

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

MATHEUS OLIVEIRA TRISTÃO

**MODELOS MISTOS NA SELEÇÃO DE *Coffea arabica*, VISANDO RESISTÊNCIA A
FERRUGEM E QUALIDADE DE BEBIDA**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

MATHEUS OLIVEIRA TRISTÃO

**MODELOS MISTOS NA SELEÇÃO DE *Coffea arabica*, VISANDO RESISTÊNCIA A
FERRUGEM E QUALIDADE DE BEBIDA**

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

Orientadora: Eveline Teixeira Caixeta

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

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

T

T838m
2022 Tristão, Matheus Oliveira, 1996-
Modelos mistos na seleção de *Coffea arabica*, visando
resistência a ferrugem e qualidade de bebida / Matheus Oliveira
Tristão. – Viçosa, MG, 2022.
1 dissertação eletrônica (53 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Eveline Teixeira Caixeta.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2022.
Referências bibliográficas: f. 44-53.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.229>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Café - Melhoramento genético. 2. Café - Avaliação
sensorial . 3. *Hemileia vastatrix* . 4. Modelos multiníveis
(Estatísticas). I. Caixeta, Eveline Teixeira, 1963-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Genética e
Melhoramento. III. Título.

CDD 22. ed. 633.732

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto CRB6 2523

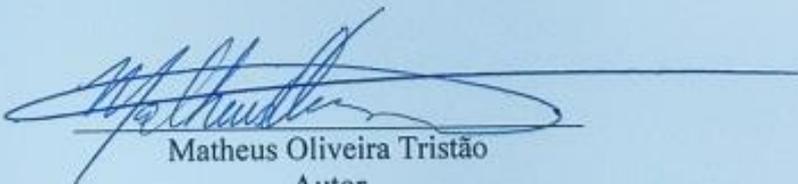
MATHEUS OLIVEIRA TRISTÃO

MODELOS MISTOS NA SELEÇÃO DE *Coffea arabica*, VISANDO RESISTÊNCIA A FERRUGEM E QUALIDADE DE BEBIDA

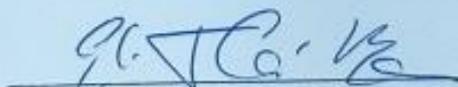
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de março de 2022.

Assentimento:



Matheus Oliveira Tristão
Autor



Eveline Teixeira Caixeta
Orientadora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida e por todas casualidades a partir dela.

Aos meus avós, pela humildade e sabedoria. Aos meus pais Marilucia e Cícero e a minha irmã Maria Eduarda pela confiança, por todo carinho, companhia e imensurável amor.

À minha orientadora Eveline Caixeta, pelos desafios propostos e incentivo ao aprendizado.

Aos meus coorientadores Antônio Carlos Baião e Moysés Nascimento pelos conhecimentos compartilhados.

A toda equipe Biocafé, gratidão pelos trabalhos realizados e por todos os bons momentos. Em especial para meu braço direito Bruna Mariz, por toda dedicação e paciência.

À Carol Andrade, Danúbia Rodrigues, Letícia Faria e Poliane Ribeiro pelo apoio e suporte. E aos colegas da estatística Ivan Barbosa e Renan Malikouski, pelo auxílio com entusiasmo.

Aos amigos da graduação por todo tempo e experiências vividas.

À EPAMIG e os colegas de trabalho, pelos anos de desenvolvimento na iniciação científica.

A toda equipe do Grupo de Estudos em Genética e Melhoramento – GenMelhor pela experiência e crescimento pessoal adquiridos.

A todas outras amizades formadas durante este período, por me motivarem e tornarem isso possível.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Genética e Melhoramento pelo ensino de excelência, aos grandes profissionais atuantes na educação e formação profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e incentivo a pesquisa.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), ao Consórcio de Pesquisa Café (CBP&D/Café) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte técnico e financeiro.

RESUMO

TRISTÃO, Matheus Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2022. **Modelos mistos na seleção de *Coffea arabica*, visando resistência a ferrugem e qualidade de bebida.** Orientadora: Eveline Teixeira Caixeta.

O mercado de cafés especiais tem crescido mundialmente, uma vez que a qualidade sensorial da bebida atrai consumidores que buscam por experiências exclusivas de degustação, o que consequentemente agrega valor ao produto. As cultivares de *Coffea arabica* tradicionalmente plantadas nos parques cafeeiros do Brasil, apesar de terem boa aptidão produtiva e qualidade de bebida, são susceptíveis a *Hemileia vastatrix*, causador da ferrugem alaranjada. Considerando a importância do melhoramento genético do cafeeiro, o presente estudo propõe avaliar via modelos mistos o potencial produtivo e de qualidade sensorial de bebida referentes a 17 progênies de *C. arabica* resistentes a *H. vastatrix* em geração F₆. Para isso, obteve-se híbridos oriundos do cruzamento entre a cultivar Catuaí Amarelo IAC 30 e o Híbrido de Timor UFV 445-56, cuja as seleções foram conduzidas pelo método genealógico. Foi avaliada a produção, características morfoagronômicas (vigor, altura de planta, diâmetro de copa, diâmetro de caule, cor de broto, cor de fruto, tamanho de fruto, ciclo e uniformidade de maturação, severidade de cercosporiose e ferrugem), de composição física dos grãos (defeitos, granulometria de peneira e porcentagem de grãos chato e moca) e qualidade sensorial de bebida (fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, ausência de defeitos, doçura, uniformidade, finalização, equilíbrio, final e total). As análises estatísticas foram realizadas via modelos mistos, através da deviance foi aplicado o teste LRT, posteriormente foi estimado os componentes de variância e coeficientes de determinação para cada característica em estudo. Também foram estimadas as correlações genéticas, o estudo da diversidade genética, a importância relativa, e índice de seleção das progênies. Foi observada variabilidade genética entre as progênies para maioria das características avaliadas, tanto para produção, morfoagronômicas e sensoriais de bebida. As progênies se comportaram superiores para produção, resistência a ferrugem e qualidade de bebida em relação as cultivares tradicionais. Todas progênies obtiveram pontuação sensorial acima de 80, internacionalmente classificando-as como cafés especiais *Premium* e *Specialty Origin*. A partir do estudo da diversidade genética três grupos foram formados, possibilitando a seleção de genitores para futuros cruzamentos e a recomendação de cultivares. Pelo índice de seleção obteve-se ganhos de 15,85% para produção, 10% para uniformidade de maturação, 9,05% para diâmetro de copa e 4,86% para altura de planta.

Palavras-chave: Melhoramento genético. Análise sensorial. *Hemileia vastatrix*. Modelagem mista.

ABSTRACT

TRISTÃO, Matheus Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2022. **Mixed models in selection of *Coffea arabica*, aiming for rust resistant and beverage quality.** Advisor: Eveline Teixeira Caixeta.

The specialty coffee market has grown worldwide, since sensory quality of the beverage attracts consumers who seek for exclusive tasting experiences, which consequently adds value to the product. The *Coffea arabica* cultivars traditionally planted in coffee parks of Brazil, despite having good aptitude for productive and drink quality, are susceptible to *Hemileia vastatrix*, which cause orange rust. Considering the importance of coffee genetic breeding, the present study proposes to evaluate, through mixed models, the productive and sensory quality potential of beverages referring to 17 progenies of *C. arabica* resistant to *H. vastatrix* in F₆ generation. For this, hybrids from the cross between the cultivar Catuaí IAC 30 and the Timor Hybrid UFV 445-56 were obtained, whose selections were conducted by the genealogical method. Were evaluated the production, morphoagronomic characteristics (vigor, plant height, canopy diameter, stem diameter, bud color, fruit color, fruit size, maturation cycle and uniformity, severity of cercosporiosis and rust), physical composition of the grains (defects, sieve granulometry and percentage of flat and moca grains) and beverage quality (fragrance/aroma, flavor, acidity, body, absence of defects, sweetness, uniformity, finish, balance, final and total). Statistical analyses were performed via mixed models, through deviance the LRT test was applied, and the variance components and coefficients of determination for each characteristic under study were later estimated. Were also estimated the Genetic correlations, the study of genetic diversity, relative importance, and made the selection index of progenies. Genetic variability was observed among the progenies for most of the evaluated characteristics, both for production, morphoagronomic and sensory of beverage. The progenies behaved superior for production, rust resistance and beverage quality in relation to traditional cultivars. All progenies obtained sensory scores above 80, internationally classifying them as “Premium” and “Specialty Origin” specialty coffees. From the study of genetic diversity, three groups were formed, enabling the selection of parents for future crosses and the recommendation of cultivars. By the selection index, were obtained gains of 15,85% for production, 10,0% for uniformity of maturation, 9,05% for crown diameter and 4,86% for plant height.

Keywords: Genetical enhancement. Sensory analysis. *Hemileia vastatrix*. Mixed modeling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1. Genealogia e histórico do processo de seleção das progênies avaliadas	14
2.2. Características avaliadas	17
2.3. Análises estatísticas	21
2.3.1. Produtividade.....	21
2.3.2. Qualidade física dos grãos e sensorial de bebida	21
2.3.3. Características morfoagronômicas	23
2.3.4. Índice de Seleção	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
3.1. Produtividade	24
3.2. Análise Sensorial	27
3.3. Características morfoagronômicas.....	34
3.4. Índice de Seleção	41
4. CONCLUSÕES.....	43
5. REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

Até o presente momento são descritas 124 espécies de café, sendo que *Coffea arabica* (arábica) e *Coffea canephora* (canéfora) são as de interesse agrônômico comercial (DAVIS et al., 2011). A cafeicultura influencia desde aspectos culturais aos socioeconômicos de um país, gerando empregos e renda em toda cadeia produtiva (FAO, 2015; SAKIYAMA, 2015; WINSTON et al., 2005). De acordo com dados da Organização Internacional do Café, aproximadamente 70 países produzem o grão, o que reforça a importância da cultura na economia mundial (OIC, 2022). A produção mundial do ano safra 2020/21 atingiu aproximadamente 170 milhões de sacas de 60 kg (USDA, 2021).

Desde sua chegada ao Brasil na década de 1720, a produção cafeeira tem grande importância no cenário agrícola nacional (DIAS; SILVA, 2015; OLIVEIRA et al., 2021). Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café (CECAFÉ, 2022b; CONAB, 2022; FAO, 2021; OIC, 2022). Segundo o CeCafé (2022), a exportação brasileira bateu recorde no ano safra 2020/21 alcançando 43,9 milhões de sacas convertidas em uma receita de US\$ 5,53 bilhões para economia. A produção de arábica e canéfora representa, no Brasil cerca de 77% e 23%, respectivamente (CONAB, 2021). Nos últimos 8 anos, a produção média de arábica foi de 38 milhões de sacas beneficiadas, enquanto o canéfora foi 13 milhões (CONAB, 2022). O faturamento das lavouras cafeeiras no Brasil, mensurado pelo Valor Bruto da Produção (VBP), atingiu R\$ 40,12 bilhões em 2021 com arábica e canéfora. O estado de Minas Gerais é o maior produtor do país, cuja safra de 2021 alcançou 22,14 milhões de sacas e representou 46,4% da produção total nacional. (CONAB, 2021)

Em 2020, os cafés especiais foram responsáveis por cerca de 17% das exportações e um aumento de 53% em relação ao ano de 2017. Estima-se crescimento de 15% ao ano de cafés especiais, enquanto o café convencional (*commodity*) cresceu apenas 2% nas médias dos últimos anos (CECAFÉ, 2022b; SILVA, 2018). O valor agregado da produção de cafés diferenciados varia em média até 40% a mais em relação ao convencional, o que proporcionou crescimento sete vezes superior ao mercado de cafés comuns (COSTA; BESSA, 2014). Esta valorização de cafés especiais pode ser explicada pela preferência dos consumidores, que buscam cada vez mais cafés de elevada qualidade sensorial e com características distintas. Esses consumidores exigentes movimentam uma economia que só em janeiro de 2022 alcançou 559 mil sacas de café, 12% maior que no mesmo período em 2020 (CECAFÉ, 2022b).

O conceito “cafés especiais” foi proposto na década de 70 pela fundadora da *Knutsen Coffees*, Erna Knutsen, em uma conferência internacional sobre cafés que aconteceu na França.

Na época, definiu-se um conceito simples para os cafés especiais: seriam aqueles que possuíssem características sensoriais especiais, encontrados em regiões geográficas com microclimas específicos que proporcionam características distintas à bebida, tornando a experiência sensorial única e exclusiva (RHINEHART, 2009; SCA, 2022a). Logo após o surgimento do termo “café especial” foi fundada, no início da década de 80, a *Specialty Coffee Association of America - SCAA* (“Associação de Cafés Especiais da América”) com intuito de estimular o mercado de café especiais, incentivando a produção, o consumo e agregando valor ao produto, além de disseminar o conhecimento sobre a cadeia produtiva do café. (FIGUEIREDO et al., 2013; SCA, 2022b). Depois de alcançar reconhecimento mundial, atualmente essa associação é denominada *Specialty Coffee Association – SCA* (“Associação de Cafés Especiais”) e outros países seguem os conceitos propostos, como a *Brazil Specialty Coffee Association - BSCA* (BSCA, 2022; SCA, 2022c).

Apesar de fundada essa associação e de atenção mundial para a qualidade de bebida do café, a avaliação dessa qualidade é subjetiva e variável entre países e regiões. Buscando então, uma padronização que pudesse ser validada em diferentes países, foi desenvolvida a metodologia *SCAA Cupping Method* para avaliação da qualidade de bebida do café (SCAA, 2015). Esse processo padronizado torna mais precisa a avaliação e classificação dos cafés especiais, possibilitando a comparação entre cafés de diferentes regiões no mundo. O protocolo consiste em realizar uma análise sensorial descritiva e qualitativa conhecida como “prova da xícara” (degustação), realizada por profissionais treinados e certificados, denominados “*Cupping Judges*”. Neste processo, as amostras são avaliadas com uma torra padronizada por tempo, cor e desenvolvimento, moagem com granulometria padrão, concentração e número de xícaras calculados de forma a alcançar uma maior precisão nas pontuações. São atribuídas notas de 6 a 10 para caracterização dos atributos sensoriais fragrância/aroma, acidez, corpo, sabor, ausência de defeito, doçura, uniformidade, finalização, equilíbrio e final. Desta forma, a pontuação de cada atributo é dividida em “Bom” quando os valores de qualidade estão entre 6 e 6,75, “Muito bom” entre 7 e 7,75, “Excelente” entre 8 e 8,75 e “Excepcional” entre 9 e 9,75 pontos. O resultado final é a soma das notas dos atributos avaliados e cafés com pontuação total inferiores a 80 pontos são classificados como “Abaixo de Premium”, como “Premium” entre 80-84,99, “Specialty Origin (Origem Especial)” entre 85-89,99 e “Specialty Rare (Especial Raro)” cafés com notas de 90-100 pontos (SCA, 2022d; SCAA, 2015).

Quanto melhores as propriedades como aparência, densidade, tamanho e forma dos grãos, condição sanitária, tipo e características sensoriais da bebida, maior será a qualidade alcançada (BORÉM, 2008; WINSTON et al., 2005). Deve haver nos cafés especiais equilíbrio

entre aroma, sabor, acidez, corpo e adstringência, que são atributos sensoriais peculiares a cada amostra. Além do equilíbrio, podem ser encontrados atributos exóticos que despertem interesse e satisfação dos consumidores que apreciam cafés especiais (BARBOSA, 2018; SAES, 2001). Logo, cafés especiais devem apresentar um caráter distinto na xícara e serem notavelmente bons, ou seja, devem possuir elevado potencial de expressão de aroma e sabor (GIOMO; BORÉM, 2011; KITZBERGER et al., 2016)

A qualidade diferenciada dos cafés especiais está relacionada aos fatores intrínsecos das interações entre ambiente x processamento x genótipo (BORÉM et al., 2016; FASSIO, 2017; RHINEHART, 2009; RIBEIRO et al., 2016). A influência de ambientes e exposição do cafeeiro à diferentes condições edafoclimáticas, propicia variação na qualidade sensorial de bebida (BARBOSA, 2018). Geralmente locais de altitudes elevadas possuem temperatura amena, esses fatores aumentam a duração ciclo e melhoram a uniformidade da maturação, o que propicia maior acumulo de açúcares, homogeneidade e, conseqüentemente, grãos mais apreciados pelos consumidores (SILVEIRA et al., 2016).

Observando esse contexto, atualmente são utilizados dois métodos de processamento pós-colheita do café, sendo eles o de via seca e o via úmida (BORÉM, 2008), influenciando a qualidade final da bebida de acordo com o genótipo, local, clima e tecnificação do produtor. Em ambos os processos, a limpeza dos cafés cereja ocorre em tanques de água, de forma que as impurezas, como folhas, gravetos, grãos passas e chocos, por possuírem menor densidade, são separadas dos grãos sadios que são mais densos (RIBEIRO, 2013). No processo via úmida, os frutos são descascados logo após a lavagem, momento onde ocorre a separação mecânica entre os frutos cereja descascados e o restante dos frutos verdes. Esses cafés são, em seguida, colocados para secagem. Os grãos descascados e com a mucilagem removida resultam em lotes mais homogêneos, reduzindo o tempo de secagem e permitindo maior controle da qualidade final do produto, mas exige maquinário e maior tecnificação do produtor (OLIVEIRA et al., 2013). O processamento pós colheita via seca por sua vez, mantém o grão envolto pela casca e mucilagem, que são fontes de fermentação e umidade. Este fator retarda a secagem e pode comprometer a qualidade dos grãos, além de permanecer com defeitos devido à dificuldade de remover os frutos mal granados, verdes, fermentados e atacados por pragas. Entretanto, mesmo possuindo maior risco de comprometer a qualidade da bebida, cerca de 80% dos cafeicultores utilizam o processo via seca em suas propriedades dando origem ao que conhecemos como café em “coco” ou “natural” (TEIXEIRA et al., 2015).

Abordando as diferentes espécies, *C. canephora* possui maiores teores de polifenóis e cafeína, enquanto o *C. arabica* apresenta melhor qualidade de bebida e maiores teores de

carboidratos, lipídeos e trigonelina, dentre outros compostos que são fatores essenciais para determinar a qualidade sensorial da bebida (BARBOSA, 2018). Assim, tem-se que grãos de café canéfora são geralmente usados na indústria de solúveis, enquanto o arábica é preferencialmente destinado às bebidas especiais, sendo possível também a produção de *blends* (misturas), que consiste na preparação de bebidas que contenham grãos das duas espécies (RIBEIRO et al., 2014).

Observando esse nicho de mercado para cafés especiais, os programas de melhoramento do cafeeiro têm se preocupado em disponibilizar aos produtores cultivares com elevada qualidade de bebida (GIMASE et al., 2014; PEREIRA et al., 2011; SCHOLZ et al., 2016; TESSEMA et al., 2011). Logo, as novas cultivares devem se adequar às exigências dos produtores e dos mercados de cafés especiais nacional e internacional, buscando inserir atributos qualitativos que os distinguem dos demais cafés convencionais (GIOMO et al., 2009). Dessa forma, surge um grande desafio para os programas de melhoramento genético, que necessitam incorporar, nas cultivares, inúmeros atributos relacionados à qualidade de bebida, elevada produção e características agronomicamente desejáveis como: adaptação à diferentes condições edafoclimáticas, boa arquitetura de planta, uniformidade de maturação e resistência a pragas e doenças (CARVALHO et al., 2011; LEROY et al., 2006)

Em relação às doenças, a principal é a ferrugem alaranjada causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., com ocorrência em todas as regiões produtoras (VAN DER VOSSEN, 2005). Desde o seu primeiro relato no Brasil em 1970, esta doença tem causado grandes prejuízos econômicos, que podem causar até 50% de perdas na produção dependendo da cultivar plantada, do sistema de cultivo, idade do cafeeiro, manejo da lavoura e de outros fatores abióticos (OLIVEIRA et al., 2021; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2021). Os sintomas causados pela ferrugem são a desfolha precoce e a seca dos ramos laterais antes da época de florescimento, refletidos na perda de frutificação efetiva da produção atual, e ainda causando redução na produção do ano seguinte (PEREIRA et al., 2013a; ZAMBOLIM, 2007). A diminuição da área fotossintética causada pela ferrugem com a queda das folhas, reduz a disponibilidade de fotoassimilados destinados aos frutos, o que gera grãos anormais, com tamanho reduzido, chochos e com baixos valores alimentares e qualidade industrial inferior (SILVA et al., 2015).

Até o presente momento não foi descrito nenhum controle biológico para *H. vastatrix* no cafeeiro. O controle químico com a utilização de fungicidas é o método mais empregado nas lavouras para o controle da ferrugem, atualmente com 172 registros de agroquímicos no Brasil (BRASIL, 2022a; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2018). Os fungicidas, apesar de ter boa eficiência,

contribuem para reforçar a pressão de seleção do patógeno na lavoura, criando raças deste fungo ainda mais virulentas e agressivas. Também existe um custo associado ao emprego destes agroquímicos, de aproximadamente 7% dos custos totais, além de não ser uma prática ambientalmente recomendada devido aos altos riscos para o meio ambiente e para quem manipula os compostos químicos (BRASIL, 2022a; OLIVEIRA et al., 2021; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2021). Portanto, o controle genético com o uso de cultivares resistentes destaca-se entre as alternativas de controles para ferrugem, devido ao seu baixo custo, à alta eficiência, à facilidade de implantação e também aos menores danos causados à saúde e ao meio ambiente (ALKIMIM, 2013; ZAMBOLIM, 2016).

No Brasil já foram relatadas 16 raças de *H. vastatrix* (CABRAL et al., 2009; ZAMBOLIM, 2016; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2021), algumas dessas são complexas e possuem mais de um gene de virulência, suplantando a resistência de cultivares que antes haviam sido lançadas como resistentes (CAPUCHO et al., 2012; VARZEA; MARQUES, 2005). Estudos comprovaram a presença de pelo menos nove genes associados à resistência à ferrugem no cafeeiro (S_H1 a S_H9), que podem estar presentes no genótipo de forma isolada ou em combinações (BETTENCOURT; RODRIGUES, 1988).

Os genes S_H1 , S_H2 , S_H4 e S_H5 foram identificados em *C. arabica*, no entanto, a alta pressão de seleção imposta pelo patógeno resultaram na suplantação da resistências conferida por esses genes (BETTENCOURT; NORONHA WAGNER, 1971; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2021). O gene S_H3 foi identificado em *C. liberica* e os genes S_H6 , S_H7 , S_H8 e S_H9 foram encontrados em *C. canephora* e híbridos interespecíficos como o Híbrido de Timor, estes ainda se mostram bastante promissores na resistência genética a ferrugem (BETTENCOURT et al., 1980; ZAMBOLIM, 2016). Estudos indicam que existem outros genes de resistência ainda não caracterizados, que podem estar associados ou não aos genes S_H1 e S_H9 , e que conferem resistência a mais de 50 raças de *H. vastatrix* (VÁRZEA; MARQUES, 2005; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2018).

Embora sejam encontradas 138 cultivares de *C. arabica* registradas para uso no Brasil (BRASIL, 2022b), elas apresentam base genética estreita (CARVALHO, 2008). Setotaw et al. (2013) demonstraram que apenas sete genótipos são responsáveis por 97,55% da base genética das cultivares brasileiras. Para contornar a pequena variabilidade entre as cultivares de café arábica e manipular genes que conferem resistência genética a ferrugem, são utilizados, no melhoramento, genótipos derivados do Híbrido de Timor (CARVALHO, 2008; PEREIRA, 2010; SETOTAW et al., 2013).

O Híbrido de Timor é oriundo de um cruzamento interespecífico natural entre *C. arabica* e *C. canephora*, que apresenta os genes S_H5 procedente de arábica, e os S_H6 a S_H9 de canéfora (BETTENCOURT, 1973). O cruzamento de cultivares de arábica e o Híbrido de Timor tem se mostrado estratégia mais eficiente para introdução e acúmulo de maior número destes genes de resistência interespecíficos em uma descendência. Essa metodologia, denominada piramidação de genes, amplia a durabilidade da resistência e também aumenta o espectro da resistência, o que é de extrema importância considerando a alta variabilidade genética e coevolução das raças de *H. vastatrix* (FEITOSA, 2017; ZAMBOLIM, 2016). Trabalhos demonstraram que genótipos derivados do cruzamento entre Híbrido de Timor e cultivares de arábica geram populações segregantes, que além de serem resistentes a ferrugem, apresentam boa produtividade e excelente qualidade sensorial para bebida (BARBOSA, 2018; FEITOSA, 2017; PEREIRA et al., 2013a, 2011; SETOTAW et al., 2013; SOBREIRA, 2013; SOUSA et al., 2019).

As populações segregantes resultantes dos cruzamentos direcionados com Híbrido de Timor são implantadas e conduzidas em campos de seleção de híbridos (OLIVEIRA et al., 2021). O objetivo é selecionar ao longo dos avanços de geração, genótipos que se comportem como resistentes à ferrugem e que possuam alta capacidade produtiva e comercial, acumulando características morfoagronômicas de interesse (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). Em gerações avançadas, com a maioria dos locos fixados em homozigose, as progênies podem ser submetidas a análises de qualidade de bebida (OLIVEIRA et al., 2021). Essa heterogeneidade de características avaliadas, principalmente no final dos programas de melhoramento, desafiam o trabalho dos melhoristas na seleção dos genótipos elite (RESENDE et al., 2001).

Dessa forma, existe complexidade no desenvolvimento de cultivares no melhoramento do cafeeiro, pois o café além de ser perene (dados longitudinais), apresenta alta variação na expressão morfoagronômica ao longo de vários anos, variável taxa de sobrevivência, longo ciclo reprodutivo, oscilação anual de produção (bionalidade) e ainda diferenças acentuadas em precocidade e longevidade produtiva (ALKIMIM et al., 2021; PEREIRA et al., 2013b; RESENDE et al., 2001). Essas variações entre safras tendem a gerar dados desbalanceados que se torna dificultadores para estimação de parâmetros genéticos e predição dos valores genéticos (RESENDE et al., 2001). Por isso, se faz necessário aplicar metodologias estatísticas capazes de representação matemática destas peculiaridades biológicas, bem como mensurar os efeitos envolvidos no delineamento (RESENDE et al., 1996; RESENDE; ALVES, 2020b).

O uso de modelos mistos baseado na metodologia de Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e a Melhor Predição Linear não-viesada (BLUP) permite estimar: componentes de

variância, parâmetros genéticos, interação do genótipo com o ambiente, acurácia de predição, predição de ganhos de seleção e realizar estudo de diversidade genética. Além disso, estes modelos mistos permitem a estimação dos efeitos fixos do modelo, realizada por meio da Melhor Estimação Linear não Viesada (BLUE) (RESENDE, 2016).

O uso de REML/BLUP em espécies perenes implica na predição dos efeitos aleatórios e a estimação dos efeitos fixos com alta acurácia, sendo que estes dados garantem eficiência de seleção no melhoramento genético (RESENDE; DUARTE, 2007). Essa estratégia possibilita comparar indivíduos/progênes ao longo do tempo e espaço, em modelos com rede de dados complexa (RESENDE, 2016). Essa avaliação genotípica livre de efeitos ambientais permite o entendimento do controle genético das características em avaliação, visando a definição de eficientes estratégias de melhoramento; a predição dos valores genéticos dos candidatos a seleção; e a maximização da acurácia seletiva (RESENDE et al., 1996).

Baseado na importância da resistência a ferrugem cafeeira e do melhoramento genético para cafés especiais, este trabalho propõe avaliar via modelos mistos (REML/BLUP) o potencial produtivo e de qualidade sensorial da bebida referente a 17 progênes de *C. arabica* resistentes a *H. vastatrix* em geração F₆, a fim de selecionar progênes para futuros cruzamentos e lançamento de cultivares.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em março de 2012, no Campo Experimental de Patrocínio, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, localizado no município de Patrocínio, Região do Alto Paranaíba do estado de Minas Gerais. A área do experimento está situada a 972 m de altitude, nas coordenadas central 18°59'27.2"S, 46°59'17.8"W para os blocos I, II, III. O clima da região, segundo Köppen-Geiger, é classificado como tropical de altitude (CWA), com precipitação média anual de, aproximadamente, 1487 mm e temperatura média anual de 20,6 °C.

Foram avaliadas 17 progênes de *C. arabica* em geração F₆, oriundas do cruzamento entre Catuaí Amarelo IAC 30 e Híbrido de Timor UFV 445-56. Estas progênes passaram por um longo processo de avanço de gerações pelo Programa de Melhoramento Genético do Cafeeiro desenvolvido pela EPAMIG, em parceria com a Embrapa Café, Universidade Federal de Viçosa e Universidade Federal de Lavras. Todas as seleções até o presente momento foram direcionadas para melhoria de caracteres agronômicos, com ênfase em aumento da qualidade de bebida e resistência genética a ferrugem cafeeira.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de 50 plantas, espaçadas a 3,50 m entre fileiras e 0,70 m dentro da fileira, correspondendo a 4.081 plantas por hectare. As avaliações foram feitas a partir de amostras coletadas em dez plantas na parcela útil. A implantação e manejo do experimento foram realizados conforme as recomendações técnicas para a cultura do café arábica (RIBEIRO et al., 1999; SAKIYAMA et al., 2015). Não houve controle químico para ferrugem, uma vez que os genótipos são portadores de genes de resistência ao fungo *H. vastatrix*, e objetivou quantificá-la.

2.1. Genealogia e histórico do processo de seleção das progênes avaliadas

Do cruzamento artificial entre uma planta de Catuaí Amarelo IAC 30, designada UFV 2143-235 EL7, e o acesso de Híbrido de Timor UFV 445-46, foram obtidos 10 cafeeiros, em geração F₁, resistentes à ferrugem, denominados de H419 (Figura 1). O cruzamento foi realizado na Área Experimental do Fundão, do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa - UFV, no ano de 1980. As sementes do genitor masculino Híbrido de Timor UFV 445-46, doador de genes de resistência ao fungo *H. vastatrix*, foram introduzidas pela UFV do Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC), localizado em Oeiras, Portugal. Essas sementes eram oriundas de um cafeeiro de Híbrido de Timor selecionado na Estação Regional de Uige, em Angola, com o registro ERU 209-15.

As 10 plantas F₁, registradas como H419-1 a H419-10, obtidas nessa hibridação foram implantadas e conduzidas no Campo de Seleção de Híbridos número 8 (CSH 8), no campus da UFV, em Viçosa-MG. A planta F₁ selecionada na cova de número 200 do CSH 8 foi registrada como H419-6, para o prosseguimento do processo de melhoramento genético, pelo método genealógico.

A descendência do H419-6, em geração F₂, foi avaliada em um campo de multiplicação e seleção no Campo Experimental de São Sebastião do Paraíso (CESP), de propriedade da Epamig. No campo de multiplicação e seleção no CESP, com base nas características vigor vegetativo, resistência à ferrugem e do potencial produtivo, foi selecionado o cafeeiro da cova 12, com o registro de H419-6-2.

A descendência, em geração F₃, foi estudada em um novo campo de multiplicação e seleção no mesmo Campo experimental, (CESP). Nesse segundo campo, plantas da geração F₃ foram selecionadas, com base nas características mencionadas, resultando na escolha dos cafeeiros das covas 57, 59 e 266, que receberam o registro de H419-6-2-3, H419-6-2-7 e H419-6-2-5, respectivamente.

As progênies dessas plantas, em geração F₄, foram estudadas em um ensaio de produtividade no Campo Experimental da Epamig, em Patrocínio (CEPC), na região do Alto Paranaíba do estado de Minas Gerais. Nesse ensaio de produtividade do CEPC, com base nas características de vigor vegetativo, resistência à ferrugem, uniformidade de maturação dos frutos e da capacidade produtiva dos cafeeiros, foram selecionadas as plantas F₄ das covas de número 332, 409 e 749, que foram registradas como H419-6-2-7-3, H419-6-2-3-4 e H419-6-2-5-3, respectivamente. Os cafeeiros descendentes dessas três progênies, em geração F₅, foram implantados em um campo de multiplicação e seleção no CEPC.

Considerando as características de vigor vegetativo, ciclo e uniformidade de maturação dos frutos e produção dos cafeeiros, por ocasião da colheita do ano de 2011, foram selecionadas 14 plantas na população F₅ oriunda de H419-6-2-5-3, que originaram as progênies H419-6-2-5-3-2 a H419-6-2-5-3-8 e H419-6-2-5-3-10 a H419-6-2-5-3-16 (grupo B). Em cada uma das outras duas progênies em estudo (H419-6-2-3-4 e H419-6-2-7-3) foram selecionadas 15 plantas, que originaram as progênies H419-6-2-3-4-2 a H419-6-2-3-4-16 (grupo A) e H 419-6-2-7-3-2 a H 419-6-2-7-3-16 (grupo C). As descendências dessas três progênies, em geração F₆, foram avaliadas em um ensaio de competição com 60 progênies, instalado no CEPC, em fevereiro de 2012, no delineamento de blocos casualizados, com três repetições e parcelas de 50 plantas.

Nesse ensaio de competição foram selecionadas 17 progênies F₆ que se destacaram quanto à capacidade produtiva, o vigor vegetativo, a resistência à ferrugem e outras características morfoagronômicas de interesse, para serem avaliadas em relação à qualidade sensorial da bebida, em comparação com as cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Topázio MG 1190 (Tabela 1).

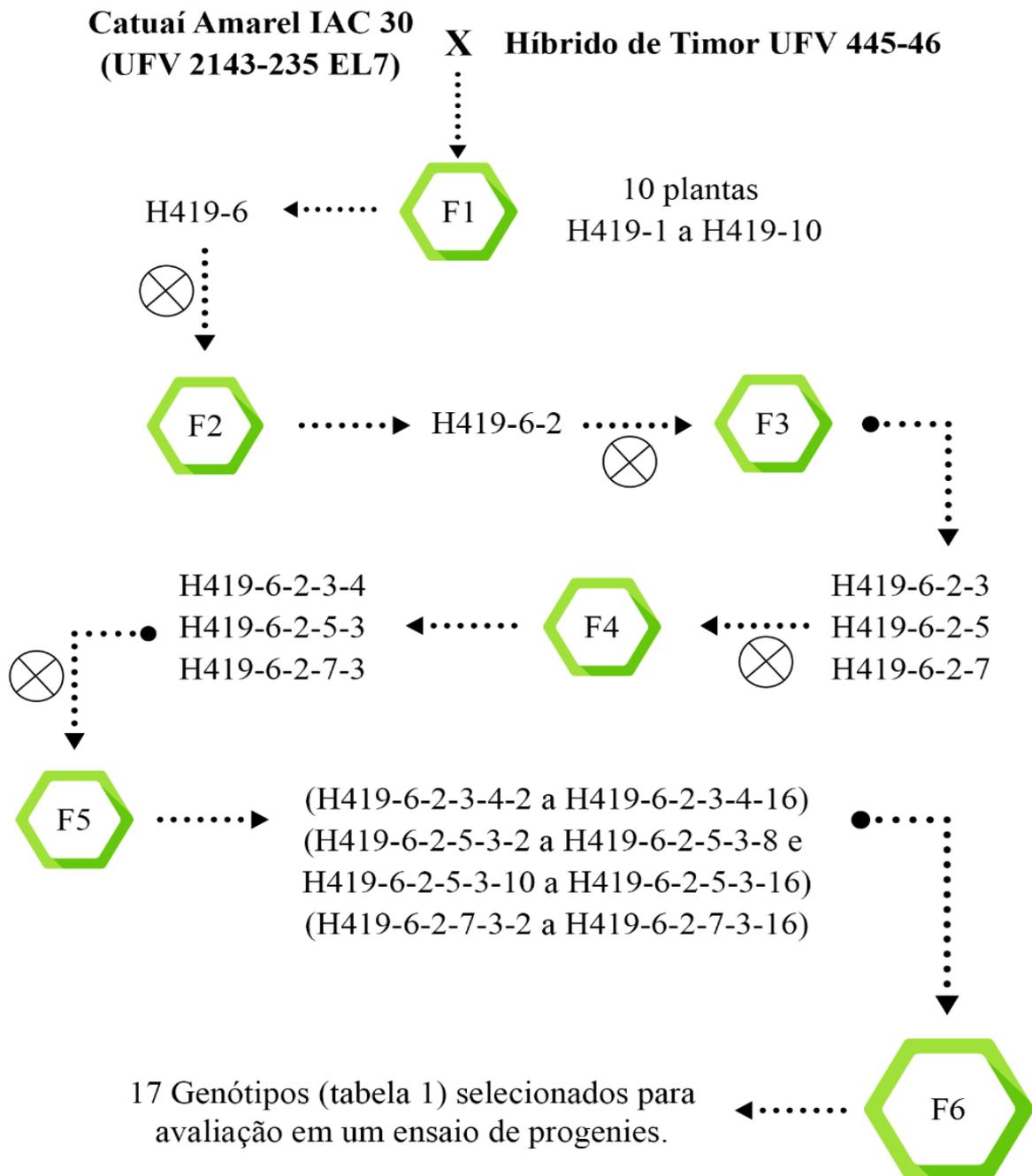


Figura 1: Esquema de obtenção de 17 progênies de cafeeiros Arábica, em geração F6, avaliadas no Campo Experimental de Patrocínio/Epamig, em Patrocínio-MG

Tabela 1: Relação de genótipos (progênes em geração F6 e cultivares) avaliados no CEPC/Epamig. Patrocínio-MG

Código	Genótipos	Grupo*
1	H419-6-2-3-4-12	A
2	H419-6-2-5-3-7	B
3	H419-6-2-3-4-2	A
4	H419-6-2-7-3-10	C
5	H419-6-2-5-3-12	B
6	H419-6-2-3-4-7	A
7	H419-6-2-5-3-2	B
8	H419-6-2-3-4-10	A
9	H419-6-2-5-3-8	B
10	H419-6-2-7-3-12	C
11	H419-6-2-7-3-9	C
12	H419-6-2-7-3-8	C
13	H419-6-2-5-3-16	B
14	H419-6-2-5-3-3	B
15	H419-6-2-5-3-15	B
16	H419-6-2-5-3-13	B
17	H419-6-2-7-3-3	C
18	TOPÁZIO MG 1190	T
19	CATUAÍ IAC 144	T

*Grupo A progênes derivadas de H419-6-2-3-4, grupo B derivadas de H419-6-2-5-3, grupo C derivadas de H419-6-2-7-3 e grupo T são as testemunhas.

2.2. Características avaliadas

Ao todo foram avaliadas 28 características relacionadas a produção, composição física dos grãos, qualidade sensorial da bebida e características morfoagronômicas

A partir do ano de 2014, o terceiro ano após a implantação do experimento em campo, a produção passou a ser avaliada anualmente até 2018 (5 anos de avaliação). A amostragem foi feita a partir da coleta dos frutos da parcela útil de cada genótipo, constituída de 10 plantas em sequência e representativas da parcela experimental. Primeiramente foi obtido o volume, em litros, de café recém-colhido (“café da roça”) de cada parcela. Após a colheita, uma amostra de três litros de café recém-colhido de cada parcela foi colocada para secagem ao sol. Depois de seco, a cerca de 11% de umidade, o café em coco foi pesado, beneficiado e novamente pesado. Para a realização das análises, os dados coletados foram transformados para produtividade em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare (sc/ha).

No ano de 2018, aproveitando a colheita, amostras padronizadas de cada parcela também foram destinadas para realizar a análise sensorial da bebida pela prova da xícara. A amostragem da colheita foi realizada separando os frutos segundo o estágio de maturação fisiológica, tendo em vista a obtenção de amostras constituídas somente por frutos completamente maduros. Dessa forma, foram colhidos aproximadamente 40 litros de café por

genótipo de cada uma das repetições (blocos) do tratamento, quando cerca de 80~90% dos frutos estavam no estágio “café cereja”.

O processamento pós-colheita adotado foi o via seca, onde as amostras passaram por um processo de lavagem e separação dos frutos por densidade na unidade de beneficiamento. O procedimento foi realizado em uma caixa de polietileno de 500 litros com água, onde é possível remover os frutos de menor densidade, *chochos* e mal granados que flutuaram. Frutos com alguma avaria, grãos imaturos e secos (passas) foram descartados, com o objetivo de eliminar possíveis defeitos mantendo a uniformidade e qualidade do café. Outras impurezas, como gravetos, folhas e pedras, também foram eliminados manualmente nessa operação.

No processo seguinte, na secagem dos grãos em “coco”, as amostras foram espalhadas em peneiras com área de 1m² e deixadas a pleno sol, até os grãos atingirem 11 a 12% de umidade (bu). As peneiras foram mantidas suspensas permanentemente, a uma altura de aproximadamente um metro da superfície do solo, apoiadas sobre uma estrutura construída com mourões de eucalipto e cabo de aço. Essa estrutura auxilia a secagem por facilitar a passagem do ar pela massa de grãos, além de evitar a contaminação da amostra com possíveis patógenos e impurezas.

No decorrer do processo de secagem, foram adotados os procedimentos citados por Borém (2008), em que as mostras de café foram revolvidas cerca de 20 vezes ao dia, de modo que a perda de água fosse mais rápida e uniforme. Com o intuito de prevenir a reidratação dos grãos durante a noite, período em que a umidade é mais elevada e para prevenir eventuais chuvas e orvalho, as amostras foram cobertas com lona plástica transparente. A secagem é a parte mais importante do processo, pois afeta a qualidade final do café. Excesso de secagem pode produzir grãos quebradiços, e muitos destes partem-se durante a descasca (grãos quebrados são considerados defeituosos). Secagem insuficiente produz grãos demasiado úmidos, suscetíveis a rápida deterioração devido a ataques de fungos e bactérias.

Após a secagem, os grãos em “coco” tiveram o exocarpo (casca) removido e foram acondicionados em sacos de papel kraft folha dupla por um período de repouso de 30 a 40 dias, para uniformização do teor de umidade nos grãos. O armazenamento foi realizado sob os seguintes aspectos: baixa luminosidade, temperatura máxima de 22 °C e umidade relativa de aproximadamente 60% (PEREIRA; OLIVEIRA, 2015). Posteriormente, as amostras foram beneficiadas e acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis e enviadas ao laboratório para as avaliações da qualidade sensorial de bebida.

Os grãos depois de armazenados foram preparados para avaliação sensorial, nesse processo outras 12 características físicas dos grãos relacionadas à classificação granulométrica

por tamanho e formato foram avaliadas. O processo de coleta dos dados começou pesando os grãos do tipo chato retidos nas peneiras de orifício circular, com os diâmetros de 19 (P19), 18 (P18), 17 (P17), 16 (P16), 15 (P15) e 14/64 avos de polegada (P14). Para grãos tipo moca, utilizou-se peneiras de orifício alongado com os tamanhos 11 (M11), 10 (M10) e 9/64 avos de polegada (M09). Posteriormente, a variável peneira média (PME) foi obtida pela relação entre o somatório da massa de grãos chatos retidos em cada peneira multiplicada pelo número da peneira com a massa total de grãos (FAZUOLI, 1991). Em seguida, foram determinadas as porcentagens de grãos tipo moca (MOC) e de chatos com peneira maior que 16 ($P \geq 16$). Para o cálculo da variável MOC, foram somadas as porcentagens de grãos retidos nas peneiras M11, M10 e M9, enquanto a porcentagem de grãos chatos foi obtida pelo somatório dos grãos retidos nas peneiras P19, P18, P17 e P16.

No processo seguinte, as amostras foram enviadas para as análises sensoriais da bebida pela prova da xícara, realizadas de acordo com o protocolo da *Specialty Coffee Association* – SCA (Associação de Cafés Especiais). Nesse processo, três provadores (degustadores), devidamente aptos, treinados e certificados pela SCA, atribuíram notas no intervalo de 6 a 10 pontos aos atributos constituintes dos critérios de avaliação (SCA, 2022d). São esses: fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, ausência de defeitos, doçura, uniformidade, finalização, equilíbrio e nota final (Figura 2). A pontuação Total é constituída pela soma dos pontos conferidos a cada um dos dez atributos mencionados. São considerados cafés especiais aqueles que atingem pontuação total igual ou superior a 80 pontos (RHINEHART, 2009; SCA, 2022d; SCAA, 2015).



AVALIAÇÃO SENSORIAL DE CAFÉ

Nome: _____

Data: _____

Amostra No	Fragrância Aroma	Uniformidade	Ausência Defeitos	Doçura	Sabor	Acidez	Corpo	Finalização	Equilíbrio	Final	Total
	10 ——— HHHH 9 ——— HHHH Quebra HHHH 8 ——— 7 ——— 6 ———	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	10 ——— 9 ——— 8 ——— 7 ——— 6 ———	Defeitos (subtrair) Leve=2 Forte=4 Qtd Intensd <input type="text"/> X <input type="text"/> = <input type="text"/> Pontuação Final <input type="text"/>					
Ponto de Torra: 											
Notas: _____											

Qualidade do Café	
95 - Excepcional	75 - Muito Bom
90 -	70 -
80 - Especial	65 - Bom

Figura 2 - Formulário de avaliação sensorial do café utilizada pelos degustadores, seguindo metodologia SCAA.

Além da produtividade, durante os anos de 2014 a 2018 e das características sensoriais da bebida analisadas no ano de 2018, também em 2018 foram realizadas avaliações fenotípicas

de caracteres morfoagronômicos dos cafeeiros em campo experimental (Tabela 2). A fenotipagem foi para as características vigor vegetativo (VIG), cor do broto (CB), cor do fruto maduro (CF), produção estimada em litros/planta (PRO), tamanho dos frutos maduros (TF), ciclo de maturação dos frutos (CMT), uniformidade de maturação dos frutos (UMF), severidade de cercosporiose (CER), severidade de ferrugem (FER), infestação de bicho mineiro (BM), altura de planta (APL), diâmetro de copa (DCO) e diâmetro de caule (DCA).

Tabela 2. Avaliações fenotípicas de caracteres morfoagronômicos dos cafeeiros em campo experimental de Patrocínio – MG, em 2018.

Variável	Descrição
PRO	Produção em litros/planta, estimada visualmente. Posteriormente corrigidas para sacas/hectare.
VIG	Vigor vegetativo (notas de 1 a 10). Nota 1: Planta totalmente depauperada. Nota 10: planta considerada com vigor máximo
CB	Cor do Broto (1 = verde; 2 = bronze-claro; 3 = bronze; 4 = bronze-escuro)
CF	Cor do fruto maduro (1 = vermelho; 2 = alaranjado; 3 = amarelo)
TF	Tamanho dos frutos maduros (notas de 1 a 5). Notas: 1 = miúdo (Ref. 'Ibairi'), 2 = pequeno, 3 = médio, 4 = grande e 5 = graúdo (Ref. 'Maragogipe')
CMT	Ciclo de maturação dos frutos (notas de 1 a 5). Notas: 1 = precoce; 2 = média para precoce; 3 = média; 4 = média para tardia; 5 = tardia
UMT	Uniformidade de maturação dos frutos (notas de 1 a 4). Notas: 1 = uniforme; 2 = medianamente uniforme; 3 = medianamente desuniforme; 4 = desuniforme.
CER	Severidade de cercosporiose (notas de 1 a 5). Notas: 1= sem cercóspora; 2 a 5= folhas com cercóspora (2=pouca e 5=muita).
FER	Severidade de ferrugem (notas de 1 a 5). Notas: 1 = ausência de pústulas e reações de hipersensibilidade; 2 = poucas folhas com pústulas sem esporos ("flecks") e com reações de hipersensibilidade; 3 = poucas pústulas por folha com alta produção de esporos e pouco distribuídas; 4 = média quantidade de pústulas por folha, distribuídas na planta com alta produção de esporos; 5 = alta quantidade de pústulas com alta produção de esporos e alta desfolha da planta. OBS.: Plantas com nota 1 ou 2 = Resistentes; 3 a 5 = Suscetíveis.
ALP	Altura de plantas (cm): medido no ramo ortotrópico principal, da superfície do solo ao ponto final de crescimento do ramo
DCO	Diâmetro de copa (cm): medido no sentido transversal à linha de plantio, medindo-se a maior projeção da "saia" do cafeeiro
DCA	Diâmetro de caule (cm): medido com auxílio de um paquímetro digital, na região do coleto da planta (+ ou - 5cm da superfície do solo)

2.3. Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas para as características morfoagronômicas, de produção, de qualidade física dos grãos e sensoriais de bebida foram realizadas baseadas em modelos mistos lineares. Os parâmetros genéticos foram estimados por Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e a predição dos valores genéticos por meio da Melhor Predição não Viesada (BLUP). O teste de razão de verossimilhança (LRT) foi aplicado para testar os efeitos aleatórios dos modelos utilizados. As análises foram processadas pelo *software* Selegen – REML/BLUP (RESENDE, 2007, 2016).

2.3.1. Produtividade

Para produtividade, os tratamentos foram analisados em blocos ao acaso, com 3 repetições e 5 anos de produção, seguindo o modelo estatístico (*Selegen - Modelo 55*):

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

em que y é o vetor de dados, 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 vetor dos efeitos de ambiente permanente (parcelas no caso) (aleatórios), i é o vetor dos efeitos da interação genótipos x medições e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. O vetor m contempla todas as medições em todas as repetições e ajusta simultaneamente para os efeitos de repetições, medição e interação repetição x medição.

As análises foram divididas em dois conjuntos de medidas diferentes para testar a influência da bienalidade presente no café, que acarreta em anos de alta e de baixa produção. O primeiro conjunto considerou cada um dos cinco anos com uma medição separada, enquanto o segundo conjunto considerou três medidas de acordo com a separação dos biênios. O ano 1 foi considerado como uma medida separada, a média entre os anos 2 (bienalidade negativa) e 3 (bienalidade positiva) como a segunda medida, e a média entre os anos 4 (bienalidade negativa) e 5 (bienalidade positiva) como a terceira.

2.3.2. Qualidade física dos grãos e sensorial de bebida

As características uniformidade, ausência de defeitos e doçura tiveram notas iguais a 10 pontos em todas as amostras, possuindo variância nula e, portanto, não foram usadas nestas análises estatísticas. No processamento dos dados referentes a qualidade física dos grãos

(Defeitos, peneira média, porcentagem de grãos dos tipos chato e moça) e sensoriais da bebida (Fragrância/Aroma, Sabor, Acidez, Corpo, Finalização, Equilíbrio, Final e Total), considerou-se os tratamentos distribuídos em esquema fatorial simples 19x3 (Genótipos x Degustadores), conforme o modelo estatístico (*Selegen – Modelo 23*):

$$y = Xr + Zg + Wi + e,$$

em que, y é o vetor de dados, 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), i é vetor dos efeitos da interação genótipo x degustador (aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. O vetor r contempla todos as repetições de todos os locais (ajusta combinações repetição-local). Nesse caso, esse vetor contempla os efeitos de locais e de repetições dentro de locais.

A relação entre atributos de qualidade sensorial é essencial quando se deseja selecionar uma cultivar de café especial. Para melhor compreender as relações entre os atributos foi realizado a análise de correlação genética entre as variáveis de qualidade física dos grãos e sensorial de bebida, posteriormente plotada em uma rede de correlações. Na representação gráfica, as variáveis com correlações positivas foram conectadas por uma linha verde e as negativas por uma linha vermelha. A espessura das linhas representa o valor absoluto da correlação, quanto mais espessa, maior a correlação entre as variáveis. Para facilitar a visualização, a espessura das linhas foi controlada aplicando um valor de corte igual a 0,3, onde apenas $|r_{ij}| \geq 0,3$ tiveram suas linhas realçadas de forma proporcional a intensidade da correlação. Já as linhas finas apresentam correlações inferiores ao ponto de corte de 0,3, sem nenhum realce que as distinguem.

Foi realizada, também, a avaliação da importância relativa dos atributos de qualidade sensorial, através do método de Singh (1981), que para contemplar o fato dos caracteres estudados apresentarem determinado grau de correlação (parcialmente dependentes), foi realizada baseado em distância de Mahalanobis genética (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012a).

Outra análise realizada foi o Perfil Sensorial dos atributos avaliados pela metodologia SCA, referente as notas das quatro melhores progênies, resistentes a ferrugem; e comparando-as com as testemunhas Catuaí Amarelo IAC 144 e Topázio MG 1190, ambas suscetíveis à ferrugem.

2.3.3. Características morfoagronômicas

As análises estatísticas dos dados fenotípicos obtidos a partir das características morfoagronômicas, VIG, CB, CF, TF, CMT, UMT, CER, FER, ALP, DCO e DCA foram realizadas considerando os tratamentos distribuídos em blocos ao acaso, com 3 repetições e 10 plantas por parcela, seguindo o modelo estatístico (*Selegen – Modelo 18*):

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

em que y é o vetor de dados, 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), p é o vetor dos efeitos de parcela, e e o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Para medir as relações entre as características morfoagronômicas foi realizado a análise de correlação genéticas entre as variáveis e, posteriormente, uma rede de correlações. As características cor de broto e cor de fruto não possuem relação biológica com o desempenho agrônomo das progênes e são utilizadas apenas como descritores morfológicos de cultivares. Portanto, elas não foram usadas para esta análise. A interpretação da representação gráfica da rede de correlações é idêntica ao relatado no item 2.3.2.

Para análise da diversidade genética foram estimadas as matrizes de Distâncias Euclidianas Médias Padronizadas para as variáveis qualitativas (VIG, CB, CF, TF, CMT, UMT, CER e FER) e a matriz de Mahalanobis para as variáveis quantitativas (ALP, DCO e DCA). As matrizes foram padronizadas pelas próprias variâncias e, em seguida, foi calculada a média entre elas, ponderada pelo número de características. Essa matriz média foi usada no agrupamento dos genótipos, realizado pelo método de otimização de Tocher modificado, que difere do original pelo fato de ser adotado critério diferenciado para inclusão de acessos em cada grupo que é formado. Por meio dessa metodologia, o processo de agrupamento deixa de ser simultâneo e passa a ser sequencial (VASCONCELOS et al., 2007). Para representação, foi feita uma dispersão gráfica da divergência genética por coordenadas principais (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).

Para entender melhor a influência de cada característica durante a análise de dissimilaridade e posterior formação dos grupos, foi realizada a avaliação da importância relativa dos atributos morfoagronômicos através do método de Singh (1981), baseado em distância de Mahalanobis genética (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012a).

2.3.4. Índice de Seleção

Para classificar os genótipos, foi aplicado o índice de seleção de Mulamba e Mock (1978) nos valores genéticos dos indivíduos derivados do BLUP. Foi adotado peso igual a 1 para as características produção, vigor, altura de planta, diâmetro de copa, tamanho de fruto, uniformidade de maturação, cercosporiose, ferrugem, e peso 2 para a característica total da análise sensorial, para serem selecionadas simultaneamente. A intensidade de seleção foi de aproximadamente 30%, com cinco genótipos selecionados do total de 17 da população. O modelo seguido foi:

$$I_{MM} = \sum(R_{ij} P)$$

em que: I_{MM} corresponde ao valor do índice para determinado genótipo; R_{ij} ao rank do genótipo; P ao peso econômico atribuído à j -ésima característica.

Os ganhos de seleção foram estimados por:

$$GS\% = [(X_s - X_o)/X_o] \times 100$$

em que: $GS\%$ é o ganho de seleção em porcentagem; X_s , é a média dos cinco genótipos selecionados pelo menor valor no índice de Mulamba e Mock; X_o , a Média total dos genótipos na variável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produtividade

Na análise de deviance para produtividade, não houve significância pelo LRT em relação aos efeitos genéticos e nem aos de ambiente permanente (parcela) para o conjunto 1, onde foram considerados os dados dos cinco anos. No entanto, a interação genótipo x ano foi significativa a 1%, indicando a não consistência no desempenho ao longo do tempo (Tabela 3). A ocorrência de efeito genético não significativo, mas com interação significativa, ou vice e versa, pode ocorrer, reforçando a importância do teste LRT para todos os efeitos em modelos mistos (RESENDE, 2007). Estes resultados podem ser explicados pelo fato da bienalidade influenciar na interação do genótipo com o ano safra, e exaurir os efeitos genéticos neste conjunto. O resultado obtido pelo conjunto 2, onde foi considerado a média dos biênios, confirma essa afirmativa. Para esse conjunto de dados, houve significância a 5% pelo teste LRT para os efeitos genéticos de ambiente permanente; entretanto, não foi observada significância

para a interação genótipo x ano. Essa estimativa pode ser obtida pelo cálculo da média, realizada entre os anos de bienalidade positiva e negativa para produção no conjunto 2, que minimizou as variações causadas pelo ano de colheita.

Tabela 3: Análises de deviance (ANADEV), componentes de variância e coeficientes de determinação genotípica para produtividade em sc/ha (PRO), avaliados em dois conjuntos, considerando dados anuais nos cinco anos de avaliação (conjunto 1) e média dos biênios (conjunto 2). Os ensaios foram conduzidos em Patrocínio-MG, de 2014 a 2018.

ANADEV	Produtividade			
	Conjunto 1		Conjunto 2	
Efeitos	Deviance	LRT (X ²)	Deviance	LRT (X ²)
Genéticos	1581,06	2,18 ^{ns}	836,56	6,28*
Ambiente permanente	1579,13	0,25 ^{ns}	834,46	4,18*
Interação (genótipo x ano)	1613,68	-34,8**	832,87	-2,59 ^{ns}
Completo	1578,88		830,28	
Componentes de Variância				
V _g	22,62		31,99	
V _{perm}	4,32		18,34	
V _{gm}	107,23		13,84	
V _e	141,10		64,24	
V _f	275,27		128,41	
Parâmetros Genéticos				
h ² _g	0,08		0,25	
h ² _{mg}	0,04		0,64	
c ² _{perm}	0,016		0,14	
c ² _{gm}	0,39		0,11	
r	0,10		0,39	
rg _{med}	0,17		0,70	
Ac	0,62		0,77	
Média	46,83		41,68	

LRT = teste da máxima verossimilhança. X² = Qui-quadrado tabelado para 1 grau de liberdade: 3.84 e 6.63 para os níveis de 5%* e 1%***, respectivamente. ^{ns} = não significativo. V_g: variância genotípica. V_{perm}: variância de ambiente permanente. V_{gm}: variância da interação genótipo x medições (anos). V_e: variância residual temporária. V_f: variância fenotípica individual. h²_g: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais. h²_{mg}: herdabilidade de médias de genótipos c²_{perm}: coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente. c²_{gm}: coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x medições. r: repetibilidade ao nível de parcela, dada por $(V_g + V_{perm})/V_f$. rg_{med}: correlação genotípica através das medições. Ac: acurácia seletiva via PEV ($r_{gg} = \sqrt{1 - (PEV/\sigma_g^2)}$)).

A manifestação fenotípica em determinado ambiente é o resultado da ação do genótipo sob influência do meio, que tende a mudar ao longo dos anos (interação genótipo x ambiente). A análise da magnitude e significância desta interação é estratégica para melhoristas que procuram desenvolver cultivares que mantenham sua estabilidade produtiva nos diferentes ambientes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012b). Essa interação desafia principalmente o melhoramento de espécies perenes, pois há possibilidade de mudanças nas diferenças absolutas da produtividade entre progênes, de maneira que o melhor genótipo em um ano pode não ser

em outro, mesmo o local sendo permanente. Na cultura do café, além da interação genótipo x ano, também atua a bienalidade, o que deixa ainda mais complexa a seleção e recomendação de cultivares (RESENDE et al., 2001).

A influência da bienalidade também pode ser confirmada em relação aos demais parâmetros genéticos. A variância genética (V_g) foi maior para o conjunto 2 (31,99) e menor para o conjunto 1 (22,62). Para a variância residual (V_e), quando os dados foram avaliados em cinco anos (conjunto 1), observou-se variância 54,47% superior comparado à quando foi avaliado pela média dos biênios de produtividade positiva e negativa (conjunto 2). Também foi estimada menor variação fenotípica (V_f) quando os dados foram avaliados pelo conjunto 2 (128,41), e maiores para o conjunto 1 (275,27) (cinco anos). Outro parâmetro que demonstrou discrepância nos valores foi a variância da interação genótipo x ano (V_{gm}), aproximadamente sete vezes menor no conjunto 2 em relação ao conjunto 1.

A herdabilidade genotípica no sentido amplo (h^2_g) foi maior para o conjunto 2 (0,25), e menor quando utilizado cinco anos (0,08). Na herdabilidade de média de genótipos (h^2_{mg}), os valores estimados são considerados baixos para o conjunto 1 (0,04) e alto para o conjunto 2 (0,64). No conjunto 2, observou-se herdabilidades mais altas, devido as menores variâncias residual e da interação genótipo x ano. Segundo Resende e Alves (2020a), a classificação das herdabilidades pode ser baixa (<0,15), moderada (0,15 – 0,50), alta (0,50-0,80) e muito alta (>0,80).

Os coeficientes de repetibilidade (r) foram de baixa magnitude para produtividade utilizando o conjunto 1 (0,10) e de moderada magnitude para o conjunto 2 (0,39) conforme classificação de Resende (2002). O conceito de repetibilidade é a capacidade da unidade amostral repetir uma mesma medida ao longo do tempo, o que é um parâmetro extremamente importante para culturas perenes. Baixas repetibilidades indicam a necessidade de um grande número de repetições para se alcançar um valor de determinação satisfatório. Quando a variância proporcionada pelo efeito dos ambientes permanentes é minimizada, ou as variâncias fenotípicas são reduzidas, a repetibilidade se aproxima da estimativa da herdabilidade (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012c).

A correlação genotípica obtidas por meio das medições (rg_{med}) foi de 0,17 e 0,70, respectivamente para os conjuntos 1 e 2. Como supracitado, a variação dessas estimativas é resultante da organização dos dados, em cinco anos, ou média da produção entre anos de bienalidade positiva e negativa. Para acurácia seletiva (Ac) por sua vez, observou-se valores considerados moderado para o conjunto 1 (0,62) e alto para o conjunto 2 (0,77), segundo metodologia proposta por Resende (2002), demonstrando condução experimental satisfatória.

As médias produtivas nos anos avaliados (2014-2018) foram superiores a 40 sc/ha, ultrapassando as médias das lavouras da região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (31,51 sc/ha), e a média nacional (25,27 sc/ha) (CONAB, 2022). Essa superioridade produtiva das progênes avaliadas demonstraram o progresso no programa de melhoramento ao longo das seleções que culminaram nestes cafeeiros em geração F₆. Esse resultado demonstra o potencial competitivo da(s) nova(s) cultivar(es) obtida dessas progênes no mercado cafeeiro.

A produção é uma característica complexa, controlada por vários genes e bastante influenciada pelo ambiente. Estimativas acuradas de parâmetros genéticos permitem a tomada de decisão mais assertiva durante a seleção de progênes (RESENDE; ALVES, 2020b). Portanto, organizar os dados em diferentes conjuntos, considerando a influência da bienalidade presente em *C. arabica*, possibilitou observar variações consideráveis nos parâmetros entre estes conjuntos avaliados.

3.2. Análise Sensorial

Na análise sensorial, os atributos de qualidade tiveram os efeitos de genótipos significativos a 1% pelo LRT, exceto corpo, finalização, equilíbrio e final (Tabela 4). As significâncias encontradas demonstraram altas diferenças entre as progênes, o que é indicativo de variabilidade na percepção sensorial da bebida entre os genótipos avaliados. Os atributos doçura, uniformidade e ausência de defeitos não foram avaliados estatisticamente por terem recebido nota máxima (10 pontos) para todas as progênes, entretanto participaram na composição da nota total.

Para os efeitos de degustador, nenhuma das características foi significativa, ou seja, não foram encontradas diferenças entre as avaliações dos “*cupping judges*”, utilizando a metodologia SCAA. Esse resultado indica equilíbrio e precisão na avaliação entre os degustadores, constatando a eficiência da metodologia adotada e corroborando com os resultados obtidos por outros autores (BARBOSA, 2018; GAMONAL; VALLEJOS-TORRES; LÓPEZ, 2017; SILVEIRA et al., 2016).

Tabela 4: Análise de deviance (ANADEV) dos ensaios de qualidade de bebida, avaliando: defeitos, peneira média (PME), porcentagem de grãos chato (Chato), porcentagem de grãos moca (Moca), fragrância/aroma (FrA), sabor (Sbr), acidez (Acd), corpo (Crp), finalização (Finlz), equilíbrio (EqL), final (Finl) e Total. Patrocínio – MG, 2018.

Características	Deviance			LRT (X ²)	
	Modelo Completo	Modelo reduzido: Efeito de genótipo	Modelo reduzido: Efeito de degustador	Efeito de Genótipo	Efeito de Degustador
Defeitos	1185,83	1289,91	1185,83	104,08**	0 ^{ns}
Peneira Média	-251,14	-159,55	-251,14	91,59**	0 ^{ns}
Grãos Chato (%)	810,42	865,27	810,42	54,85**	0 ^{ns}
Grãos Moca (%)	800,80	845,75	800,80	44,95**	0 ^{ns}
Fragrância/Aroma	-383,67	-376,29	-383,67	7,38**	0 ^{ns}
Sabor	-257,57	-243,00	-257,18	14,57**	0,39 ^{ns}
Acidez	-315,10	-299,40	-315,10	15,70**	0 ^{ns}
Corpo	-486,81	-484,74	-486,82	2,07 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
Finalização	-322,73	-319,73	-322,75	3,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Equilíbrio	-295,43	-297,56	-295,43	-2,13 ^{ns}	0 ^{ns}
Final	-342,61	-338,89	-342,61	3,72 ^{ns}	0 ^{ns}
Total	178,08	197,90	178,08	19,82**	0 ^{ns}

LRT = teste da máxima verossimilhança. X² = Qui-quadrado tabelado para 1 grau de liberdade: 3.84 e 6.63 para os níveis de 5%* e 1%** , respectivamente. ns não significativo.

A maior variância genotípica (V_g) foi para defeitos (1028,87), seguido de grão chato (32,50), moca (23,33) e PME (0,15). As demais características se aproximaram de zero (Tabela 5). A variância da interação entre genótipos e degustadores (V_{int}) foi baixa para todas as avaliações de qualidade (<1,33), ou seja, não existe relação entre os degustadores e as progênes avaliadas. Essa falta de interação pode ser explicada pela não significância do fator degustador na análise de deviance, e também um atestado da superioridade de avaliação sensorial via metodologia SCA (BARBOSA, 2018; FASSIO, 2017; SCA, 2022d). A variância fenotípica (V_f) variou de 1301,99 (Defeitos) a 0,02 (Corpo).

As maiores herdabilidades genotípicas das parcelas no sentido amplo (h^2_g) foram para características relacionadas a peneira, defeitos (0,79), peneira média (0,73), grão chato (0,49) e grão moca (0,42). Já as características relacionadas a qualidade sensorial, sabor (0,29), total (0,25) e acidez (0,23) tiveram valores de h^2_g classificados como moderados, mas que comparativamente a outras características complexas que são mais influenciadas pelo ambiente e geralmente apresentam menores valores para herdabilidade, podem ser considerados elevados. Para os demais atributos para fragrância /aroma, finalização, final, corpo e equilíbrio, os valores de h^2_g foram baixo e variaram de 0,13 a 0,05, mas indicando variabilidade que ainda pode ser explorada dentro das progênes. Devido a herdabilidade média dos genótipos (h^2_{mg})

assumir sobrevivência completa das progênies, seus valores foram em média 58% mais elevados em relação a h^2_g .

De acordo com a classificação proposta por Rezende e Duarte (2007), as acurácias de seleção (A_c) foram muito altas (>90) para defeitos e PME, alta (>70) para grão chato, grão moça, sabor e total, e moderadas (>50) para fragrância/aroma e acidez, isso demonstra precisão dos avaliadores e confiança para realizar as seleções e recomendações. Outro parâmetro que reforça a precisão dos “*cupping judges*” é a correlação genotípica entre degustadores (rg_d) que foi próximo de 1 para todas características, exceto para equilíbrio.

Os coeficientes de variação genotípica (CV_{gi}) tiveram valores de 8,06 a 44,90% para as características de qualidade física, enquanto a média de CV_{gi} nas características sensoriais foi de 1,00%. Estes parâmetros quantificam a magnitude da variação genética disponível na população para determinada característica, e, portanto, valores altos são desejáveis. Neste caso, os baixos coeficientes de variação genotípicas das características sensoriais pode ser explicada pelo alto potencial das progênies para bebidas especiais, visto que a média dessas características foram todas maiores que 7,5, consideradas notas muito altas pela metodologia SCAA.

A média geral das progênies para a característica total foi de 84,42, qualificada pela SCA como café *Premium* (80~84,99) (SCA, 2022a). Na média individual, foram classificadas como *Specialty Origin* (85~89,99) as progênies 8 (H419-6-2-3-4-10), 9 (H419-6-2-5-3-8) e 10 (H419-6-2-7-3-12) com pontuação total de 85,22, 85,17 e 85,22, respectivamente. Para reforçar a superioridade das progênies avaliadas, pode-se comparar os dados obtidos no estudo com as notas do concurso *Cup of Excellence Global Coffee Centers – 2021*, onde os 30 melhores cafés pontuaram acima de 87, já os lotes vencedores nacionais obtiveram notas superiores a 85 pontos (ALLIANCE FOR COFFEE EXCELLENCE, 2022). Além das notas superiores, essas progênies são oriundas dos grupos A, B e C, respectivamente (Tabela 1), e podem ser usadas para futuros cruzamentos em programas de melhoramento para qualidade de bebida.

A caracterização dos atributos sensoriais que compõe o resultado final reforça que o equilíbrio de notas é preponderante para obter um café especial. Dessa maneira, os apreciadores de cafés estão dispostos a pagar mais pelos atributos exóticos e qualidade superior da bebida. No *Cup of Excellence – Brazil 2017*, um produtor de Patrocínio – MG (mesmo município onde este experimento foi conduzido) obteve valor de R\$55 mil reais na saca de café na categoria *Pulped Naturals*, batendo o recorde mundial, valor 100 vezes superior ao pago na época por uma saca de café convencional (BSCA, 2017).

Tabela 5: Componentes de variância e coeficientes de determinação genotípica para os ensaios de qualidade de bebida, avaliando: defeitos, peneira média, porcentagem de grãos chato, porcentagem de grãos moca, fragrância e aroma, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio, final e Total. Patrocínio – MG, 2018.

		Defeitos	Peneira Média	Grãos Chato	Grãos Moca	Fragrância e Aroma	Sabor	Acidez	Corpo	Finalização	Equilíbrio	Final	Total
Componentes de variância	V _g	1028,87	0,15	32,5	23,33	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
	V _{int}	1,33	0,00	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	V _e	271,8	0,05	33,36	32,42	0,03	0,06	0,04	0,02	0,05	0,05	0,04	0,85
	V _f	1301,99	0,2	65,97	55,84	0,04	0,09	0,06	0,02	0,05	0,06	0,05	1,14
Parâmetros genéticos	h ² _g	0,79	0,73	0,49	0,42	0,13	0,29	0,23	0,06	0,09	0,05	0,09	0,25
	h ² _{mg}	0,92	0,89	0,74	0,68	0,31	0,55	0,47	0,17	0,24	0,14	0,22	0,50
	Ac	0,96	0,94	0,86	0,83	0,56	0,74	0,69	0,41	0,49	0,37	0,47	0,71
	rg _d	0,99	0,998	0,996	0,99	0,98	0,88	0,98	0,95	0,88	0,26	0,96	0,99
	CV _{gi} (%)	44,9	2,27	8,06	21,21	0,91	2,06	1,52	0,43	0,89	0,71	0,83	0,64
	CV _e (%)	23,08	1,38	8,17	25,00	2,35	3,11	2,78	1,68	2,72	2,82	2,67	1,09
	Média	71,44	16,87	70,72	22,77	7,59	7,86	7,67	7,97	7,89	7,81	7,62	84,42

V_g: variância genotípica. V_{int}: variância da interação genótipo x degustador. V_e: variância residual. V_f: variância fenotípica individual. h²_g: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais. h²_{mg}: herdabilidade da média de genótipo, assumindo sobrevivência completa. Ac: acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa. rg_d: correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes. CV_{gi}%: coeficiente de variação genotípica. CV_e%: coeficiente de variação residual.

Na rede de correlações genotípicas, as características sensoriais se agruparam com valores positivos e mais próximas que em relação as características de qualidade física (Figura 3). As correlações entre peneira média com grão chato (0,79) e grão moca (-0,29) eram esperadas, visto que o cálculo da peneira média considera o uso dos grãos chatos de peneira acima de 16/64 avos de polegada e descarta o grão moca. A alta correlação negativa entre grãos moca e chato (-0,74) é explicada por ambas serem mensuradas a partir de uma mesma amostra de 100 gramas. Dessa forma, se por exemplo, uma amostra tem 70 gramas de grãos chatos, os outros 30 gramas serão de grãos moca. A presença de grãos mocas e chatos de peneiras menores são considerados indesejados em um lote de cafés especiais, pois grãos de granulometrias distintas necessitam de tempo e temperatura diferentes durante a torra, o que reduz a qualidade final do produto.

O defeito não teve correlações com nenhuma das características sensoriais, isso pode ser explicado pela condução da análise em que se removeu os grãos defeituosos da amostra antes da prova da xícara, resultando na não associação dos defeitos com a qualidade sensorial. O Total mostrou maiores correlações com as demais características sensoriais (0,52 a 0,91), devido esta nota ser composta pelo somatório delas. De forma geral, os genótipos com maiores notas totais apresentaram tendência para superioridade em relação a outros atributos sensoriais individualmente. Por outro lado, mesmo não sendo significativas na análise de deviance, o final, a finalização, o equilíbrio e o corpo obtiveram moderadas correlações médias com as demais características sensoriais, variando de 0,69 a 0,39.

A fragrância/aroma é o cheiro do café marcado na escala de avaliação quando seco e posteriormente úmido e suas maiores correlações foram com final (0,79), total (0,77), acidez (0,73) e sabor (0,58). O sabor e a finalização são avaliados de forma simultânea durante a degustação e obtiveram correlação de 0,72. O sabor representa a principal característica do café, que fica entre as primeiras impressões e reflete a combinação de todas as percepções captadas na gustação (através das papilas gustativas), nas sensações percebidas no palato alto e na área retro-nasal, enquanto a finalização é definida pela persistência do sabor no paladar após expelir a bebida da boca (SCAA, 2015).

A acidez contribui para a percepção de doçura na bebida, podendo ser agradável ou não dependendo da natureza do ácido predominante na bebida, explicando a alta correlação com o sabor de 0,72. Cafés com expectativas de alta acidez, tal como um café de Kenya, e cafés em que se espera baixa acidez, tal como um café de Sumatra, podem ser igualmente bem pontuados, embora a intensidade seja muito diferente (SCAA, 2015).

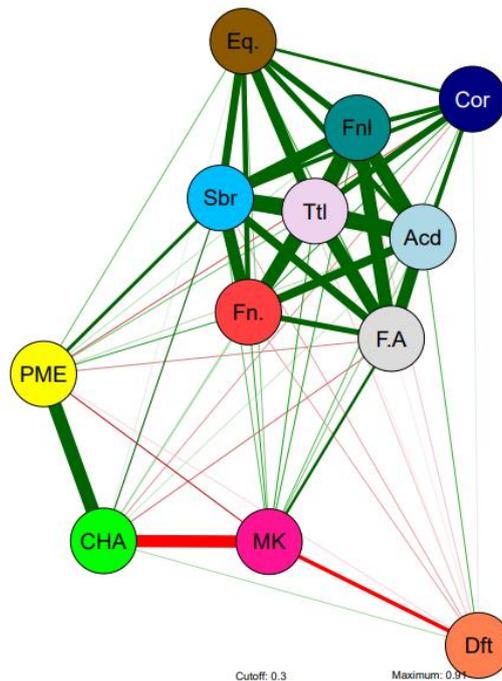


Figura 3: - Rede de correlações genótípicas entre atributos de qualidade sensorial (fragrância e aroma (F.A), Sabor (Sbr), Acidez (Acd), Corpo (Cor), Finalização (Fnl), Equilíbrio (Eq.), Final (Fn.) e Total (Ttl)) e qualidade física (Defeitos (Dft), Peneira média (PME), grãos chatos (CHA) e grão Moca (MK)) para as progênes. As linhas verdes representam correlação positiva entre as variáveis.

A análise da importância relativa de caracteres pelo critério proposto por Singh (1981) permitiu avaliar, a partir da inversa da matriz de variâncias e covariâncias residuais, os atributos com maiores e menores diversidade entre os genótipos. A finalização foi o atributo sensorial com maior variância de expressão entre os genótipos, com importância relativa de 25,18%, seguido dos atributos acidez (21,01%), sabor (17,73%), fragrância/aroma (13,92%), equilíbrio (10,54%), corpo (8,90%) e final (2,71%). As porcentagens de importância relativa ficaram bem distribuídas em todas as características, reforçando a importância de mensurar todas estas para compor a qualidade final da bebida. No geral, atributos com maior variabilidade são determinantes para a caracterização dos genótipos de melhor qualidade, uma vez que apresentaram maior contribuição para a discriminação dos genótipos na nota total (BARBOSA, 2018).

Como observado na importância relativa, a variabilidade relativa dos atributos tem influência na nota total, e é possível demonstrar esse fato analisando o perfil sensorial dos cafés (Figura 4). As progênes 8 (H419-6-2-3-4-10), 10 (H419-6-2-5-3-8), 9 (H419-6-2-7-3-12) e 17 (H419-6-2-7-3-3), de destaque na qualidade sensorial de bebida, obtiveram as maiores pontuações para nota total, com valores de 85,22, 85,22, 85,17 e 84,94 pontos, respectivamente. Estas foram, portanto, comparadas com as cultivares tradicionais Catuaí IAC 144 e Topázio

MG 1190 utilizadas como testemunha nessa avaliação. Observa-se que as notas que mais variaram são as mesmas que tiveram maiores importância relativa no perfil sensorial entre os materiais genéticos estudados.

A cultivar Catuaí IAC 144 foi utilizada como testemunha na análise sensorial devido o genitor feminino das progênes estudadas ser deste mesmo grupo genético (Catuaí IAC 30). De maneira similar, a cultivar Topázio MG 1190 foi adotada como outra testemunha por também ser derivada do grupo genético Catuaí, obtida do cruzamento entre Catuaí Amarelo e Mundo Novo. Além dessas justificativas, as cultivares do grupo Catuaí são as mais plantadas no Brasil. Oliveira et al. (2021) afirmaram que, embora haja diversas cultivares de arábica resistentes à ferrugem, o parque cafeeiro brasileiro é constituído, em sua grande maioria, pelas cultivares dos grupos Catuaí e Mundo Novo, que além da alta produtividade possuem boa qualidade de bebida consolidada no mercado, apesar de suscetíveis a *H. vastatrix*.

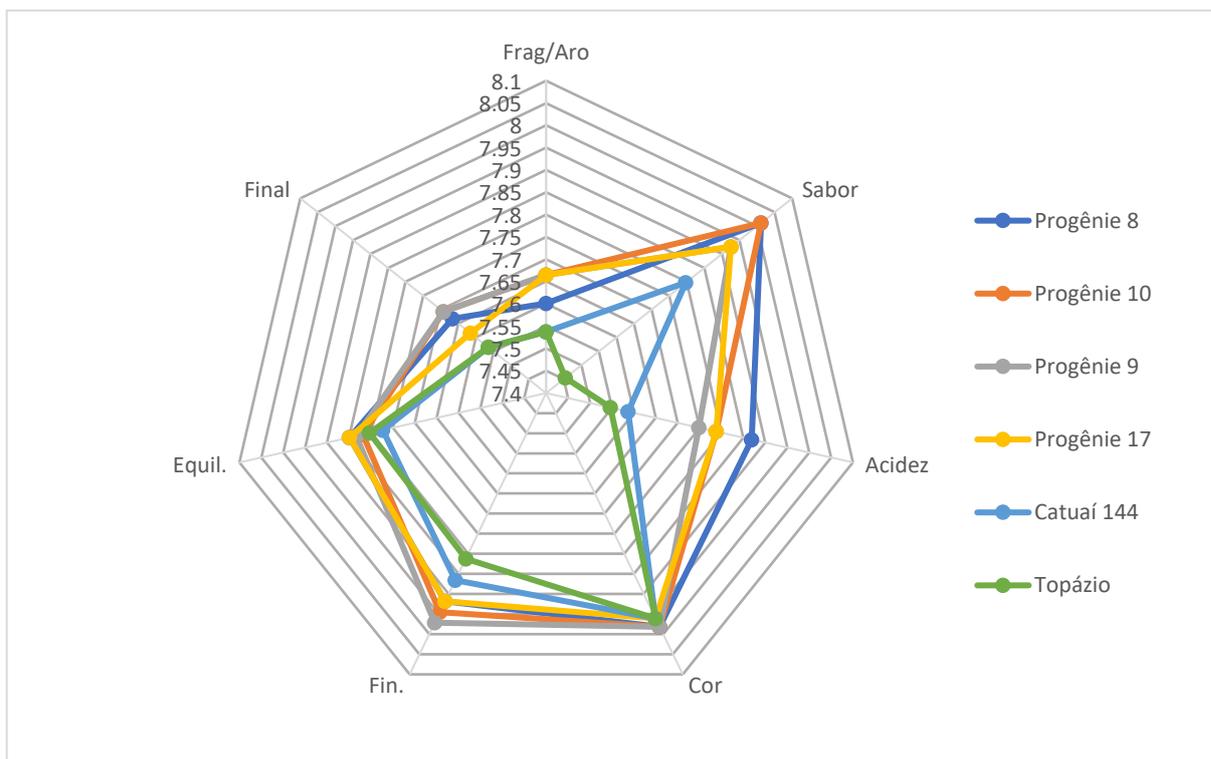


Figura 4: Perfil sensorial dos atributos de qualidade de bebida para as quatro melhores progênes de café com resistência à ferrugem, comparadas as testemunhas Catuaí IAC 144 e Topázio MG 1190, suscetíveis à ferrugem, plantadas no município de Patrocínio - Minas Gerais.

3.3. Características morfoagronômicas

A maioria das características avaliadas foram significativas pela análise de deviance para os efeitos dos genótipos e das parcelas (Tabela 6). Isso é indicativo de existência de variabilidade genética com potencial para ser explorada nestas progênies de café arábica, mesmo estando em geração F₆. Em relação aos efeitos genéticos, não houve significância para vigor, tamanho de fruto, ciclo de maturação e diâmetro de caule, dos quais podem ter sido exauridos devido aos altos efeitos de bloco.

Tabela 6: Análise de deviance (ANADEV) para as características: vigor vegetativo (VIG), cor do broto (CB), cor do fruto maduro (CF), tamanho dos frutos maduros (TF), ciclo de maturação dos frutos (CMT), uniformidade de maturação dos frutos (UMF), severidade cercosporiose (CER), severidade de ferrugem (FER), altura de planta (APL), diâmetro de copa (DCO) e diâmetro de caule (DCA). Patrocínio – MG, 2018.

Características	Deviance			LRT (X ²)	
	Modelo Completo	Modelo reduzido: Efeito de genótipo	Modelo reduzido: Efeito de parcela	Efeito de Genótipo	Efeito de Bloco
VIG	171,29	171,35	209,56	0,06 ^{ns}	38,27**
CB	34,27	54,56	71,03	20,29**	36,76**
CF	-1990,82	-1921,14	-1024,81	69,68**	966,01**
TF	-525,48	-523,42	-403,68	2,06 ^{ns}	121,80**
CMT	-368,34	-367,87	-239,18	0,47 ^{ns}	129,16**
UMT	-635,18	-610,98	-479,28	24,20**	155,90**
CER	-81,19	-76,00	-80,83	5,19*	0,36 ^{ns}
FER	-117,88	-112,63	-113,15	5,25*	4,73*
APL	-1101,11	-1095,68	-1029,23	5,43*	71,88**
DCO	-1076,43	-1057,3	-1036,70	19,13**	39,73**
DCA	2743,84	2743,85	2783,48	0,01 ^{ns}	39,64**

LRT = teste da máxima verossimilhança. X² = Qui-quadrado tabelado para 1 grau de liberdade: 3,84 e 6,63 para os níveis de 5% (*) e 1% (**), respectivamente. ^{ns}: não significativo.

Para os componentes de variância, as maiores variâncias fenotípicas (V_f) foram observadas para diâmetro de caule (90,34), cor de fruto (0,80), cor de broto (0,62) e vigor (0,57) (Tabela 7). As características com maiores valores de variância genotípica (V_g) foram cor de fruto (0,75), diâmetro de caule (0,55), cor de broto (0,22) e uniformidade de maturação de frutos (0,18).

Para herdabilidade individual no sentido amplo, ou seja, para os efeitos genotípicos totais (h_g²), a característica cor de fruto obteve o maior valor (0,92), e o diâmetro de caule e vigor obtiveram menores valores (0,01). As herdabilidades médias de genótipos (h_{mg}²) variaram de baixas (<0,15) a muito altas (>0,80). O papel preditivo desse parâmetro o torna de grande

Tabela 7: Componentes de variância e coeficientes de determinação genotípica para características morfoagronômicas referentes a: vigor vegetativo (VIG), cor do broto (CB), cor do fruto maduro (CF), tamanho dos frutos maduros (TF), ciclo de maturação dos frutos (CMT), uniformidade de maturação dos frutos (UMF), incidência cercosporiose (CER), incidência de ferrugem (FER), altura de planta (APL), diâmetro de copa (DCO), diâmetro de caule (DCA). Patrocínio – MG, 2018.

Parâmetros genéticos	VIG	CB	CF	TF	CMT	UMT	CER	FER	APL	DCO	DCA	
Componentes de variância	V _g	0,06	0,22	0,75	0,02	0,01	0,18	0,02	0,02	0,01	0,02	0,55
	V _{parc}	0,12	0,08	0,05	0,07	0,11	0,07	0,01	0,02	0,01	0,01	19,37
	V _e	0,44	0,32	0,00	0,10	0,14	0,80	0,29	0,26	0,03	0,04	70,42
	V _f	0,57	0,62	0,80	0,20	0,26	0,33	0,31	0,30	0,06	0,07	90,34
Coeficientes de determinação	h ² _g	0,01+-0,01	0,35+-,07	0,92+-0,12	0,12+-0,04	0,05+-0,03	0,55+-0,09	0,06+-0,03	0,08+-0,03	0,17+-0,05	0,34+-0,07	0,01+-0,01
	c ² _{parc}	0,21	0,14	0,07	0,37	0,41	0,22	0,02	0,06	0,26	0,14	0,21
	h ² _{mg}	0,11	0,85	0,98	0,45	0,25	0,87	0,61	0,62	0,62	0,84	0,06
	Ac _p	0,33	0,92	0,99	0,67	0,50	0,93	0,78	0,78	0,79	0,92	0,24
	CV _{gi} (%)	0,87	21,60	35,03	4,66	3,76	22,25	7,97	8,56	4,55	9,84	1,54
	CV _e (%)	4,40	15,84	9,39	8,84	11,14	14,69	11,02	11,72	6,15	7,46	10,71
	PEV	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,51
	SEP	0,08	0,18	0,13	0,11	0,10	0,15	0,08	0,10	0,06	0,06	0,78
Média	9,20	2,15	2,47	3,27	3,11	1,90	1,67	1,79	2,21	1,56	47,97	

V_g: variância genotípica. V_{parc}: variância ambiental entre parcelas. V_e: variância residual. V_f: variância fenotípica individual. h²_g = h²: herdabilidade individual no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais. h²_{aj}: herdabilidade individual no sentido amplo, ajustada para os efeitos de parcela. c²_{parc} = c²: coeficiente de determinação dos efeitos de parcela. h²_{mg}: herdabilidade da média de genótipo, assumindo ausência de perda de parcelas. Ac_p: acurácia da seleção de progênies, assumindo ausência de perda de parcelas. CV_{gi}%: coeficiente de variação genotípica. CV_e%: coeficiente de variação residual. PEV: variância do erro de predição dos valores genotípicos, assumindo sobrevivência completa. SEP: desvio padrão do valor genotípico predito, assumindo sobrevivência completa.

importância em estudos genéticos, pois a herdabilidade é um coeficiente genético que expressa à relação entre a variância genotípica e a variância fenotípica (SOUSA, 2017). Portanto os resultados mais altos de herdabilidade demonstram variabilidade genética nas progênes e os valores obtidos são considerados elevados para caracteres quantitativos, que são governados por vários genes e sofrem alta influencia ambiental, elevando as variâncias fenotípicas. Fatores como número reduzido de genitores entre cruzamentos, progênes pequenas e baixo número de avaliações ao longo dos anos contribuem para herdabilidades baixas (CARVALHO et al., 2019; RESENDE; ALVES, 2020b).

Todas as características significativas na análise de deviance, a 5% e 1% (Tabela 6), obtiveram valores de acurácia na seleção de progênes (Ac_p) (Tabela 7) classificado como altos (acima de 0,70) e muito altos (acima de 0,90), indicando boa condução experimental. A acurácia seletiva é influenciada por três principais fatores: (i) número de repetições; (ii) variância residual e (iii) proporção entre a variância residual e variância genética. Esse parâmetro mede o quanto o valor genético predito é similar ao valor genético real dos genótipos. Maiores acurácias inferem menor risco de erro a partir do uso da informação, denotando maior confiabilidade da predição e do processo de seleção. Dessa forma, baixos valores de acurácia indicam a necessidade de avaliação da característica nos mesmos genótipos e em mais safras, objetivando o aumento da acurácia seletiva para posterior seleção (acurácia superior a 0,80) e para recomendação (acurácia superior a 0,90) (RESENDE; DUARTE, 2007).

Os coeficientes de variação genotípica (CV_{gi}) tiveram valores de 0,87% (vigor) a 35,03% (cor de fruto). Estes parâmetros quantificam a magnitude da variação genética disponível na população para determinada característica. No presente trabalho, a maioria das estimativas foram menores que 10% para as características avaliadas, demonstrando, no geral, baixa variabilidade genética entre estas progênes de café. Isto pode ser justificado pela base genética estreita em *C. arabica* (SETOTAW et al., 2013; SOUSA, 2017) e pelo grau de parentesco existente entre progênes, que foram originadas de um mesmo cruzamento inicial. Por outro lado, o coeficiente de variação residual (V_e) avalia a magnitude das variações causadas pelo ambiente. Nas progênes avaliadas foram observados valores abaixo de 15,84%, indicando alta acurácia e precisão experimental para as características em estudo.

A média geral para característica vigor foi de 9,20, sugerindo que a maioria das plantas da população tiveram notas próximas ao máximo vigor (nota 10 - Tabela 2). Essas notas altas e de pouca variação refletiram na não significância na análise de deviance (Tabela 6), o que demonstra esta ser uma população sadia com alto potencial fenotípico sendo expresso. O vigor é uma das características de maior relevância durante a avaliação de cafeeiros em campo, uma

vez que está diretamente relacionada com a capacidade produtiva (CARVALHO et al., 2010) e a qualidade dos grãos, visto que plantas mais vigorosas tendem a superar os estresses sem comprometer as avaliações sensoriais da bebida.

Para o ciclo de maturação foi observado progênies variando de precoce a tardia (notas de 1 a 5, Tabela 2). Essa variabilidade no ciclo de maturação constituiu em um dos objetivos das seleções que culminaram nestas F₆ no programa de melhoramento. O objetivo é obter diferentes cultivares que variam quanto a maturação para atender a demanda dos produtores, que desejam diferentes genótipos para escalonamento da colheita. Essa demanda de escalonamento se deve ao tempo necessário para realizar a colheita em grandes lavouras, o que pode comprometer a qualidade dos grãos ao permanecerem tempo extra no campo após a maturação. Grãos maduros que permanecem mais tempo na lavoura ficam mais expostos a fatores bióticos e abióticos, além de resultarem em frutos secos (BORÉM, 2008; FASSIO, 2017; GIOMO; BORÉM, 2011; TEIXEIRA et al., 2015).

A média da uniformidade de maturação foi de 1,90, com a maioria das plantas uniformes (nota 1) e mediantemente uniformes (nota 2). Quanto maior a uniformidade da maturação dos frutos mais eficiente será a colheita, facilitando os processos pós colheita, e também possibilitará melhor qualidade de bebida, pois grãos mais uniformes tendem a apresentar menos defeitos.

Para a incidência de cercosporiose, as progênies obtiveram nota média de 1,79, consideradas com certo grau de resistência e tolerância. Segundo Júnior et al. (2003), a nutrição do cafeeiro tem impacto na incidência da doença, principalmente quando há deficiência de cálcio (Ca) e potássio (K). Além disso, A queda prematura dos frutos atacados pela doença aumenta a quantidade do café de varrição, elevando o número de defeitos na amostra para análise sensorial, classificando-o como um café de qualidade inferior (PATRICIO; OLIVEIRA, 2013).

Quanto à ferrugem, a principal doença dos cafeeiros brasileiros, as progênies avaliadas apresentaram média 1,67, que indica resistência a infecção. Essas médias baixas de severidade foram consequência das seleções para resistência ao longo dos avanços de gerações e, provavelmente, são resultantes da introgressão dos genes de resistência presentes no acesso de Híbrido de Timor, usado como um dos genitores das progênies. Segundo Oliveira et al. (2021), existe demanda por cultivares resistentes onde o experimento foi desenvolvido, uma vez que a maioria das lavouras de café nas regiões de Minas Gerais estão sujeitas ao ataque de *H. vastatrix*. Além disso, 70% dos cafeicultores da região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba utilizam variedades suscetíveis a ferrugem em suas propriedades, sendo composto por

variedades de Catuaí e Topazio, o que corresponde a 82% do parque cafeeiro (CARVALHO et al., 2017; RUFINO; RIBEIRO, 2016)

Todas as características morfoagronômicas avaliadas, sejam estas ligadas a produção, ciclo ou sanidade, estão intrinsicamente relacionadas à qualidade de bebida. A superioridade da bebida do café é governada por inúmeros genes e determinada por diversas características extrínsecas, sofrendo forte influência do ambiente e das condições e tratamento pós colheita.

Na rede de correlações, o vigor apresentou correlações positivas com uniformidade de maturação (0,44), diâmetro de copa (0,31), altura de planta (0,30) e diâmetro de caule (0,27) e (Figura 5). Plantas mais altas tendem a ter copas mais largas e maiores diâmetros de caule, o que pode derivar em melhores avaliações do vigor. Por sua vez, plantas vigorosas tendem a melhor definirem seus ciclos e sua uniformidade de maturação, o que conseqüentemente contribui para manter a qualidade final dos grãos, sendo o vigor vegetativo uma das características mais utilizadas para estimação da capacidade produtiva de cafeeiros (CARVALHO et al., 2010).

Foi observado também correlação negativa entre vigor e tamanho de fruto (-0,39), que apesar de parecer contraditório, pode ocorrer devido ao tamanho ser uma característica qualitativa. Esta é uma característica pouco influenciado pelo meio ambiente, de maneira que a expressão fenotípica do tamanho de fruto continua constante mesmo em condições climatológicas distintas.

A ferrugem e a cercosporiose tiveram correlações positivas com a maioria das características. Esse resultado é contrário ao relatado na literatura, uma vez que quanto maior incidência dessas doenças maior serão os prejuízos para o desenvolvimento da planta (FEITOSA, 2017; MARIZ, 2021; OLIVEIRA et al., 2021). Contudo, estas correlações de sanidade podem variar de acordo com o histórico das doenças no campo produtivo e do material genético avaliado (ALMEIDA et al., 2020). Uma possível explicação para esses valores positivos são as progênies possuírem alta resistência (notas 1 e 2), o que contribui para que as outras características relacionadas a produção e maturação dos frutos não sejam prejudicadas. Outro fator a ser notado é que, a planta dispende energia para produção e crescimento, deixando de controlar uma infecção causada por doenças, e isso explica porque cultivares tradicionais susceptíveis, quando conduzidas fora de condições sanitárias ideais perdem produtividade e qualidade sensorial de bebida (SILVA et al., 2015).

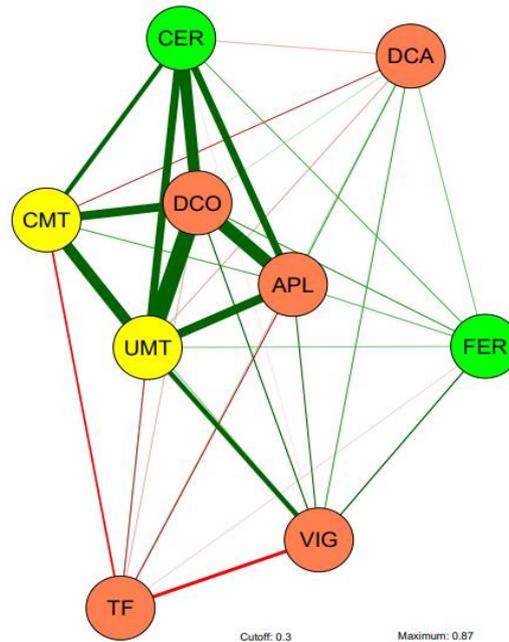


Figura 5: Rede de correlações genótípicas entre características morfoagronômicas vigor vegetativo (VIG), tamanho dos frutos maduros (TF), ciclo de maturação dos frutos (CMT), uniformidade de maturação dos frutos (UMF), incidência cercosporiose (CER), incidência de ferrugem (FER), altura de planta (APL), diâmetro de copa (DCO) e diâmetro de caule (DCA).

Os dados obtidos das progênies foram usados também para estudo de diversidade. Na análise de diversidade genética foram obtidos três grupos de similaridade entre as 17 progênies (Figura 6). A maior distância foi verificada entre as progênies 2 e 17 (20,55) e a menor entre as progênies 3 e 9 (3,11). Há concordância entre o agrupamento da análise de diversidade e os grupos “originais” (Tabela 1), em que estas também estão divididas em três grupos (A, B, C). O grupo C (oriundo da progênie H419-6-2-7-3) correspondeu exatamente ao grupo 2 da análise de diversidade, entretanto a maioria das progênies do grupo B (oriundo da progênie H419-6-2-5-3) ficaram alocadas no grupo 1 junto com as progênies do grupo A (oriundo da progênie H419-6-2-3-4), exceto a progênie 2 que não se agrupou a nenhum outro genótipo (Grupo 3). A formação de poucos grupos está relacionada a origem das progênies, que são resultantes de um mesmo cruzamento, além da base genética estreita da espécie *C. arabica* (SETOTAW et al., 2013; ZAMBOLIM, 2016).

A formação desses grupos distintos auxilia a seleção de genitores para futuros cruzamentos contrastantes, como por exemplo, entre as progênies 2 e 17. Essa estratégia permite que o melhorista concentre esforços em combinações de indivíduos melhorados, mas que ainda apresentam divergência genética, podendo ter maior ganhos de seleção. Essa estratégia permite cruzamentos de “melhores” indivíduos e que possam ser complementares, aumentando as chances de sucesso. O estudo de diversidade é estratégico para futuros

cruzamentos em programas de melhoramento, pois permite identificar genitores adequados a obtenção de híbridos com maior efeito heterótico e, também, maior variabilidade genética para gerações de populações segregantes (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).

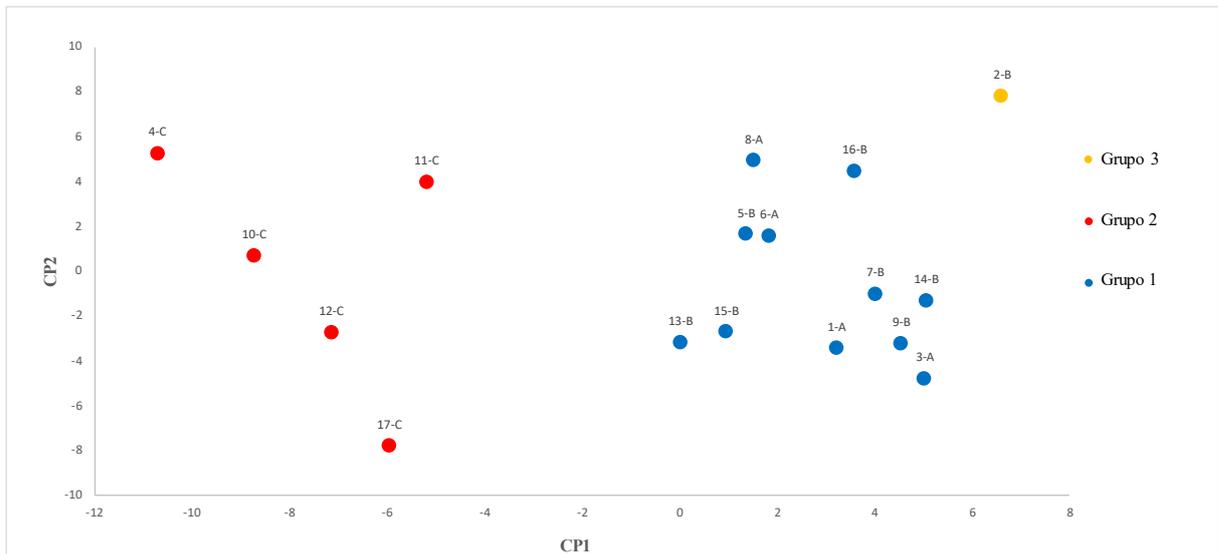


Figura 6: Análise de diversidade genética baseada na média das matrizes de distâncias Euclidianas padronizadas e Mahalanobis, agrupadas pelo método de Torcher modificado, utilizando as características morfoagronômicas vigor vegetativo (VIG), cor do broto (CB), cor do fruto maduro (CF), tamanho dos frutos maduros (TF), ciclo de maturação dos frutos (CMT), uniformidade de maturação dos frutos (UMF), incidência cercosporiose (CER), incidência de ferrugem (FER), altura de planta (APL), diâmetro de copa (DCO), diâmetro de caule (DCA). Patrocínio – MG, 2018.

Os dados morfológicos obtidos permitiram realizar um estudo de importância relativa proposta por Singh (1981). Observou-se que as características que de maior influência no agrupamento da diversidade genética são aquelas que tiveram maiores variâncias genéticas (V_g) e herdabilidades (h^2_g) (Tabela 7). A cor do fruto (CF) foi a característica que, segundo a análise, foi a mais importante para o cálculo de dissimilaridade entre as progênies (85,67%), provavelmente por ser uma característica qualitativa, controlada por um gene (*Xanthocarpa*). A uniformidade de maturação, cor de broto, cercosporiose e tamanho de fruto tiveram importância relativa de 7,76%, 5,20%, 0,82% e 0,53%, respectivamente. Características como o vigor, altura de planta, diâmetro de copa e diâmetro de caule, que são complexas e altamente influenciadas pelo ambiente, obtiveram importâncias nulas nesta análise. Fato também explicado pela baixa variabilidade genética existente entre as progênies. A análise da importância relativa possibilita a seleção e/ou recomendação dos genótipos com base nos atributos de maior variância entre os genótipos. Já os atributos com menor variabilidade podem identificar características padrões

entre os genótipos, que pode ser distinta de acordo com as variáveis avaliados (BARBOSA, 2018).

3.4.Índice de Seleção

Por meio das avaliações morfoagronômicas das 17 progênes foi realizado um ranqueamento para auxiliar a seleção dos cafeeiros. As progênes ranqueadas nas cinco primeiras posições, considerando o índice de Mulamba Mock, foram as progênes 9 (H419-6-2-5-3-8), 2 (H419-6-2-5-3-7), 14 (H419-6-2-5-3-3), 16 (H419-6-2-5-3-13) e 6 (H419-6-2-3-4-7) (Tabela 10). Este índice resulta da combinação das características preconizadas pelo melhorista, nas quais se deseja exercer a seleção simultânea. Ao selecionar essas cinco progênes, os maiores ganhos obtidos serão para produção (15,85%), uniformidade de maturação (10,0%) e diâmetro de copa (9,05%). As demais características obtiveram ganhos relativamente baixos devido a pouca variação entre médias original e selecionada, ou seja, as notas estavam próximas do mínimo desejado para incidência das doenças, e máximas para características ligadas a produção e qualidade sensorial (tabela 2); o que era esperado após a condução das seleções destas progênes até F₆.

No ranqueamento, foi possível observar a presença dos três grupos da origem genealógica (Tabela 1), bem como dos grupos formados de acordo com a análise de diversidade genética (Figura 6). Dessa forma, esta diversidade de grupos com superioridade das características morfoagronômicas e sensoriais permitem a tomada de decisão do melhorista para lançar cultivares no mercado ou realizar cruzamentos futuros. No processo de registro de uma cultivar, a próxima etapa consiste nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) atestando a superioridade das progênes em ambientes distintos, e posterior lançamento. Outra alternativa seria realizar cruzamentos direcionados de acordo com a predição dos ganhos estimados e a variabilidade entre os grupos. Portanto, um dos objetivos do índice de seleção é escolher materiais superiores, baseado em um complexo de características que reúna as qualidades de interesse resultando em ganhos simultâneos.

Tabela 10: Índice de seleção Mulamba e Mock (1978) em população F6 de café arábica para produção, vigor vegetativo, altura de planta, diâmetro de copa, tamanho de fruto, uniformidade de maturação, cercosporiose, ferrugem e pontuação total da análise sensorial, bem como ganho de seleção predito.

Progênie	Identificação	Rank	Produção	Vigor	Altura de Planta	Diâmetro de copa	Tamanho de fruto	Uniformidade de maturação	Cercosporiose	Ferrugem	Total
1	H419-6-2-3-4-12	17	37,82	9,20	2,23	1,76	3,23	2,53	1,77	2,17	83,17
2	H419-6-2-5-3-7	2	56,48	9,27	2,53	1,90	3,10	2,33	1,97	1,97	84,78
3	H419-6-2-3-4-2	9	34,08	9,67	2,31	1,71	3,37	2,43	1,87	1,83	84,67
4	H419-6-2-7-3-10	8	38,13	9,23	2,20	1,36	3,50	1,33	1,47	1,87	84,56
5	H419-6-2-5-3-12	10	46,05	9,27	2,30	1,57	3,13	2,13	1,77	1,87	84,06
6	H419-6-2-3-4-7	5	46,16	8,93	2,23	1,70	3,87	2,07	1,80	1,70	84,61
7	H419-6-2-5-3-2	13	43,85	9,43	2,21	1,53	3,03	2,13	1,77	1,70	84,00
8	H419-6-2-3-4-10	15	33,99	9,10	2,03	1,57	3,20	2,03	1,77	1,90	85,22
9	H419-6-2-5-3-8	1	49,36	9,33	2,19	1,67	3,37	2,07	1,63	1,63	85,17
10	H419-6-2-7-3-12	7	36,07	9,03	2,06	1,36	3,30	1,23	1,40	1,57	85,22
11	H419-6-2-7-3-9	14	37,33	8,90	2,20	1,36	3,07	1,43	1,60	1,50	84,61
12	H419-6-2-7-3-8	16	36,15	8,60	2,06	1,37	3,63	1,30	1,80	1,67	84,44
13	H419-6-2-5-3-16	11	41,91	9,33	2,15	1,50	3,10	2,17	1,33	1,67	83,67
14	H419-6-2-5-3-3	4	48,12	9,23	2,37	1,64	3,07	2,10	1,63	1,83	84,83
15	H419-6-2-5-3-15	6	45,88	9,40	2,14	1,51	3,20	2,00	1,63	1,60	84,17
16	H419-6-2-5-3-13	3	48,95	9,10	2,31	1,66	3,10	2,00	1,70	1,77	84,78
17	H419-6-2-7-3-3	12	32,25	9,40	2,08	1,34	3,30	1,03	1,50	2,20	84,94
	Xo		41,92	9,20	2,21	1,56	3,27	1,90	1,67	1,79	84,52
	Xs		49,81	9,17	2,32	1,71	3,30	2,11	1,75	1,78	84,83
	% GS		15,85	-0,31	4,86	9,05	0,95	10,00	4,36	-0,57	0,37

4. CONCLUSÕES

Ao avaliar as progênies oriundas do cruzamento entre a cultivar Catuaí IAC 30 e o Híbrido de Timor UFV 445-56, seguindo do método genealógico, foi possível observar um comportamento superior às cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Topázio MG 1190, tradicionalmente plantadas na Região do Cerrado Mineiro

Para a característica produtividade, a média geral foi 59% superior a nacional. As análises dos dados organizados por biênios obtiveram parâmetros e coeficientes genéticos mais acurados, demonstrando a necessidade de considerar influência da bienalidade.

Todos as progênies foram classificadas com potencial para produção de cafés especiais (>80 pontos na nota total), em especial os genótipos H419-6-2-3-4-10, H419-6-2-5-3-8 e H419-6-2-7-3-12, atingindo notas observadas em concursos para qualidade, sendo classificadas com *Specialty Origin* (notas entre 85 e 89,99 pontos).

Em relação as características morfoagronômicas, todas progênies foram consideradas resistentes a ferrugem e altamente vigorosas, fatores essenciais para a qualidade de bebida visto que estas características estão intrinsecamente relacionadas.

A partir do estudo da diversidade, as progênies foram separadas em três grupos. Essa diferenciação permite selecionar genitores superiores para futuros cruzamentos, além da recomendação de cultivares adaptadas a diferentes ambientes.

A utilização de modelos mistos nas análises estatísticas possibilitou estimar e isolar os efeitos para cada avaliação. Essas análises permitiriam comparar as progênies ao longo do tempo e em diferentes condições.

De acordo com as características relacionadas a produção, sanidade e qualidade de bebida, utilizadas no índice de seleção, foram selecionadas as progênies H419-6-2-5-3-8, H419-6-2-5-3-7, H419-6-2-5-3-13, H419-6-2-5-3-3 e H419-6-2-3-4-7.

5. REFERÊNCIAS

- Alkimim, E. R. (2013). *Seleção assistida por marcadores moleculares para resistência múltipla à ferrugem e à antracnose dos frutos do cafeeiro*. Universidade Federal de Viçosa.
- Alkimim, E. R., Caixeta, E. T., Sousa, T. V., Gois, I. B., da Silva, F. L., Sakiyama, N. S., Zambolim, L., Alves, R. S., & Resende, M. D. V. (2021). Designing the best breeding strategy for *Coffea canephora*: Genetic evaluation of pure and hybrid individuals aiming to select for productivity and disease resistance traits. *PLOS ONE*, *16*(12), e0260997. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0260997>
- Alliance For Coffee Excellence. (2022). *Brazil 2021*. <https://allianceforcoffeexcellence.org/brazil-2021/>
- Almeida, D. P. de, Castro, I. S. L., Mendes, T. A. de O., Alvez, D. R., Barka, G. D., Barreiros, P. R. R. M., Zambolim, L., Sakiyama, N. S., & Caixeta, E. T. (2020). Receptor-Like Kinase (RLK) as a candidate gene conferring resistance to Hemileia. *Sci. Agric. V*, *78*(6), 2021. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0023>
- Barbosa, I. D. P. (2018). Avaliação de cultivares de coffeea arabica l. Para cafés especiais na região das matas de minas. In *BARBOSA, Ivan de Paiva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. Avaliação de cultivares de Coffea arabica L. para cafés especiais na região das Matas de Minas. Orientador: Ney Sussumu Sakiyama. Coorientadores: Cosme Damião Cruz, Antônio*. Universidade Federal de Viçosa.
- Bettencourt, A. J. (1973). Considerações gerais sobre o Híbrido de Timor. *Instituto Agrônomo de Campinas - Circular n.3*, 20.
- Bettencourt, A. J., & Noronha Wagner, H. (1971). Genetic factors conditioning resistance of *Coffea arabica* L. to *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. *Agronomia Lusitana (Portugal)*, *31*, 285–292.
- Bettencourt, A. J., Noronha Wagner, M., & Lopes, M. (1980). Factor genético que condiciona a resistência do clone 1343/269 (Híbrido de Timor) à *Hemileia vastatrix* Berk. and Br. *Brpteria Genética*, *1*(LXXVI).
- Bettencourt, A. J., & Rodrigues, C. J. (1988). Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases. *Coffe Agronomy*, *4*(2), 199–234.

- Borém, Flávio M., Figueiredo, L. P., Ribeiro, F. C., Taveira, J. H. S., Giomo, G. S., & Salva, T. J. G. (2016). The relationship between organic acids, sucrose and the quality of specialty coffees. *African Journal of Agricultural Research*, 11(8), 709–717. <https://doi.org/10.5897/ajar2015.10569>
- Borém, Flávio Meira. (2008). *Pós-colheita do café* (p. 631). Editora UFLA.
- Brasil. (2022a). *Registro de Cultivares: Café Arábica*. https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php
- Brasil. (2022b). *Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários*. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons
- BSCA, B. S. C. A. (2017). *Brazil. The Coffee Nation | Café especial do Brasil bate recorde mundial no leilão do CoE Pulped Naturals*. <https://brazilcoffeenation.com.br/Noticias/cafe-especial-Brasil-bate-recorde-mundial-leilao-CoE-Pulped-Naturals>
- BSCA, B. S. C. A. (2022). *Brazil. The Coffee Nation | A BSCA*. <https://brazilcoffeenation.com.br/a-bsca>
- Cabral, P. G. C., Zambolim, E. M., Zambolim, L., Lelis, T. P., Capucho, A. S., & Caixeta, E. T. (2009). Identification of a new race of *Hemileia vastatrix* in Brazil. *Australasian Plant Disease Notes*, 4(1), 129–130. <https://doi.org/10.1071/DN09052>
- Capucho, A. S., Zambolim, E. M., Freitas, R. L., Haddad, F., Caixeta, E. T., & Zambolim, L. (2012). Identification of race XXXIII of *Hemileia vastatrix* on *Coffea arabica* Catimor derivatives in Brazil. *Australasian Plant Dis. Notes*, 189–191. <https://doi.org/10.1007/s13314-012-0081-7>
- Carvalho, C. H. S. (2008). Cultivares de café: origem, características e recomendações. *Embrapa Café*, 334.
- Carvalho, Carlos Henrique S., Rezende, J. C. de, Ferreira, I. B., Castro, M. A. A. de, & Ferraz e Campos, S. R. (2017). Cultivares empregadas na produção de mudas de café, no estado de Minas Gerais. *43º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/9681>
- Carvalho, Gladyston Rodrigues;, Ferreira, A. D., Carvalho, A. M., Botelho, C. E., Paiva, R. F. de;, & Rezende, J. C. de; (2010). Desempenho das variedades de café arábica nas

- diferentes regiões do estado de Minas Gerais: Produtividade, qualidade, resistência a doenças e estiagem. In Z. Laercio, E. Caixeta, & E. M. Zambolim (Eds.), *Estratégias para produção de café com qualidade e sustentabilidade* (1st ed., pp. 85–127). 2010.
- Carvalho, Gladyston Rodrigues, Rezende, J. C. de, Botelho, C. E., & Ferreira, Andre Dominghetti Pereira, Antonio Alves Oliveira, A. C. B. de. (2011). Melhoramento genético do café visando à qualidade de bebida. In *Informe Agropecuario* (Vol. 32, Issue 261).
- Carvalho, H. F., Silva, F. L. da, Resende, M. D. V. De, & Bhering, L. L. (2019). Selection and genetic parameters for interpopulation hybrids between kouilou and robusta coffee. *Bragantia*, 78(1), 52–59. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018124>
- Cecafé. (2022). Exportações Brasileiras de Café Relatório Mensal x Tipo de Café entre 01/01/2017 e 30/06/2017. *Conselho Dos Exportadores de Café Do Brasil*, 2017. <https://www.cecafe.com.br/dados-estatisticos/exportacoes-brasileiras/>
- CeCafé, C. dos E. de C. do B. (2022). *Relatório mensal Janeiro 2022*. 18. <https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes/>
- CONAB. (2021). Acompanhamento da Safra Brasileira. *Boletim Da Safra 2021*, 8(Terceiro levantamento), 59. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/>
- Conab, C. N. de A. (2022). *Série histórica de produção de café arábica no Brasil*. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>
- Costa, C., & Bessa, F. (2014). *Cafés Especiais do Brasil atendem às diferentes demandas mundiais*. <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/imprensa/noticias/431-cafes-especiais-do-brasil-atendem-as-diferentes-demandas-mundiais-e-cresce-15-ao-ano>
- Cruz, C. D., Regazzi, A. J., & Carneiro, P. C. S. (2012). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético* (4th ed.). Editora UFV.
- Cruz, Cosme Damião, Ferreira, F. M., & Pessoni, L. A. (2020). Diversidade Genética Baseada em Informações Fenotípicas. In Cosme Damião Cruz, F. M. Ferreira, & L. A. Pessoni (Eds.), *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética* (1st ed., pp. 28–144). Editora UFV.
- Cruz, Cosme Damião, Regazzi, A. J., & Carneiro, P. C. S. (2012a). Interação genótipos por ambiente. In *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético* (p. 110–142).

- Cruz, Cosme Damião, Regazzi, A. J., & Carneiro, P. C. S. (2012b). Repetibilidade. In Cosme Damião Cruz, A. J. Regazzi, & P. C. S. Carneiro (Eds.), *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético* (4th ed., pp. 485–509). Editora UFV.
- Davis, A. P., Tosh, J., Ruch, N., & Fay, M. F. (2011). 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*, 167(4), 357–377. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>
- Dias, L. D. O., & Silva, M. dos S. (2015). *Determinantes da demanda internacional*. 86–98. <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/969/860>
- FAO, F. A. O. of the U. N. (2015). *FAO Statistical Pocketbook Coffee*. <https://www.fao.org/3/i4985e/i4985e.pdf>
- FAO, F. and A. O. of the U. N. (2021). *Food Outlook: Biannual Report*. <https://www.fao.org/3/cb4479en/cb4479en.pdf>
- Fassio, L. de O. (2017). *Banco ativo de germoplasma de Minas Gerais (Coffea spp .): aptidão para a produção de cafés especiais Lavras - MG*. 1–100.
- Feitosa, F. D. M. (2017). Estimativa de parâmetros genéticos e seleção de genótipos de café arábica com base em REML/BLUP e marcadores moleculares. In *Viçosa, MG*.
- Figueiredo, L. P., Borém, F. M., Cirillo, M. Â., Ribeiro, F. C., Giomo, G. S., & Salva, T. D. J. G. (2013). The Potential for High Quality Bourbon Coffees From Different Environments. *Journal of Agricultural Science*, 5(10), 87–98. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n10p87>
- Gamonal, L. E., Vallejos-Torres, G., & López, L. A. (2017). Sensory analysis of four cultivars of coffee (*Coffea arabica* L.), grown at different altitudes in the San Martin region - Peru. *Ciência Rural*, 47(9). <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20160882>
- Gimase, J. M., Thagana, W. M., Kirubi, D. T., Gichuru, E. K., & Kathurima, C. W. (2014). Beverage quality and biochemical attributes of arabusta coffee (*C. arabica* L. x *C. canephora* Pierre) and their parental genotypes. *African Journal of Food Science*, 8(9), 456–464. <https://doi.org/10.5897/ajfs2014.1132>
- Giomo, G. S., & Borém, F. M. (2011). Cafés Especiais no Brasil: Opção pela Qualidade. *Informe Agropecuario*, 32, 261.

- Giomo, G. S., Borém, F. M., Taveira, J. H. da S., Fortunato, V. A., Cintra, W. de O., & Isquierdo, E. P. (2009). Análise sensorial aplicada à avaliação da qualidade de bebida de café submetido a diferentes métodos de processamento e secagem. In *VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/10820/3589>
- Júnior, D. G., Pozza, E. A., Pozza, A. A. A., Souza, P. E., Carvalho, J. G., & Balieiro, A. C. (2003). Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira*, 28(3), 286–291. <https://doi.org/10.1590/s0100-41582003000300010>
- Kitzberger, C. S. G., Scholz, M. B. dos S., Pereira, L. F. P., da Silva, J. B. G. D., & Benassi, M. de T. (2016). Profile of the diterpenes, lipid and protein content of different coffee cultivars of three consecutive harvests. *AIMS Agriculture and Food*, 1(3), 254–264. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.3.254>
- Leroy, T., Ribeyre, F., Bertrand, B., Charmetant, P., Dufour, M., Montagnon, C., Marraccini, P., & Pot, D. (2006). Genetics of coffee quality. In *Brazilian Journal of Plant Physiology* (Vol. 18, Issue 1, pp. 229–242). <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100016>
- Mariz, B. L. (2021). *Análise de parâmetros genéticos e seleção assistida por marcadores moleculares no melhoramento de Coffea arabica*.
- Mulamba, N. N., & Mock, J. J. (1978). Improvement of yield potential of the ETO blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. *Egyptian Journal of Genetics and Cytology*, 7, 40–51. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=EG19790388853>
- OIC. (2022). *International Coffee Organization - Processamento no campo*. https://www.ico.org/pt/field_processing_p.asp?section=Meetings_and_Events
- Oliveira, A. C. B., Pereira, A. A., Caixeta, E. T., Resende, M. D. V., & Ribeiro, M. de F. (2021). *Cultivares de café resistentes à ferrugem: alternativa viável para a cafeicultura das Matas de Minas*. www.embrapa.br/fale-conosco/sac
- Oliveira, P. D., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Giomo, G. da S., de Lima, R. R., & Cardoso, R. A. (2013). Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. *Coffee Science*, 8(2), 211–220.
- Patricio, F. R. A., & Oliveira, E. G. (2013). Alterações desafios do manejo no controle de

- doenças do café. *Visao Agricola*, 12(March), 4.
<https://www.researchgate.net/publication/331704140>
- Pereira, A. A., & Oliveira, A. C. B. (2015). Cultivares. In N. S. Sakiyama, H. E. P. Martinez, M. A. Tomaz, & A. Borém (Eds.), *Café arábica: do plantio à colheita* (p. 316). Editora UFV.
- Pereira, A. A., Oliveira, A. C. B., Botelho, C. B., Carvalho, C. E., & Resende, J. C. (2013). *Cultivares de café arábica desenvolvidas pela EPAMIG e instituições parceiras* (Vol. 34, pp. 44–53). Informe Agropecuário.
- Pereira, Antônio Alves. (2010). Cultivares: origens e suas características. In P. R. Reis & R. L. Cunha (Eds.), *Café arábica do plantio à colheita* (p. 896). U. R. Epamig.
- Pereira, Antonio Alves, Silva, F. L. da, Oliveira, A. C. B., Oliveira, A. L. de, Sakiyama, N. S., Rezende, J. C. de, Botelho, C. E., Carvalho, G. R., & Bonomo, V. S. (2011). Caracterização da qualidade de bebida e outras características de acessos do banco de germoplasma de café de Minas Gerais. *VII Simpósio de Pesquisa Dos Cafés Do Brasil*.
- Pereira, T. B., Carvalho, J. P. F., Botelho, C. E., Resende, M. D. V. de, Rezende, J. C. de, & Mendes, A. N. G. (2013). Eficiência da seleção de progênies de café F4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). *Bragantia*, 72(3), 230–236.
<https://doi.org/10.1590/brag.2013.031>
- Resende, M. D. V. de. (2007). *SELEGEN-REML/BLUP: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos* (M. D. V. de Resende (ed.); 1st ed.). Embrapa.
- Resende, M. D. V. de. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16(4), 330–339.
<https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>
- Resende, M. D. V. de, & Alves, R. S. (2020a). Linear, Generalized, Hierarchical, Bayesian and Random Regression Mixed Models in Genetics/Genomics in Plant Breeding. *Functional Plant Breeding Journal*, 2(2), 1–31. <https://doi.org/10.35418/2526-4117/v2n2a1>
- Resende, M. D. V. de, & Duarte, J. B. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Agricultural Research in the Tropics*, 37(3), 182–194.
<https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/1867/1773>

- Resende, M. D. V. de, Furlani-Júnior, E., Moraes, M. L. T. de, & Fazuoli, L. C. (2001). Estimation of genetic parameters and prediction of genotypic values in coffee breeding by the REML/BLUP method. *Bragantia*, 60(3), 185–193. <https://doi.org/10.1590/s0006-87052001000300005>
- Resende, M. D. V. de, Prates, D. F., Jesus, A. de, & Yamada, C. K. (1996). Melhor predição linear não viciada (BLUP) de valores genéticos no melhoramento de pinus. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 32/33, 3–22.
- Resende, M. D. V. (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. (M. D. V. de Resende (ed.)). Embrapa Informação Tecnológica: Colombo: Embrapa Florestas.
- Resende, M. D. V., & Alves, R. S. (2020b). Linear, generalized, hierarchical, Bayesian and random regression mixed models in genetics/genomics in plant breeding. *Functional Plant Breeding Journal*, 2, 1–31.
- Rhinehart, R. (2009). What is Specialty Coffee? *Specialty Coffee Association of America*, 1–2. <http://scaa.org/?page=RicArtp1>
- Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., & Alvarez V., V. H. (1999). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. In *5ª Aproximação* (pp. 306–307). MG: CFSEMG/UFV.
- Ribeiro, B. B., Mendonça, L. M. V. L., Assis, G. A., de Mendonça, J. M. A., Malta, M. R., & Montanari, F. F. (2014). Evaluation of the chemical and sensory characteristics of Coffea canephora Pierre and Coffea Arabica L. blends. *Coffee Science*, 9(2), 178–186. <https://doi.org/10.25186/cs.v9i2.596>
- Ribeiro, Diego Egídio. (2013). *INTERAÇÃO GENÓTIPO E AMBIENTE NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E QUALIDADE*. Universidade Federal de Lavras.
- Ribeiro, Diego Egídio, Borem, M., Cirillo, M. A., Vilela, M., Prado, B., Ferraz, V. P., Maria, H., Alves, R., Henrique Da, J., & Taveira, S. (2016). Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. *African Journal of Agricultural Research*, 11(27), 2412–2422. <https://doi.org/10.5897/ajar2016.10832>
- Rufino, J. L. S., & Ribeiro, M. de F. (2016). *Seleção, avaliação de impactos e capacitação de*

- tecnologias na Zona da Mata Mineira* (p. 31). ed. UFV.
- Saes, S. M. (2001). *Diagnóstico sobre o sistema agroindustrial de cafés especiais e qualidade superior no estado de Minas Gerais*.
- Sakiyama, N. S. (2015). O café Arábica. In N. S. Sakiyama, H. E. P. Martinez, M. A. Tomaz, & A. Borém (Eds.), *Café arábica do plantio à colheita* (p. 316). Editora UFV.
- Sakiyama, N. S., Martinez, H. E. P., Tomaz, M. A., & Borém, A. (2015). *Café Arábica do plantio à colheita*. Editora UFV.
- SCA, S. C. A. (2022a). *About SCA — Specialty Coffee Association*. <https://sca.coffee/about>
- SCA, S. C. A. (2022b). *Protocols & Best Practices — Specialty Coffee Association*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- SCA, S. C. A. (2022c). *Specialty Coffee Association*. <https://sca.coffee/>
- SCA, S. C. A. (2022d). *What is Specialty Coffee? — Specialty Coffee Association*. <https://sca.coffee/research/what-is-specialty-coffee>
- SCAA, S. C. A. of A. (2015). SCAA Protocols Cupping Specialty Coffee. *Specialty Coffee Association of America*, 1–10. <http://www.scaa.org/?page=resources&d=coffee-protocols>
- Scholz, M. B. dos S., Kitzberger, C. S. G., Pagiatto, N. F., Pereira, L. F. P., Davrieux, F., Pot, D., Charmetant, P., & Leroy, T. (2016). Chemical composition in wild ethiopian Arabica coffee accessions. *Euphytica*, 209(2), 429–438. <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1653-y>
- Setotaw, T. A., Caixeta, E. T., Pereira, A. A., de Oliveira, A. C. B., Cruz, C. D., Zambolim, E. M., Zambolim, L., & Sakiyama, N. S. (2013). Coefficient of Parentage in *Coffea arabica* L. Cultivars Grown in Brazil. *Crop Science*, 53(4), 1237–1247. <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.09.0541>
- Silva, A. C. A. da, Abreu, G. F. de, Macedo, D. D., Ribeiro, D. E., Voltolini, G. B., Alves, G., Silva, A. D. da, & Guiraldeli, C. H. C. (2015). Fitossanidade do cafeeiro: relação com a qualidade sensorial plant health of coffee plant: relation to the sensory quality. In *IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil* (p. 5).
- Silva, E. C. (2018). Café no sul de Minas e no cerrado mineiro: história, panorama atual e desafios. *Negócio Café*, 1, 1–26.

http://www.consorcioquesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Negocio_Cafe_Julho_2018.pdf

- Silveira, A. de S., Pinheiro, A. C. T., Ferreira, W. P. M., Silva, L. J. da, Rufino, J. L. dos S., & Sakiyama, N. S. (2016). Sensory analysis of specialty coffee from different environmental conditions in the region of matas de minas, minas gerais, Brazil. *Revista Ceres*, 63(4), 436–443. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663040002>
- Singh, D. (1981). *Indian J. Genet.*, 41(1981): 237-245 the relative importance of characters genetic divergence. 41, 237–245.
- Sobreira, F. M. (2013). Divergência entre genótipos de café arábica para qualidade sensorial. *Tese Programa de Pós-Graduação Em Fitotecnia*, 1–78.
- Sousa, T. V. (2017). *Diversidade genética, ganhos com seleção e seleção genômica amplan na espécie <i>Coffea arabica</i>*. Universidade Federal de Viçosa.
- Sousa, T. V., Caixeta, E. T., Alkimim, E. R., Oliveira, A. C. B., Pereira, A. A., Sakiyama, N. S., Zambolim, L., & Resende, M. D. V. (2019). Early selection enabled by the implementation of genomic selection in coffea arabica breeding. *Frontiers in Plant Science*, 9(January), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01934>
- Teixeira, M. M., Filho, A. F. L., Oliveira, M. V. M., Silva, F. A. P., & Moreira, R. M. G. (2015). Colheita e pós-colheita. In *Café arabica do plantio à colheita* (pp. 216–249). Editora UFV.
- Tessema, A., Alamerew, S., Kufa, T., & Garedew, W. (2011). Genetic diversity analysis for quality attributes of some promising Coffea arabica germplasm collections in southwestern Ethiopia. *Journal of Biological Sciences*, 11(3), 236–244. <https://doi.org/10.3923/jbs.2011.236.244>
- USDA, F. A. S. (2021). Coffee: World Markets and Trade. *Coffee: World Markets and Trade, December*, 1–9. <https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS/subscriber/new>
- VAN DER VOSSSEN, H. A. M. (2005). State-of-the-art of developing durable resistance to biotrophic pathogens in crop plants, such as coffee leaf rust. In V. M. P. Zambolim, L.; Maciel-Zambolim, E.; Várzea (Ed.), *Durable resistance to coffee leaf rust* (Departamen, pp. 1–30).
- Várzea, V. M. P., & Marques, D. V. P. (2005). Population variability of Hemileia vastatrix vs. Coffee Durable Resistance. In E. M. . V. ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM & V.M.P. (Eds.),

- Durable resistance to coffee leaf rust*. (1st ed., pp. 53–74). UFV.
- Varzea, V. M. P., & Marques, D. V. (2005). Population Variability of *Hemileia vastatrix* VS. Coffee Durable Resistance. In L. Zambolim, E. M. Zambolim, & V. M. P. Varzea (Eds.), *Population Variability of Hemileia vastatrix VS. Coffee Durable Resistance* (1st ed., pp. 53–74). Universidade Federal de Viçosa.
- Vasconcelos, E. S. de, Cruz, C. D., Bhering, L. L., & Resende Júnior, M. F. R. (2007). Método alternativo para análise de agrupamento. *Pesq. Agropec. Bras*, 42(10), 1421–1428. <https://www.scielo.br/j/pab/a/kXhz6GNbYn68bNqPbf85znR/?format=pdf&lang=pt>
- Winston, E., Op de Laak, J., Marsh, T., Lempke, H., & Chapman, K. (2005). *Arabica coffee manual for Lao-PDR*. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. <http://www.fao.org/docrep/008/ae939e/ae939e00.htm#Contents>
- Zambolim, Laércio. (2007). *Boas práticas agrícolas na produção de café* (Laércio Zambolim (ed.); UFV, DFP).
- Zambolim, Laércio. (2016). Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 41(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0065-9>
- Zambolim, Laércio, & Caixeta, E. T. (2018). Ferrugem. In Laércio Zambolim & B. M. Brenes (Eds.), *Doenças do café no Brasil – Enfermedades del café en Central – América* (1st ed., pp. 17–48). UFV.
- Zambolim, Laércio, & Caixeta, E. T. (2021). An overview of physiological specialization of coffee leaf rust - new designation of pathotypes. *International Journal of Current Research*, 13(01), 15564–15575. <https://doi.org/10.24941/ijcr.40600.01.2021>