁽²⁾ moderada; ⁽³⁾ alta.

4.6 CONCLUSÕES

Pela metodologia REML/BLUP foi identificada variabilidade genética para as características diâmetro da haste principal (DHP), largura da copa (LC) e altura das plantas (AP) entre as cultivares de café arábica estudadas.

Os valores de herdabilidade e do coeficiente de variação residual indicaram que DHP, LC e AP são controlados por poucos genes e foram pouco influenciados pelo ambiente, no entanto, o envergamento da haste principal (EHP) foi mais influenciado pelo ambiente e parece ser um caracter controlado por mais genes.

Os valores das herdabilidades e das variabilidades genéticas tiveram uma tendência de aumento conforme ocorreu o aumento do espaçamento entre plantas. Isso indica que com o plantio em espaçamentos entre plantas mais largos poderão ser encontradas maiores diferenças genéticas entre os cafeeiros, além de possibilitar um maior ganho genético.

Pelos valores genotípicos preditos foram encontradas cultivares com diferentes DHP, LC e AP, porém não foram encontradas diferenças para EHP.

Plantas com maiores DHP apresentaram maiores LC e AP. Plantas mais altas tiveram maiores DHP e LC.

5 CONCLUSÕES GERAIS

A metodologia REML/BLUP mostrou-se eficiente na identificação da variabilidade genética para força de desprendimento de frutos e caracteres vegetativos nas cultivares de café avaliadas neste estudo. Além disso, por meio dos valores de herdabilidade e do coeficiente de variação residual foi possível identificar quais caracteres são mais influenciados pelo ambiente.

Por meio dos valores genotípicos foram demonstrados que: i) IPR 98 e 106 possuem menor FDF e IPR 103 maior FDF; ii) não foram encontradas diferenças para EHP, porém foram encontradas cultivares com diferentes DHP, LC e AP.

Pelos coeficientes de correlação genotípica foi possível concluir que plantas com maiores DHP apresentaram maiores LC e AP, e plantas mais altas tiveram maiores DHP e LC.

Maiores valores de herdabilidades e variabilidades genética foram encontrados para as cultivares implantadas em espaçamentos entre plantas mais largos, indicando ser possível diferenciar melhor os cafeeiros e aumentar o maior ganho genético nesses espaçamentos.

6 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, W. E. B.; GUIMARÃES, P. T. G.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, R. J. Productivity of arabica coffee plants under influence of population density north-west fluminense. **Coffee Science**, 9, 90-101, 2014.
- ANDREAZI, E.; SERA, G. H.; FARIA, R. T.; SERA, T.; SHIGUEOKA, L. H.; CARVALHO, F. G.; CARDUCCI, F. C.; CHAMLET, D. Desempenho de híbridos F1 de café arábica com resistência simultânea a ferrugem, mancha aureolada e bicho mineiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n.3, p. 375-382, 2015.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S.; JOHANN, J. A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 4, p. 405-417, 2016.
- ARAÚJO-JUNIOR, C. F.; ANDROCIOLI FILHO, A.; RAKOCEVIC, M.; BARROS, C. V.; YADA JUNIOR, G. M.; ROSA, F. T. Atributos arquiteturais de cafeeiros com geometrias contrastantes cultivados em diferentes espaçamentos. **VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Salvador, BA, 2013.
- BERTHAUD, J. **Les ressources génétiques pour l'a mélioration des caféiers arabicains diploides**. Montpellier, France: Orstom, 179 p. (Collection Travaux et Documents), 1986.
- BRIDSON, D. M. Nomenclatural notes on *Psilanthus*, including *Coffea* sect. *Paracoffea* (Rubiaceae tribe Coffeae). **Kew Bulletin**, Melbourne, v. 42, n. 2, p. 453-460, 1987.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6ª Edição, Viçosa: Ed. UFV, 2013. 523 p.
- CAMARGO, Â. P. D.; CAMARGO, M. B. P. D. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60 n.1, p. 65-68, 2001.
- CAMARGO, R.; 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.
- 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.; MÔNACO, L.C. Natural cross pollination in *C. arabica*. In: INTERNATIONAL HORTICULTURA CONGRESS, 16., 1964, Brussels. Proceedings... Brussels: IHC, v. 4, p. 447-449, 1964.
- CARVALHO, C. H. S.; FAZUOLI, L. C.; CARVALHO, G. R.; GUERREIRO FILHO, O.; PEREIRA, A. A.; ALMEIDA, S. R.; MATIELLO, J. B.; BARTHOLO, G. F.; SERA, T.; MOURA, W. M.; MENDES, A. N. G.; REZENDE, J. C.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; NACIF, A. P.; SILVAROLLA, M. B.; BRAGHINI, M. T. Cultivares de Café arábica de porte alto. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 157-226.

CARVALHO, L. P.; FARIAS, F. J. C.; MORELLO, C. L.; TEODORO, P. E. Uso da metodologia REML/BLUP para seleção de genótipos de algodoeiro com maior adaptabilidade e estabilidade produtiva. **Bragantia**, v. 75, p. 314-321, 2016.

CECAFÉ: Conselho dos Exportadores de Café do Brasil. **Relatório mensal, dezembro de 2023**. Disponível em: < <https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes/> > acesso em 17 jan. 2024.

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, 1985. p. 13-47.

CILAS, C.; BOUHARMONT, P.; BOCCARA, M.; ESKES, A. B.; BARADAT, P. H. Prediction of genetic value for coffee production in *Coffea arabica* from a half-diallel with lines and hybrids. **Euphytica**, v. 104, n. 1, p. 49-59, 1998.

CIRILLO, J. E. Avaliação de tempo efetivo da derriça mecanizada e manual do café na região de Garça. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, SP, v.6, n.11, p 1-7, 2007.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café. **Observatório agrícola - Quarto levantamento, Safra 2023**, v. 10, n. 6, p.1-49, 2023.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. D.; ELLERY JUNIOR, R. G. D.; CONCEIÇÃO, P. H. Z. D. Cadeia agroindustrial do café no Brasil: Uma análise do período recente. **Radar**, v.53. 2017.

CRISOSTO, C. H.; NAGAO, M. A. Evaluation of fruit removal force of coffee cultivars. **Hortscience**, v. 26, n. 2, p. 210-210, 1991.

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.

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

DAMATTA, F. M.; RENA, A. B. **Relações hídricas no cafeeiro**. In: Encarnação RO, AFONSO JÚNIOR, P. C.; RUFINO J. L. S. (eds), I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil: Palestras, p.9-44. Embrapa Café, Brasília, 2002.

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**, v. 152, 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**, v.167, n.4, p.357-377, 2011.

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.; VENCOSKY, 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.

DUSSERT, D.; LASHERMES, P.; ANTHONY, F.; MONTAGNON, C.; TROUSLOT, P.; COMBES, M. C.; BERTHAUD, J.; NOIROT, M.; HAMON, S. Le caféier *Coffea canephora*. *In*: HAMON, P.; SEGUIN, M.; PERRIER, X.; GLASZMANN, J. C. (eds), **Diversité génétique des plantes tropicales cultivées**, Cirad, Montpellier, France, p.175-194, 1999.

FATOBENE, B. J. R.; ANDRADE, V. T.; ALOISE, G. S.; SILVAROLLA, M. B.; GOMÇALVES, W.; GUERREIRO FILHO, O. Wild *Coffea arabica* resistant to *Meloidogyne paranaensis* and genetic parameters for resistance. **Euphytica** **213**, 196, 2017.

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. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 33., 2007, Lavras. **Anais [...]**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2007. p. 1-10.

FAZUOLI, L. C., OLIVEIRA, A. D., TOMA-BRAGUINI, M.; SILVAROLLA, M. B. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust at the IAC. *In*: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa: UFV, 2005b. p. 137-185.

FAZUOLI, L. C.; CARVALHO, C. H. S.; CARVALHO, G. R.; GUERREIRO FILHO, O.; PEREIRA, A. A.; BARTHOLO, G. F.; MOURA, W. M.; SILVAROLLA, M. B.; TOMA-BRAGHINI, M. Cultivares de Café arábica de porte alto. *In*: CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 227-254.

FAZUOLI, L. C.; GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B.; MEDINA FILHO, H. P.; CARVALHO, A. Avaliação das cultivares Mundo Novo, Bourbon Amarelo e Bourbon Vermelho de *Coffea arabica* L. em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 533-546, 2005a.

FAZUOLI, L. C.; MEDINA FILHO, H. P.; GONÇALVES, W.; GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B. Melhoramento do cafeeiro: Variedades Tipo Arábica Obtidas no Instituto Agrônômico de Campinas. *In*: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002. p. 163-216.

FAZUOLI, L. C.; TOMA-BRAGHINI, M.; SILVAROLLA, M. B.; GONÇALVES, W.; MISTRO, J. C.; GALLO, P. B.; GUERREIRO FILHO, O. IAC Catuaí SH3 – a dwarf Arabica coffee cultivar with leaf rust resistance and drought tolerance. **Coffee Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 3, p. 356-359, 2019.

FERRAZ, G. A. S.; SILVA, F. M.; ALVES, M. C.; BUENO, R. L.; COSTA, P.A.N. Geostatistical analysis of fruit yield and detachment force in coffee. *Precision Agriculture*, Dordrecht, v. 13, n. 1, p. 76-89, Jan. 2012.

FERRAZ, G. A. S.; SILVA, F. M.; OLIVEIRA, M. S.; SILVA, F. C.; BUENO, R. L.

Variabilidade especial da força de desprendimento de frutos do cafeeiro. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n.6, p. 1210-1223, 2014.

FERREIRA JÚNIOR, L. G.; SILVA, F. M.; FERREIRA, D. D.; SIMÃO, S D.; SOUZA, G. C.; FERREIRA, L. K. Characterization of the coffee fruit detachment force in crop subjected to mecanized harvesting. **Coffee Science**, v. 13, n. 1, p. 71–79, 2018.

GODIN, C. Representing and encoding plant architecture: a review. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 57, n. 5, p. 413-438, Jun. 2000.

GUERREIRO FILHO, O.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; SILVAROLLA M. B.; BOTELHP. C. E.; FAZUOLI, L. C. Origem e classificação botânica do cafeeiro. IN: CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café: origem características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, p. 27-34, 2008.

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

ICO: International Coffee Organization. **Relatório sobre o mercado de café, dezembro 2023**. Disponível em:< <https://www.icocoffee.org/documents/cy2023-24/cm-1223-p.pdf> > Acesso em: 17 jan. 2024

ITO, D. S.; SERA, T.; SERA, G. H.; GROSSI, L.; KANAYAMA, F. S. Resistance to bacterial blight in arabica coffee cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 8, p. 99-103, 2008.

JELIHOVSCHI, E. G.; FARIA, J. C.; ALLAMAN, I. B. ScottKnott: A Package for Performing the Scott-Knott Clustering Algorithm in R. **Trends in Applied and Computational Mathematics**, v. 15, n. 1, p. 3-17, 2014.

LASHERMES, P.; COMBES, M. C.; ROBERT, J.; TROUSLOT, P.; D'HONT, A.; ANTHONY, F.; CHARRIER, A. Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. **Molecular and General Genetics**, New York, v. 261, p. 259-266, 1999.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **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.

MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; FAZUOLI, L. C.; SILVAROLLA, M. B. História das primeiras cultivares de café plantadas no Brasil. In: CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008a. p. 69-78.

MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; FAZUOLI, L. C.; SILVAROLLA, M. B. Mutantes de *Coffea arabica* L. e cultivares de importância histórica. In: CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008b. p. 281-298.

MONTAGNON, C.; LEROY, T.; YAPO, A. Étude complémentaire de la diversité génétique et phénotypique des caféiers de l'espèce *C. canephora* en collection en Côte d'Ivoire. In: COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ, 14., 1992, Paris.

Proceedings... Paris, France: ASIC, 1992. p. 444-450.

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.; KRISTIENSEN, 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.; 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, 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.

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.

PARCHOMCHUK, P.; COOKE, J. R. Vibratory fruit harvesting: an experimental analysis of fruit-stem dynamics. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.15, n.4, p.598-603, 1971.

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, 2013a.

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.

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

PEREIRA, C. T. M.; SERA, G. H.; SERA, T.; SHIGUEOKA, L. H.; CARDUCCI, F. C.; DIAS DA SILVA, J. B. G.; TELLES, T. S. Arabica coffee yields and profitability improved by reducing the spacing within the rows. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 2, p. 1220-1228, 2022.

PEREIRA, S. P.; BARTHOLO, G. F.; BALIZA, D. P.; SOBREIRA, F. M.; GUIMARÃES, R. J. Crescimento, produtividade e bialidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 152-160, 2011.

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.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2016.

RAINA, S. N.; MUKAY, Y.; YAMAMOTO, M. In situ hybridization identifies the diploid genitor species of *Coffea arabica* (Rubiaceae). **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 97, p. 1204-1209, 1998.

RAKOCEVIC, M.; ANDROCIOLI-FILHO, A. Morphophysiological characteristics of *Coffea arabica* L. in different arrangements: lessons from a 3d virtual plant approach. **Coffee Science**, v. 5, n. 2, p.154-166, 2010.

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.; ALVES, R. S. Linear, generalized, hierarchical, bayesian and random regression mixed models in genetics/genomics in plant breeding. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 2, n. 2, 2020.

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.; FURLANI JÚNIOR, 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**, v. 60, p. 185-193, 2001.

REVELLE, W. **Psych: procedures for personality and psychological research**. Northwestern University, Evanston, Illinois, USA. <http://CRAN.R-project.org/package=psych> Version = 1.6.4. 2016.

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 progenies to root-knot nematode. **Crop Science**, v. 57, n. 3, p. 1355-1362, 2017.

RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H. S. G.; SOUZA FILHO, G. R.; PARTELLI, F. L. Agronomic performance of arabica coffee genotypes in northwest Rio de

Janeiro State. **Genetics and Molecular Research**, 13, 5664-5673, 2014.

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.

SAKIYAMA, N. S. O café arábica. In: SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. (Eds.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 9-23.

SERA, G. H.; SERA, T.; MARIUCCI JUNIOR, V.; SHIGUEOKA, L. H. Cultivares de café arábica: origem, características e recomendações para alta rentabilidade. In: POZZA, E. A.; SANTINATO, F.; SERA, G. H.; MATIELLO, J. B.; GUERREIRO FILHO, O.; SANTINATO, R.; SILVA, R. P.; BENVENGA, S. R. (Eds.). **A moderna cafeicultura brasileira: tecnologias que afetam a produtividade**. Jaboticabal: FUNEP, 2022. p. 147-180.

SERA, T.; SERA, G. H. IPR 107 – Dwarf arabic coffee cultivar with resistance to coffee leaf rust. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 13, p. 215-217, 2013.

SERA, T.; SERA, G. H.; FAZUOLI, L. C. IPR 103 – Rustic dwarf Arabic coffee cultivar more adapted to hot regions and poor soils. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 13, p. 95-98, 2013.

SILVA, F. C. Efeito da força de desprendimento e maturação dos frutos de cafeeiros na colheita mecanizada. 2008. 106 p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SILVA, F. C.; SILVA, F. M.; ALVES, M. C.; BARROS, M. M.; SALES, R. S. Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 468-474, 2010.

SILVA, F. C.; SILVA, F. M.; SCALCO, M. S.; SALES, R. S. Correlação da força de desprendimento dos frutos em cafeeiros sob diferentes condições nutricionais. **Coffee Science**, v. 11, n. 2, p. 169–179, 2016.

SILVA, F. C.; SILVA, F. M.; SILVA, A. C.; BARROS, M. M.; PALMA, M. A. Z. Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, v. 8, n. 1, p. 53–60, 2013.

SILVEIRA, J. M. C.; NASSER, M. D.; MARIANO-NASSER, F. A. C.; PAGLIARINI, M. K.; GIOMO, G. S. Population density of Arabica coffee cultivars for bean quality and yield. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 48, 358-363, 2018.

SODRÉ, U. **Matemática Essencial: volume de sólido elipsoidal**. Volume de sólido elipsoidal. 2020. Disponível em <https://www.uel.br/projetos/matessencial/basico/online/elipsoide.html>. Acesso em: 26 ago. 2023.

TEIXEIRA, M. M. *et al.* Colheita e Pós colheita: colheita de café. In: SAKIYAMA, Ney *et al* (Ed.). **Café Arábica: do Plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. Cap. 10. p. 216-249.

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**, Londrina, v. 4, p. 416-421, 2004.

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**, Londrina, v. 4, p. 416-421, 2004.

TONGUMPAI, P. Strategies for machine harvesting of mature coffe (*Coffee arabica* L.) fruits. 1993. 167f. **Thesis** (Doctor in Fitotecnia)-Oregon State University, Saint Joseph, 1993.

WALYARO, D. J.; VAN DER VOSSSEN, H. A. M. Early determination of yield potential in arabica coffee by applying index selection. **Euphytica**, v. 28, n. 2, p. 465-472, 1979.