



GUSTAVO PUCCI BOTEGA

**EFICIÊNCIA DO ÍNDICE FAI-BLUP NA SELEÇÃO DE
GENÓTIPOS BOURBON.**

LAVRAS – MG

2019

GUSTAVO PUCCI BOTEGA

EFICIÊNCIA DO ÍNDICE FAI-BLUP NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS BOURBON.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof(a). Dra Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

Dr.César Elias Botelho
Coorientador

LAVRAS – MG

2019

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

Botega, Gustavo Pucci.

Eficiência do índice FAI-BLUP na seleção de genótipos
Bourbon. / Gustavo Pucci Botega. - 2019.
60 p. : il.

Orientador(a): Flavia Maria Avelar Gonçalves.

Coorientador(a): César Elias Botelho.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Coffea arabica. 2. Índice de seleção. 3. BLUP. I. Gonçalves,
Flavia Maria Avelar. II. Botelho, César Elias. III. Título.

GUSTAVO PUCCI BOTEGA

EFICIÊNCIA DO ÍNDICE FAI-BLUP NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS BOURBON.

**EFFICIENCY OF THE FAI-BLUP INDEX IN THE SELECTION OF BOURBON
GENOTYPES.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 20 de fevereiro de 2019

Dra. Flavia Maria Avelar Goncalves UFLA

Dr. André Dominghetti Ferreira EMPRAPA

Dra. Juliana Costa de Rezende EPAMIG

Prof(a). Dra Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

Dr.César Elias Botelho
Coorientador

LAVRAS – MG

2019

Aos meus pais e irmãos.

Aos meus familiares

A minha namorada

Aos meus amigos.

Dedico

“ De todas as ciências a biologia é a mais carente de leis, existem poucas regras para começar, e ainda menos regras que sejam universais. ”
(Siddhartha Mukherjee)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo selecionar genótipos de *Coffea arabica* com base em multi-caracteres pelo índice de seleção FAI-BLUP e compará-lo ao índice de Smith-Hazel. Foram utilizados 20 genótipos de cafeeiro, dentre os quais, 17 pertencem ao grupo Bourbon e três cultivares amplamente cultivadas no Estado de Minas Gerais, Mundo Novo IAC 502/9, Catuaí Vermelho IAC 144, Icatú Amarelo IAC 3282. Os experimentos foram instalados no estado de Minas Gerais nos municípios de Campos Altos, Santo Antônio do Amparo, Patrocínio, Lavras e Três Pontas. O delineamento experimental utilizado foi de blocos completos casualizados com três repetições e dez plantas por parcela, instalados em dezembro de 2005, no espaçamento de 3,5m x 0,8m. Foram avaliadas características agronômicas, sensoriais, químicas e físico-químicas. Realizou-se as análises estatísticas individuais e conjuntas para cada característica. Na análise conjunta a matriz de variância e covariância residual foi modelada com diferentes estruturas. Utilizou-se o critério de Schwarz (BIC) para escolha do melhor modelo. Estimou-se os E-BLUP (Empirical Best Linear Unbiased Prediction) dos valores genotípicos que foram utilizados no índice de seleção FAI-BLUP, todas análises foram feitas no software R utilizando-se do pacote Asreml. A utilização do índice de seleção FAI-BLUP na seleção de genótipos de *Coffea arabica* demonstrou ser eficiente, podendo ser uma alternativa nos programas de melhoramento de *Coffea arabica*.

Palavras-chaves: *Coffea arabica*; Melhoramento genético de plantas, Modelos mistos; Índice de seleção, BLUP.

ABSTRACT

The present work aimed to select genotypes of *Coffea arabica* based on multi-characters by the FAI-BLUP selection index and compare it to the Smith-Hazel index. A total of 20 coffee genotypes were used, of which 17 belong to the Bourbon group and three are widely cultivated genotypes in the State of Minas Gerais, Mundo Novo IAC 502/9, Catuaí Vermelho IAC 144, Icatú Amarelo IAC 3282. The experiments were installed in the towns of Campos Altos, Santo Antônio do Amparo, Patrocínio, Lavras and Três Pontas located in the state of Minas Gerais. The experimental design was did in randomized complete blocks with three replications and ten plants per plot, installed in December 2005, by the space 3.5m x 0.8m. The experimental data were taken in the 2007/2008, 2008/2009 and 2009/2010 agricultural years. Agronomics, sensorial, chemical and physico-chemical characteristics were evaluated. The individual and joint statistical analyzes were performed for each characteristic. In the joint analysis, the residual variance and covariance matrix was modeled with different. The Schwarz criterion (BIC) was used to choose the best matrix. We estimated The E-BLUP (Empirical Best Linear Unbiased Prediction) of the genotypic values that were used in the FAI-BLUP selection, all analyzes were performed in the R software using the Asreml package. The use of the FAI-BLUP selection index in the selection of multiple characters in *Coffea arabica* genotypes has been shown to be efficient and may be an alternative in *Coffea arabica* breeding programs.

Keywords: *Coffea arabica*; breeding plants, Mixed models; Selection index, BLUP.

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1. Relação dos genótipos de Bourbon e das cultivares comerciais de cafeeiro avaliadas no experimento. 24
- Quadro 2. Ranqueamento dos dezessete genótipos do grupo Bourbon pelo índice de seleção FAI-BLUP..... 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Região geográfica, variáveis climáticas e caracterização dos locais de instalação dos experimentos.	25
Tabela 2.	Componentes de variância das análises conjuntas para os caracteres agronômicos.	44
Tabela 3.	Componentes de variância das análises conjuntas para os caracteres físicos, físico-químicos e sensorial.	45
Tabela 4.	Estimativas dos autovalores e frequência cumulativa dos sete componentes principais.	46
Tabela 5.	Ideótipos e ganhos genéticos preditos baseado na seleção direta e indireta via índice FAI-BLUP e de Smith-Hazel.	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Municípios do estado de Minas Gerais onde os experimentos foram avaliados.....	25
Figura 2.	Estimativas BIC para diferentes matrizes de variância e covariância residual, para os caracteres agronômicos, físicos, físico-químicos e sensorial.	36
Figura 3.	Correlações de Pearson dos valores fenotípicos e genotípicos para os caracteres químicos, físico-químicos e sensorial.	41
Figura 4.	Correlações de Pearson dos valores fenotípicos e genotípicos para os caracteres gronômicos.	43

SUMÁRIO

1 -	INTRODUÇÃO.....	13
2 -	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	15
2.1 -	Melhoramento genético de <i>Coffea arabica</i>	15
2.2 -	Qualidade de bebida.....	17
2.3 -	Cafés especiais.....	18
2.4 -	Aspectos sensoriais.....	19
2.5 -	Aspectos químicos e físico-químicos do café.....	20
2.6 -	Índice de seleção.....	21
3 -	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 -	Material genético e detalhes experimentais.....	23
3.2 -	Colheita e avaliações de campo.....	26
3.2.1 -	Características agronômicas.....	26
3.2.2 -	Preparo e processamento das amostras.....	27
3.2.3 -	Análises químicas e físico-químicas do café.....	27
3.2.4 -	Avaliação dos atributos sensoriais.....	29
3.5 -	Análises estatísticas.....	29
3.6 -	Correlação de Pearson.....	32
3.7 -	Índice de seleção.....	33
3.7.1 -	FAI-BLUP.....	33
3.7.2 -	Smith-Hazel.....	33
3.9 -	Ganho de Seleção.....	34
4 -	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 -	Ajustes dos modelos.....	36
4.2 -	Correlações dos caracteres físico, físico-químicos e sensorial.....	39
4.3 -	Correlações dos caracteres agronômicos.....	42
4.4 -	Análises conjuntas dos caracteres agronômicas.....	43
4.5 -	Análises conjuntas dos caracteres físicos, físico-químicos e sensorial.....	45
4.6 -	Índice de seleção.....	46
5 -	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50
	ANEXOS.....	55

1 – INTRODUÇÃO

O *Coffea arabica* foi introduzido no Brasil em 1727, contudo o início do melhoramento genético se deu por volta de 1930. Os melhoristas desde então procuram obter plantas que aliem não só uma alta produtividade como também outras características de interesse agrônômico (FILHO et al., 2008).

Vários são os caracteres observados pelos melhoristas na etapa de seleção de genótipos de café, tais como resistência a patógenos, baixos teores de cafeína nos grãos, ciclo precoce, entre outras. Atualmente algumas características referentes a qualidade de bebida do café vem chamando a atenção dos pesquisadores, assim a busca por genótipos com estes atributos estão sendo o foco de alguns programas de melhoramento, uma vez que os consumidores cada vez mais se tornam exigentes em relação a estes atributos (FILHO et al., 2008).

Existem diversos fatores que influenciam na qualidade da bebida do café, desde aspectos culturais até características como variações de clima, latitude, altitude e sistemas de produção, contudo um fator de extrema importância é a espécie, já que existem diferenças entre as espécies mais cultivadas em todo o mundo (ALVES, et.al., 2011). As cultivares da espécie *C. arabica* apresentam bebida de qualidade superior, com mais aroma e sabor em relação as outras espécies do gênero. O método utilizado para avaliar a qualidade de bebida do café é a análise sensorial conhecida também por “prova de xícara”, nessa análise profissionais atribuem notas a bebida do café.

A análise sensorial do café está diretamente relacionada aos aspectos físico-químicos que estão presente no grão sendo que vários compostos voláteis e não voláteis, destacando-se entre eles os aldeídos, ácidos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, compostos fenólicos e ácidos graxos tem elevada importância na qualidade da bebida do café arábica (ILLY; VIANI,1995). É desejável que o teor de alguns compostos seja elevado, enquanto de outros seja reduzido, portanto para a seleção de genótipos de *Coffea Arabica* para melhor qualidade de bebida é essencial que seja realizada com base em múltiplos caracteres.

Uma alternativa para a seleção de múltiplos caracteres é o uso dos índices de seleção, diversos são os índices que são descritos na literatura, Rocha et al. (2018) propôs um novo índice de seleção, o FAI- BLUP (análise de fatores e design de ideótipos), o qual permite o ranqueamento dos genótipos baseado em multi-características sem problemas de multicolinearidade.

Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de selecionar genótipos de cafeeiro Bourbon (*Coffea arabica* L.) com base em características agronômicas, sensoriais e químicas com uso do índice de seleção FAI-BLUP e compará-lo ao índice de Smith-Hazel.

2 - REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 - Melhoramento genético de *Coffea arabica*.

A história do café (*Coffea arabica*) no Brasil se iniciou no ano de 1727, quando Francisco Mello Palheta trouxe sementes e mudas da Guiana Francesa para o estado do Pará. Desde sua introdução o café foi plantado praticamente em todos estados brasileiros (CHALFOUN e REIS, 2010). Contudo, nos dias atuais esse cultivo se restringe principalmente aos estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Bahia, Rondônia e Paraná. (ABIC, 2016).

Até o ano de 1859, os cafezais brasileiros descendiam de somente uma planta do jardim botânico de Amsterdã, que deu origem aos cafezais de Suriname, Guiana e Brasil. Portanto, os cafezais brasileiros eram uma enorme progênie de um só cafeeiro, esse denominado de Típica (CARVALHO,2007). Então o Governo Brasileiro mandou buscar sementes do café Bourbon Vermelho da Ilha da Reunião para a introdução no Brasil, onde diziam ser mais produtivas e com uma boa qualidade (PEREIRA et al., 2010). Além do Bourbon vermelho, outra importante introdução foi a cultivar “Sumatra” provindo da ilha de Sumatra no ano de 1896, essa cultivar era descrita como bem produtiva, vigorosa e de sementes maiores do que as do Bourbon Vermelho. Contudo a produção da cultivar “Sumatra” não foi satisfatória, o que fez com que ela não tivesse a mesma expansão do Bourbon (KRUG et al., 1939).

O melhoramento genético no Brasil começou em meados da década de 1930 pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) cerca de 200 anos depois da introdução do café no Brasil, o melhoramento foi realizado de forma meramente empírica em que os próprios cafeicultores identificava plantas superiores em seus cafezais, possivelmente por sofrerem algum tipo de mutação ou recombinação tais como Bourbon Amarelo, Mundo Novo, Maragogipe (PEREIRA et al., 2010) e até mesmo plantas provenientes de outros lugares do mundo como Bourbon Vermelho e Sumatra, e as selecionavam para os futuros plantios. (CARVALHO et al., 1952), (BERTHAUD; HARRIER, 1988). O objetivo inicial do melhoramento do cafeeiro no IAC era de realizar estudos sobre sistemática, citologia, biologia da reprodução, genética e de técnicas agronômicas, a fim de reunir informações básicas para implementar um programa de melhoramento (KRUG, 1936; MENDES E KRUG,1938).

No ano de 1943, o IAC foi informado da existência de uma ótima plantação de café da cultivar “Sumatra” no município de Urupês, essas plantas eram excepcionalmente desenvolvidas e produtivas, apesar de possuírem variações em sua conformação. Em estudos

sobre filogênia deste cafezal concluiu que na realidade esses cafés constituíam de um cruzamento natural entre as cultivares Sumatra e Bourbon. Diversas plantas foram selecionadas daquele cafezal, onde deram origem as 13 cultivares a quais foram denominadas de Mundo Novo (MENDES et al., 2008; RNC, 2019).

Entre os diversos trabalhos realizados no IAC alguns merecem atenção, como por exemplo, a hibridação realizada entre as cultivares Caturra Amarelo que apresenta porte baixo com a cultivar Mundo Novo de porte alto. As seleções de progênies desse cruzamento iniciaram no ano de 1949 e, após várias gerações obtiveram recombinações valiosas tais como as cultivares Catuaí Amarelo e Catuaí Vermelho. Desses cruzamentos foram obtidos 16 cultivares, com o porte reduzido do Caturra Amarelo e a rusticidade do Mundo Novo (PEREIRA et al., 2010; RNC, 2019).

Atualmente das 132 cultivares de *C. arabica* que estão registradas no Registro Nacional de Cultivares (RNC, 2019) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2017), 66 são do IAC, 18 do Procafé, 18 da Funtec, 16 da Epamig e 13 do IAPAR. As cultivares Mundo Novo e a Catuaí representam cerca de 90% de todo o café plantado no Brasil. Essas cultivares são preferidas pelos agricultores pela rusticidade, produtividade, capacidade de adaptação e qualidade de bebida. (Revista Cafeicultura, 2015)

Com a chegada da ferrugem no Brasil causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* que segundo Carvalho et al. (2010) pode causar perdas de até 50% na produção de grãos, o melhoramento genético de *C.arabica* tomou um novo rumo (CARVALHO, 2007). Novos programas de melhoramento foram iniciados tais como: do Instituto Brasileiro do Café (IBC), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), do Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar), da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig). Esses programas focam no lançamento de cultivares que além de serem altamente produtivas apresentam um grau de tolerância moderado/alto à ferrugem (FILHO et al., 2008).

Apesar de existir um número considerável de cultivares com resistência/tolerância à ferrugem disponível aos produtores, os programas de melhoramento continuam a incorporar outros genes de resistência. Isso se deve ao fato do patógeno, *Hemileia vastatrix*, possuir alta variabilidade genética, dificultando a previsão da durabilidade da resistência das cultivares atuais (VÁRZEA e MARQUES, 2005).

Existem também outras linhas de melhoramento que são desenvolvidas pelos principais órgãos públicos de pesquisa cafeeira, tais como: resistência a nematoides, resistência ao bicho mineiro (*Leucoptera Coffeella*), cultivares produtivas que apresentam baixos teores de

caféina nos grãos, cultivares precoces permitindo colheitas antecipadas, uma maior uniformidade de maturação, resistência a broca dos frutos (*Hypothenemus hampei*), maior tamanho de grão e cultivares com melhores qualidades da bebida (FILHO et al., 2008).

Vale ressaltar que os programas de melhoramento genético de *C. arabica* são extremamente onerosos e dependem de dados de várias colheitas para obtenção de novas cultivares. Segundo relatos na literatura são necessárias no mínimo quatro colheitas para se ter segurança na seleção de progênies. Deste modo, o tempo mínimo necessário da hibridação até o lançamento de uma cultivar são de aproximadamente 30 anos (CARVALHO et al., 1973).

2.2 - Qualidade de bebida

Diversos são os fatores que contribuem para a qualidade de bebida do café arábica, destacando-se entre eles fatores genéticos, ambientais e culturais. Segundo Illy e Viani (1995) características multigênicas controlam a qualidade da bebida do cafeeiro. Portanto, é de extrema importância que as cultivares sejam avaliadas quanto a qualidade de bebida além da produção de grãos.

Fatores ambientais e culturais também influenciam a qualidade de bebida. Características como variações de clima, latitude, altitude e sistemas de produção estão extremamente relacionadas com a qualidade (ALVES et al., 2011). Segundo Barbosa et al., (2010) quanto maior a altitude, maior a nota obtida na análise sensorial, e que em latitudes maiores a influência da altitude na obtenção de cafés de melhor qualidade é menor. Outro ponto importante que interfere na qualidade de bebida são as formas de processamento e de secagem dos grãos (BORÉM et al., 2008).

A qualidade do café está muito relacionada ao seu aroma, isso se deve à magnitude dos compostos voláteis que são encontrados no grão, no caso do café arábica já foram identificados mais de 800 (FRANCA et al., 2004). Além dos compostos voláteis a composição química dos grãos é de extrema relevância, sabe-se por exemplo que concentrações mais elevadas de carboidratos, lipídeos e trigonelina são responsáveis por uma melhor qualidade da bebida (ILLY; VIANI, 1995).

A importância em produzir cafés de qualidade e com menor custo é essencial para a permanência do cafeicultor em períodos onde os preços pagos pelo produto são baixos e em períodos de preços melhores permitir uma maior renda ao mesmo, melhorando assim a qualidade de vida dos cafeicultores, além de aumentar a competitividade do café brasileiro no cenário mundial (PETEK et al., 2005).

No Brasil, a classificação quanto a qualidade do café é atribuída de duas maneiras, a primeira é a classificação física do grão (tipo, cor, peneira) e a segunda é a classificação sensorial da bebida (REIS; CUNHA; CARVALHO, 2011). Quanto a classificação física, são computados defeitos que podem ser de natureza intrínseca (grãos imperfeitos) ou extrínseca (impurezas). Os defeitos de natureza intrínseca são causados por falhas no processo ou características da própria cultura, originando grãos verdes, pretos-verdes, pretos, ardidos, mal granados, quebrados, brocados, conchas e chochos. Os defeitos de natureza extrínseca são elementos encontrados no café beneficiado, como cascas, pedras, torrões, paus e pedras ou imperfeições que são decorrentes do próprio beneficiamento tais como marinheiro, coco e quebrados. Com os defeitos mensurados; café recebe um “Tipo”, que varia de 2 a 8 (BRASIL, 2003).

Na classificação sensorial da bebida, conhecida como “prova de xícara” provadores treinados classificam a qualidade da bebida de acordo com os sabores e aromas apresentados. A prova de xícara consiste na sorção, na degustação e no descarte da bebida, com posterior enquadramento, de acordo com a Instrução Normativa nº8, em: a) Estritamente mole: café que apresenta, em conjunto, todos os requisitos de aroma e sabor "mole", porém mais acentuado; b) Mole: café que apresenta aroma e sabor agradável, brando e adocicado; c) Apenas mole: café que apresenta sabor levemente doce e suave, mas sem adstringência ou aspereza de paladar; d) Duro: café que apresenta sabor acre, adstringente e áspero, porém não apresenta paladares estranhos; e) Riado: café que apresenta leve sabor, típico de iodofórmio; f) Rio: café que apresenta sabor típico e acentuado de iodofórmio; g) Rio Zona: café que apresenta aroma e sabor muito acentuado, assemelhado ao iodofórmio ou ao ácido fênico, sendo repugnante ao paladar.

2.3 - Cafés especiais

São considerados cafés especiais segundo Zylbersztajn e Farina (2001) os cafés que se enquadram nos seguintes aspectos: “O conceito de cafés especiais está intimamente ligado ao prazer proporcionado pela bebida. Destacam-se por algum atributo específico associado ao produto, ao processo de produção ou ao serviço a ele associado. Diferenciam-se por características como qualidade superior da bebida, aspecto dos grãos, forma de colheita, tipo de preparo, história, origem dos plantios, variedades raras e quantidades limitadas, entre outras. Podem também incluir parâmetros de diferenciação que se relacionam à sustentabilidade econômica, ambiental e social da produção, de modo a promover maior equidade entre os elos

da cadeia produtiva. Mudanças no processo industrial também levam à diferenciação, com adição de substâncias, como os aromatizados, ou com sua subtração, como os descafeinados. A rastreabilidade e a incorporação de serviços também são fatores de diferenciação e, portanto, de agregação de valor” (BSCA, 2007).

São considerados cafés especiais aqueles que não apresentam defeitos primários (pedras, paus, verdes) e que possuem algo que os diferencia dos demais, como o sabor remanescente floral, cítrico ou achocolatado, entre outros, agregando valor ao produto (BSCA, 2007). No processo produtivo destes cafés especiais é verificado o local, a variedade que será plantada, se a colheita é mecânica ou manual, mas sempre respeitando a maturação ideal dos frutos, o processo de secagem que deve ser em camadas finas ao sol ou em secadores.

Mudanças de comportamento mundial em relação a alimentação tiveram influência significativa nas mudanças no cenário agrícola brasileiro. Neste cenário o mundo começou a exigir não somente quantidade, mas, também, qualidade nos alimentos. Tendo em vista este cenário e a saturação do comércio de café sem nenhum diferencial, a busca por produtos diferenciados e de melhores qualidades, impulsionou o mercado de cafés especiais no mundo (BSCA, 2008). De todo o café comercializado mundialmente os cafés especiais representam cerca de 9%, envolvendo cafés finos e gourmet. No Brasil estima-se neste ano de 2019 um consumo de 12% em relação ao café tradicional, de acordo com estimativas da (ABIC, 2019).

O abastecimento regular de alta qualidade vem conquistando a confiança do mercado internacional. Outro fator importante para o crescimento do mercado de cafés especiais é uma maior demanda do mercado interno, onde brasileiros estão mais exigentes em relação a qualidade da bebida (BSCA, 2008).

2.4 - Aspectos sensoriais

A análise sensorial é usada para medir, analisar e interpretar as reações às características dos alimentos, percebidas pelos cinco sentidos humanos: visão, olfato, audição, tato e paladar. A percepção sensorial inicia-se com um estímulo que aciona os órgãos de sentido, esse é convertido em um sinal nervoso e é transmitido ao cérebro. Dentre todos os sentidos presentes em uma análise sensorial dois se destacam: paladar e olfato. O sabor é uma resposta em conjunto do gosto e do olfato. O gosto é atribuído a compostos não voláteis que estão presente no alimento. O aroma decorre da presença de diversas substâncias voláteis (FRANCO e JANZANTTI, 2003).

Um produto pode possuir excelentes características químicas, físicas e microbiológicas, porém se características sensoriais não atendem aos anseios do consumidor, este produto tende a não ser consumido. Portanto a análise sensorial é imprescindível na qualidade de um alimento ou bebida (DELLA LUCIA et al., 2006).

A análise sensorial de um alimento ou bebida não é uma característica própria, mas sim o resultado da interação com o homem. A qualidade sensorial é decorrente tanto de estímulos procedentes dos alimentos ou bebidas tanto quanto das condições sociológicas e fisiológicas dos indivíduos que o avaliam, em um cenário em que se localiza esse indivíduo e o próprio produto (DELLA LUCIA et al., 2006).

A análise sensorial do café conhecida também por “prova de xícara” vem sendo adotada no Brasil desde 1917 pela Bolsa Oficial do Café e Mercadorias de Santos para a avaliação da qualidade dos cafés produzidos no Brasil. Essa análise se baseia na classificação do café quanto ao seu sabor e aroma. É dada uma nota para cada atributo, então esses são somados e subtrai-se os defeitos. Cafés que apresentam uma nota acima de 80 pontos são classificados como cafés especiais (BSCA, 2008).

Essa classificação pode ser realizada por meio de uma análise subjetiva que varia de provador para provador ou por meio de uma análise sensorial descritiva, pelo qual os provadores descobrem sabores e aromas diferenciados (BSCA,2005). Na análise sensorial, a definição de quais descritores sensoriais serão empregados pelos julgadores são de extrema importância, permitindo, ainda, que os resultados individuais sejam analisados conjuntamente. Para o café torrado, são usados como descritores: doce, floral, torrado, frutal, nozes, amanteigado, caramelo, herbáceo, terra, suor, café torrado, pão, sulfuroso, químico, fumaça, vinagre e fenólico entre outros (DE MARIA et al., 1999; MOREIRA et al., 2000).

Devido ao fato da análise sensorial do café ser uma classificação subjetiva, várias pesquisas vêm sendo realizadas a fim de correlacionar características físico-químicas com o propósito de auxiliar os provadores na análise sensorial (LEHOTAY e HAJŠLOVA, 2002; DIMINSKI et al.,2005).

2.5 - Aspectos químicos e físico-químicos do café

O sabor característico da bebida do café se dá pela presença e pelos teores de vários compostos voláteis e não voláteis, destacando-se entre eles os aldeídos, ácidos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, compostos fenólicos e ácidos graxos; onde muitos desses são

formados durante o processo de torração (VILAS BOAS et al, 2001). Portanto a torração e o preparo da bebida modificam as composições químicas dos grãos. No entanto, essas alterações dependem da constituição original dos mesmos (LOPES, 2000).

Segundo Navellier (1961), a composição química do café verde apresenta: glucídeos (58%), lignina (2%), lipídeos (13%), proteínas (13%), cinzas (4%), ácidos não-voláteis (8%), trigonelina (1%), cafeína (1%). Sendo essa composição química determinada por fatores genéticos, ambientais e culturais, afetando diretamente na qualidade do café, assim como os métodos de colheita, processamento e armazenamento.

Vários estudos vêm sendo realizados para características químicas entre cultivares de *C. arabica* e tem sido verificada diferenças para os teores de sacarose, polifenóis, proteínas, ácido clorogênico, lixiviação de potássio, trigonelina e cafeína (AGUIAR et al., 2001; PEREIRA, 2008). Lopes (2000) avaliou alguns constituintes químicos dos grãos crus de uma mistura de grãos de oito cultivares de *C. arabica*. Observou que havia variações significativas entre os teores de sólidos solúveis, açúcares, extrato etéreo e proteína bruta. Ele ressalta ainda a importância em se verificar esses constituintes, uma vez que os mesmos estão correlacionados com a qualidade da bebida do café por serem os precursores das substâncias responsáveis pelo aroma e sabor da bebida.

2.6 - Índice de seleção

O objetivo dos programas de melhoramento é a obtenção de cultivares que superam as pré-existentes em vários caracteres. Por esse motivo a seleção simultânea para vários caracteres é uma das melhores opções para que haja aumento da eficiência destes programas de melhoramento (Ramalho et al., 2012). A relação entre os caracteres impacta na escolha da estratégia de seleção. Caso os caracteres considerados no melhoramento fossem correlacionados apenas em sentido favorável ou possuíssem distribuição independentes, a seleção simultânea de caracteres não seria mais difícil do que selecionar para cada característica individualmente. Contudo, correlações de elevadas magnitudes e em sentido desfavoráveis entre caracteres são muito comuns, tornando o melhoramento genético um trabalho mais desafiador e sendo necessário o emprego de procedimentos genético-estatísticos que permitam minimizar ou, mesmo, tornar inócuos os efeitos indesejáveis da resposta correlacionada. (YAN e REID, 1995).

Alternativas de seleção de múltiplos-caracteres podem ser agrupadas em três metodologias: (a) método de tandem, (b) método dos níveis independentes de eliminação, (c)

índice de seleção. Esse último tornou-se uma importante ferramenta no melhoramento de plantas e tem sido amplamente usada nos programas de melhoramento para a seleção de genótipos superiores (PIRES et al., 2011).

Existem diversos índices de seleção citados na literatura que são usados no melhoramento vegetal, dentre os quais vale destacar: Smith (1936) e Hazel (1943) e o de Mulamba & Mock (1978), contudo uma nova opção de índice de seleção proposta por Rocha et al. (2018), é o FAI- BLUP (análise de fatores e design de ideótipos) no qual permite o ranqueamento dos genótipos baseado em multi-características sem problemas de multicolinearidade. Os autores compararam o FAI-BLUP com o índice de seleção de Smith-Hazel na seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*). Eles observaram que o ganho dos caracteres em que se desejava aumentar o valor foi de 62% e de 33% para os caracteres em que era desejado diminuir o valor, quando se utilizou o FAI-BLUP, enquanto com do Índice de Smith-Hazel obteve um ganho de 66% em todos os caracteres que era desejado que o valor aumentasse e -32% para os caracteres que era desejável que diminuísse seu valor. Deste modo, concluíram que o índice de FAI-BLUP é recomendado para a seleção de multi-caracteres simultaneamente, como por exemplo, características em que seu valor deve tanto diminuir como características em que seu valor deve aumentar.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Material genético e detalhes experimentais.

Na condução do experimento foram utilizados vinte genótipos de cafeeiro (Quadro 1), Dentre os quais, dezessete pertencem ao grupo da cultivar Bourbon e três genótipos amplamente cultivados no estado de Minas Gerais (MG), Mundo Novo IAC 502/9, Catuaí Vermelho IAC 144, Icatú Amarelo IAC 3282, como testemunhas. Os experimentos foram implantados nas duas principais regiões cafeeiras do estado de MG, Sul de Minas e Alto Paranaíba (Figura 1 e Tabela 1).

Os experimentos foram instalados em blocos completos casualizados com três repetições e dez plantas por parcela, em dezembro de 2005, no espaçamento de 3,5m x 0,8m. Estes experimentos foram conduzidos durante os anos agrícolas 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010. A implantação e a condução foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro e a adubação foi realizada conforme a 5ª Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999).

Quadro 1. Relação dos genótipos de Bourbon e das cultivares comerciais de cafeeiro avaliadas nos experimentos.

Nº de ordem	Genótipo
01	Bourbon Amarelo LCJ 10 (Fazenda experimental da Epamig/Machado-MG)
02	Bourbon Amarelo FPRO
03	Bourbon Amarelo FBJ
04	Bourbon Amarelo FB
05	Bourbon Amarelo FBV
06	Bourbon Amarelo LCJ (Instituto Agronômico de Campinas-SP)
07	Bourbon Amarelo FT
08	Bourbon Amarelo FSP
09	Bourbon Amarelo FC
10	Bourbon Amarelo FN
11	Bourbon Amarelo FP
12	Bourbon Amarelo FS
13	Bourbon Vermelho FPRO
14	Bourbon Vermelho FSJB
15	Bourbon Amarelo IFMA 01
16	Bourbon Amarelo TFMA 02
17	Bourbon Amarelo LFMA 03
18	Mundo Novo IAC 502/9
19	Catuaí Vermelho IAC 144
20	Icatú Amarelo IAC 3282

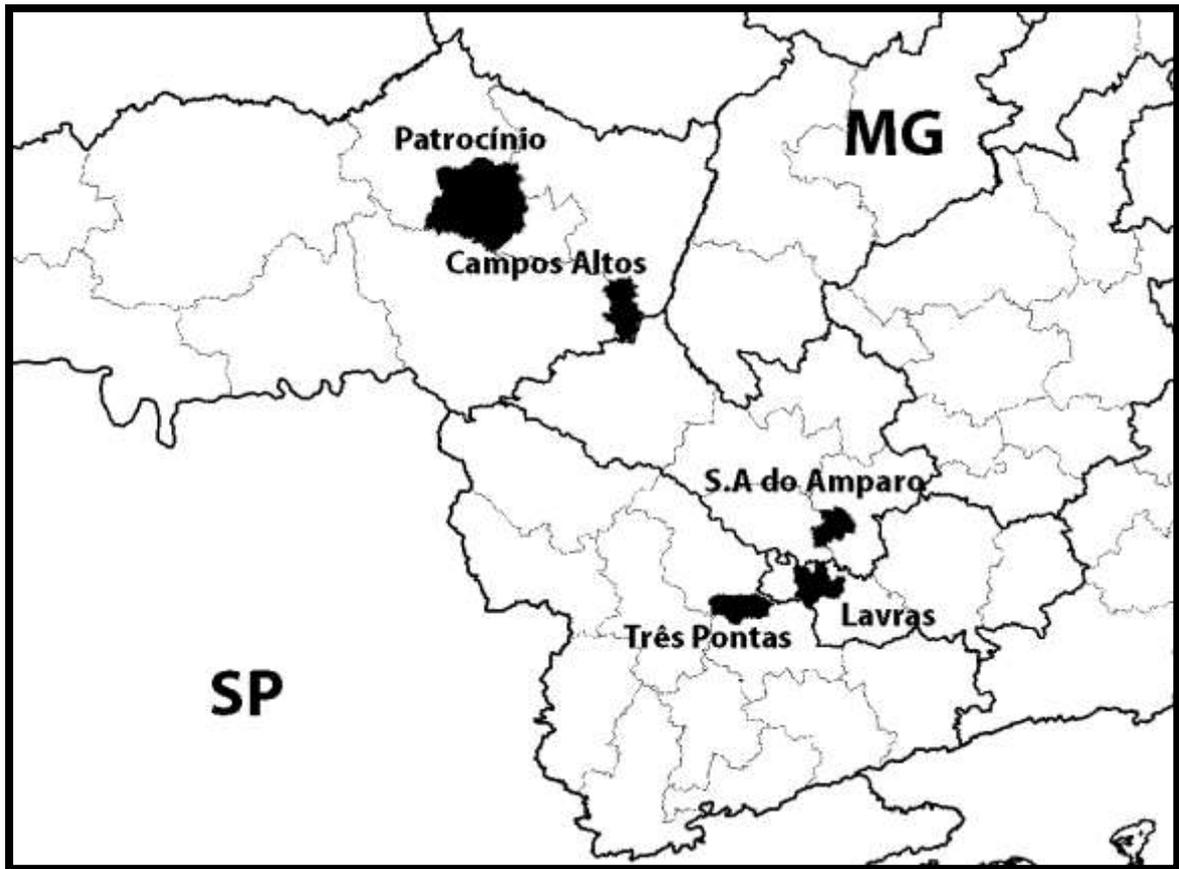


Figura 1. Municípios do estado de Minas Gerais onde os experimentos foram avaliados.

Tabela 1. Região geográfica, variáveis climáticas e caracterização dos locais de instalação dos experimentos.

Municípios	CA	SAA	PTC	LAV	TP
Região	Alto Paranaíba	Sul de Minas	Alto Paranaíba	Sul de Minas	Sul de Minas
Altitude	1.230 m	1.050 m	966 m	950 m	905 m
Temperatura média	17,6°C	19,8°C	22°C	19,3°C	18°C
Precipitação média anual	1.830 mm	1.670 mm	1.620 mm	1.529 mm	1.545 mm
Latitude/ Longitude	19°41'46"S 46°59'33"N	20°56'47"S 44°55'08"O	18°56'38"S 46°59'33"N	21°14'43"S 44°59'59"O	21°20'50"S 45°28'23"O
Região cafeeira	Cerrado de Minas	Sul de Minas	Cerrado de Minas	Sul de Minas	Sul de Minas

CA=Campos Altos, SAA=Santo Antônio do Amparo, PTC=Patrocínio, LAV=Lavras, TP=Três Pontas.

3.2 - Colheita e avaliações de campo

A colheita foi manual, tendo início quando a maioria dos frutos de cada parcela atingiu o estágio de maturação cereja.

3.2.1 - Características agronômicas

3.2.1.1 - Produtividade de café beneficiado

Foi avaliada a produção de frutos, em quilogramas de café por parcela, considerando todos os estádios de maturação: verde, verde cana, cereja, passa e seco. As colheitas foram realizadas entre os meses de maio a julho de cada ano. Posteriormente, foi realizada a conversão para sacas de 60 kg de café beneficiado/ha⁻¹ por meio do rendimento de uma amostra de 3 kg do café, coletada por amostragem nas parcela.

3.2.1.2 – Uniformidade de maturação

A uniformidade de maturação foi avaliada pela porcentagem de frutos cereja, em que foram amostrados frutos das oito plantas centrais de cada parcela (um litro por parcela), em ramos plagiotrópicos localizados nos quatro quadrantes, procurando-se realizar esta avaliação quando a maioria dos frutos da parcela se encontrava neste estágio.

3.2.1.3 - Porcentagem de frutos chochos

Frutos chochos são aqueles em não há o desenvolvimento regular da semente. Para a avaliação foi utilizada a metodologia proposta por Antunes e Carvalho (1957), em que se colocam 100 frutos cereja em água, sendo considerados chochos aqueles que permanecerem na superfície

3.2.1.4 - Vigor vegetativo

O vigor vegetativo dos genótipos em cada parcela do experimento foi avaliado pelo índice de avaliação visual (FAZUOLI, 1991), segundo uma escala de 1 a 10, sendo: 1 = planta amarela com abundante seca de ramos e 10 = planta verde-escura com abundante ramificação e elevada carga pendente.

3.2.1.5 - Porcentagem de grãos chatos e de grãos com peneira 16 acima

Esta análise foi realizada na Epamig, segundo a Instrução Normativa nº 08 (BRASIL, 2003). A classificação por peneira foi feita após o beneficiamento, passando-se uma amostra de 300 g em peneira com crivo oblongo de $11 \times \frac{3}{4}$ de polegada para a retirada dos grãos moca e, posteriormente, a amostra foi passada em um conjunto de peneiras (12/64 a 19/64). O material retido em cada peneira foi pesado determinando-se a porcentagem de cada peneira, sendo esta característica expressa pela porcentagem de grãos chatos. Aqueles grãos que ficaram retidos nas peneiras 16/64, 17/64, 18/64 e 19/64 são denominados de grãos peneira 16 acima.

3.2.2 - Preparo e processamento das amostras

Logo após a colheita de cada ano, foi coletada uma amostra representativa das três repetições para cada tratamento, realizou-se então a separação dos frutos cerejas aos frutos de estádio bóia utilizando-se uma caixa d'água adaptada com um peneirão confeccionado com tela de arame com malha de 3,00 x 3,00 mm, sendo que após a separação de cada amostra foi realizada a limpeza dos instrumentos, evitando a contaminação dos diferentes materiais. Após a separação hidráulica, as amostras foram descascadas em descascador de café, separando, algum fruto verde que eventualmente tenha permanecido na amostra, obtendo, dessa forma, 7 litros de café cereja descascado. As amostras descascadas foram distribuídas uniformemente em peneiras (com moldura de madeira e tela com malha de 2,00 x 1,00 mm, fabricada em fios de polietileno) de 1 m², dispostas em terreiro pavimentado, onde foram secas até o café atingir cerca de 11% a 12% de umidade (b.u.). Após a secagem, as amostras foram beneficiadas e preparadas para a realização das análises químicas, físico-químicas e sensorial.

3.2.3 - Análises químicas e físico-químicas do café

As amostras, após serem beneficiadas, foram passadas em peneira com crivo oblongo de $10 \times \frac{3}{4}$ de polegada, para a retirada dos grãos moca e em peneira com crivo circular de 16/64 avos de polegada, para separar apenas os grãos chatos. Foram encaminhados para avaliação apenas os grãos retidos nesta peneira.

As análises de avaliação da composição físico-química e química foram realizadas no Laboratório de Qualidade do Café Dr. Alcides Carvalho, situado na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig) em Lavras, MG. Todos os resultados foram expressos em porcentagem de matéria seca. As amostras de grãos dos diferentes genótipos foram moídas, por cerca de 80 segundos, em moinho modelo TE 631/2, marca Tecnal, adicionando-se nitrogênio líquido para facilitar a moagem e evitar a oxidação das amostras.

Após a moagem das amostras, estas foram acondicionadas em embalagens de plástico e armazenadas em freezer, à temperatura de -18°C , até a realização das análises.

3.2.3.1 - Teor de água

O teor de água dos grãos foi determinado em estufa ventilada a $105^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas, segundo Brasil (1992).

3.2.3.2 - Condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi determinada segundo metodologia proposta por Loeffler, Terrony e Ecli (1988), com tempo de embebição das amostras de cinco horas.

3.2.3.3 - Lixiviação de íons potássio

A determinação da quantidade de potássio lixiviado foi realizada em fotômetro de chama após 5 horas de embebição dos grãos, segundo metodologia proposta por Prete (1992).

3.2.3.4 - Acidez total titulável

A acidez foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N, de acordo com técnica descrita pela Association of Official Analytical Chemistry – AOAC (1990) e expressa em ml de NaOH 0,1 N por 100 gramas de amostra. A partir do mesmo extrato, o pH foi medido utilizando-se peagâmetro.

3.2.3.5 - Açúcares redutores, não redutores e totais

Os açúcares foram extraídos pelo método de Lane-Enyon, citado pela AOAC (1990), e determinados pela técnica de Somogy, adaptada por Nelson (1944).

3.2.3.6 - Polifenóis

Os polifenóis foram extraídos a quente pelo método de Goldstein e Swain (1963), utilizando metanol 50% como extrator e identificados pelo método Folin Denis, descrito pela Association of Official Agricultural Chemists - AOAC (1990).

3.2.4 - Avaliação dos atributos sensoriais

A avaliação dos atributos sensoriais foi realizada por profissionais pertencentes à Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA). A metodologia utilizada na avaliação sensorial foi a mesma do Cup of Excellence (CoE), de 1997, na qual cada atributo (bebida limpa, doçura, acidez, corpo, sabor, sabor remanescente, balanço ou equilíbrio e nota geral) recebeu uma nota de 0 a 8, de acordo com a intensidade que apresentaram nas amostras, sendo, por isso, mais objetiva que a “prova de xícara” convencional. A somatória das notas correspondeu à classificação final da bebida. Cada amostra começou com uma pontuação pré-estabelecida de 36 pontos, à qual foram incorporadas as notas de cada atributo, sendo classificadas como café especial aquelas que apresentaram pontuação superior a 80 (BSCA, 2007)

3.5 - Análises estatísticas

Inicialmente realizou-se as análises individuais dos caracteres avaliados (no caso das variáveis químicas, físico-químicas e sensoriais os diferentes locais de avaliação foram considerados como repetição), o modelo estatístico utilizado foi:

$$y_{ij} = m + g_i + r_j + e_{ij}$$

em que:

y_{ij} : refere-se à observação obtida do genótipo i no bloco j ;

m : constante associada a todas as observações;

g_i : efeito aleatório do genótipo i ; sendo $i = 1, 2, 3, \dots, 20$, $g_i \sim N(0, \sigma_g^2)$;
 r_j : efeito fixo da repetição j , sendo $j = 1, \dots, n$;
 e_{ijk} : erro experimental associado à observação y_{ij} , sendo $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$

Posteriormente realizou-se as análises conjunta de anos para os caracteres químicos, físico-químicos e sensoriais, segundo o modelo estatístico:

$$y_{ijk} = m + g_i + r_j + a_k + ga_{ik} + ar_{kj} + gr_{ij} + e_{ijk}$$

em que:

y_{ijk} : refere-se à observação obtida do genótipo i , no ano k , dentro da repetição j ;
 m : média geral do experimento;
 g_i : efeito aleatório do genótipo i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, 20$, $g_i \sim N(0, \sigma_g^2)$;
 r_j : efeito fixo da repetição j (considerada como repetições os diferentes locais), sendo $j = 1, 2, 3, 4, 5$;
 a_k : efeito fixo do ano k , sendo $k = 1, 2, 3$;
 ga_{ik} : efeito da interação do genótipo i e o ano k ;
 ar_{kj} : efeito da interação entre o ano k e a repetição j ;
 gr_{ij} : efeito da interação entre o genótipo i e a repetição j ;
 e_{ijk} : erro médio associado à observação y_{ijk} , sendo $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$

Para a análise conjunta de anos e locais, dos caracteres agronômicos, o modelo estatístico utilizado foi:

$$y_{ijkw} = m + g_i + a_j + l_k + bl_{w(k)} + al_{jk} + ga_{ij} + gl_{ik} + alb_{w(jk)} + gal_{ijk} + glb_{i(wk)} + e_{ijkw}$$

em que:

y_{ijkw} : refere-se à observação obtida do genótipo i , no ano j , no local k , no bloco w ;
 m : constante associada a todas as observações;
 g_i : efeito aleatório do genótipo i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, 20$, $g_i \sim N(0, \sigma_g^2)$;
 a_j : efeito fixo do ano j , sendo $j = 1, 2, 3$;
 l_k : efeito fixo do local k , sendo $k = 1, 2, 3, 4, 5$;
 $bl_{w(k)}$: efeito do bloco w dentro do local k ;
 al_{jk} : efeito da interação ano j e o local k ;
 ga_{ij} : efeito da interação entre o genótipo i e o ano j ;

gl_{ik} : efeito da interação entre o genótipo i e o local k ;

$alb_{w(jk)}$: efeito da interação entre o bloco w dentro do local k no ano j ;

gal_{ijk} : efeito da interação genótipo i no ano j no local k ;

$glb_{i(wk)}$: efeito da interação entre o genótipo i dentro do bloco w no local k ;

e_{ijk} : erro experimental associado à observação y_{ijkw} , sendo $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$.

Para testar a significância associada aos efeitos aleatórios foi utilizado o teste de razão de verossimilhança (LRT).

Na computação dos E-BLUP (Empirical Best Linear Unbiased Prediction) dos valores genotípicos a matriz de variância e covariância residual foi modelada. Foram utilizadas diferentes tipos de estruturas: Simetria composta (CS), simetria composta heterogênea (CSH), Autoregressiva de primeira ordem (AR(1)), Autorregressiva de primeira ordem heterogênea (ARH(1)), Ante dependência (ANTE), diagonal (DIAG), Não estruturada (UN) e Correlação uniforme (CORV). As matrizes que apresentaram problemas de convergência foram desconsideradas.

CS

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 & \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma^2 & \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma^2 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma^2 \end{bmatrix}$$

CSH

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \rho\sigma_1\sigma_2 & \rho\sigma_1\sigma_3 & \rho\sigma_1\sigma_4 \\ \rho\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 & \rho\sigma_2\sigma_3 & \rho\sigma_2\sigma_4 \\ \rho\sigma_1\sigma_3 & \rho\sigma_2\sigma_3 & \sigma_3^2 & \rho\sigma_3\sigma_4 \\ \rho\sigma_1\sigma_4 & \rho\sigma_2\sigma_4 & \rho\sigma_3\sigma_4 & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

AR1

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \rho^3 \\ \rho & 1 & \rho & \rho^2 \\ \rho^2 & \rho & 1 & \rho \\ \rho^3 & \rho^2 & \rho & 1 \end{bmatrix}$$

AR1H

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho^2 & \sigma_1\sigma_4\rho^3 \\ \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_4\rho^2 \\ \sigma_1\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho \\ \sigma_1\sigma_4\rho^3 & \sigma_2\sigma_4\rho^2 & \sigma_3\sigma_4\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

ANTE

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho_1 & \sigma_1\sigma_3\rho_1\rho_2 & \sigma_1\sigma_4\rho_1\rho_2\rho_3 \\ \sigma_1\sigma_2\rho_1 & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho_2 & \sigma_2\sigma_4\rho_2\rho_3 \\ \sigma_1\sigma_3\rho_1\rho_2 & \sigma_2\sigma_3\rho_2 & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho_3 \\ \sigma_1\sigma_4\rho_1\rho_2\rho_3 & \sigma_2\sigma_4\rho_2\rho_3 & \sigma_3\sigma_4\rho_3 & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

DIAG

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{ccc}
 & \text{UN} & \\
 & \begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \sigma_{12}^2 & \sigma_{13}^2 & \sigma_{14}^2 \\ \sigma_{12}^2 & \sigma_{22}^2 & \sigma_{23}^2 & \sigma_{24}^2 \\ \sigma_{13}^2 & \sigma_{23}^2 & \sigma_{33}^2 & \sigma_{34}^2 \\ \sigma_{14}^2 & \sigma_{24}^2 & \sigma_{34}^2 & \sigma_{44}^2 \end{bmatrix} & \\
 & & \text{CORV} & \\
 & & \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho & \rho \\ \rho & 1 & \rho & \rho \\ \rho & \rho & 1 & \rho \\ \rho & \rho & \rho & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_2^2 & \sigma_2^2 & \sigma_2^2 \\ \sigma_2^2 & \sigma_1^2 & \sigma_2^2 & \sigma_2^2 \\ \sigma_2^2 & \sigma_2^2 & \sigma_1^2 & \sigma_2^2 \\ \sigma_2^2 & \sigma_2^2 & \sigma_2^2 & \sigma_1^2 \end{bmatrix} &
 \end{array}$$

Detalhes adicionais das estruturas podem ser obtidos em Barbosa (2009). Para avaliar a qualidade de ajustamento dos modelos, foi utilizado o critério de Schwarz (BIC) que é definido como:

$$\text{BIC} = -2 \log f(x_n | \theta) + p \log n,$$

em que:

$f(x_n | \theta)$: modelo escolhido,

p : número de parâmetros a serem estimados,

n : número de observações.

É considerado o melhor modelo aquele que possui a menor estimativa de BIC. A seleção adequada desta matriz garante a escolha de um modelo mais representativo dos dados.

Todas as análises foram realizadas utilizando o pacote Asreml em ambiente R (R CORE TEAM, 2017; BUTLER et al., 2007).

3.6 - Correlação de Pearson

Com objetivo de se conhecer o grau de associação entre os caracteres avaliados, estimaram-se as correlações de Pearson. As correlações foram estimadas a partir dos dados fenotípicos e genotípicos via BLUP's. Esse coeficiente varia entre -1 e 1, em que quanto mais próximo de um, maior será o grau de associação entre os diferentes caracteres. Para verificar a significância foi realizado o teste de bootstrap com 5000 iterações sendo considerado significativo, a correlação que o intervalo não abrangesse o valor zero.

3.7 - Índice de seleção

3.7.1 - FAI-BLUP

O índice de seleção FAI-BLUP, proposto por Rocha et al. (2018), une técnicas de análise de fatores com a proposição de ideótipos. O primeiro passo é definir o número de ideótipos com o seguinte algoritmo:

$$NI = 2^n$$

em que:

NI : número de ideótipos;

n : número de fatores.

O número de fatores é definido com base na combinação de fatores desejáveis e indesejáveis para o objetivo da seleção que deve ser igual ao número de autovalores (variância dos componentes principais) maiores ou igual a um.

Após os ideótipos serem determinados foi estimada a distância de cada genótipo de acordo com os seu ideótipo (genótipo – ideótipo) convertendo os valores em uma probabilidade espacial com o seguinte algoritmo:

$$P_{ij} = \frac{\frac{1}{d_{ij}}}{\sum_{i=1; j=1}^{i=n; j=m} \frac{1}{d_{ij}}}$$

em que:

P_{ij} : probabilidade do genótipo i ($i= 1, 2, \dots, n$) ser similar ao ideótipo j ($j= 1, 2, \dots, m$);

d_{ij} : distância genótipo – ideótipo, do genótipo i ao ideótipo j baseado na distância euclidiana padronizada.

3.7.2 - Smith-Hazel

Consiste numa combinação linear de vários caracteres de importância econômica e os coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Este é estabelecido por uma outra combinação linear, envolvendo os valores genéticos, os quais são ponderados por seus respectivos valores econômicos.

Sejam o índice de seleção (I) e o agregado genotípico (H) descritos como a seguir:

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n = \sum_{i=1}^n b_ix_i = b'x$$

$$H = a_1g_1 + a_2g_2 + \dots + a_ng_n = \sum_{i=1}^n a_ig_i = a'g$$

em que:

n: número de caracteres avaliados;

p: número de famílias ou progênies avaliadas;

b' : vetor de dimensão 1 x n dos coeficientes de ponderação do índice de seleção a ser estimado;

x: matriz de dimensão n x p de valores fenotípicos dos caracteres;

a' : vetor de dimensão 1 x n de pesos econômicos previamente estabelecidos e

g: matriz de dimensão n x p de valores genéticos desconhecidos dos n caracteres considerados.

Para a estimação do índice é necessário a estimação do vetor b, o qual é obtido de forma a maximizar a correlação entre I e H. Assim, tem-se:

$$b = P^{-1}Ga$$

em que

b = estimador do vetor n x 1 dos coeficientes de ponderação do índice de seleção;

P^{-1} = inversa da matriz, de dimensão n x n, de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os caracteres.

G = matriz, de dimensão n x n, de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres.

3.9 - Ganho de Seleção

Com base nos quatro genótipos selecionados pelos índices de seleção foram preditos os ganhos em porcentagem (GS%) para cada caráter para cada índice, conforme a seguinte equação:

$$GS(\%) = \frac{\bar{X}_m - \bar{X}_0}{\bar{X}_0} * 100$$

em que:

\bar{X}_m é a média aritmética da característica dos genótipos selecionados;

\bar{X}_0 é a média aritmética da característica para todos os genótipos.

A equação descrita foi também utilizada para o cálculo do ganho direto com a seleção.

Foi verificada a eficiência de cada índice por meio da proporção do ganho total, que é calculada pela proporção do ganho via índice de seleção sobre o ganho direto.

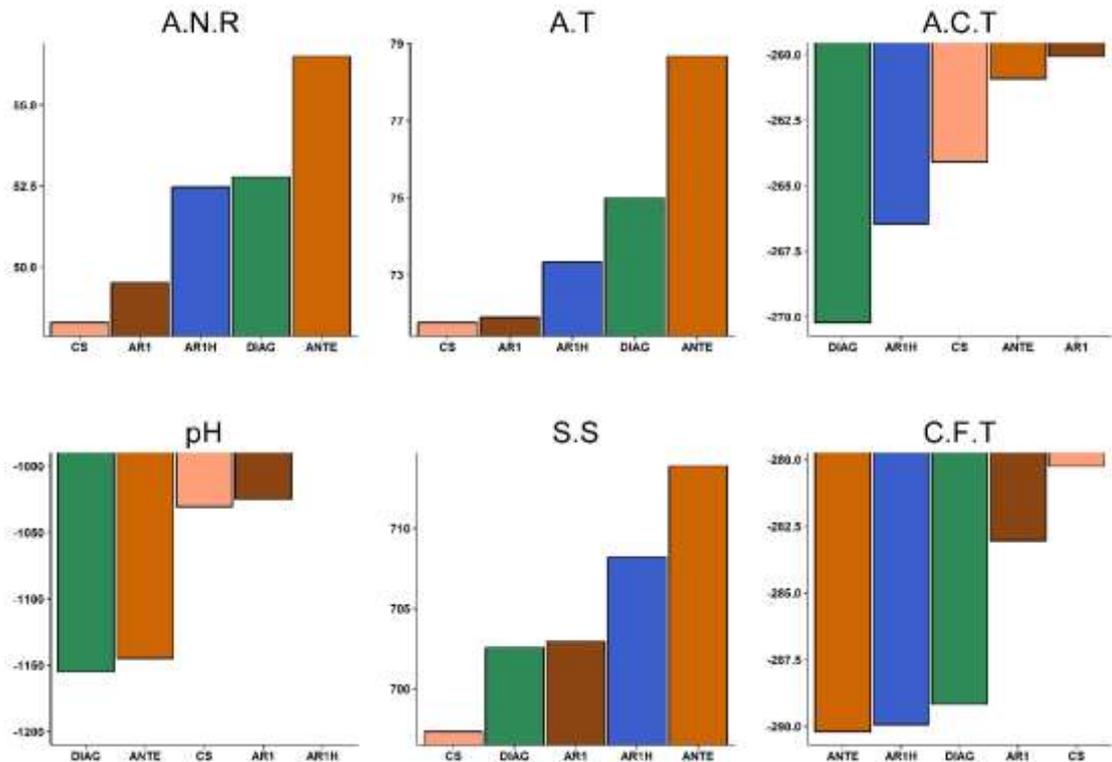
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.

4.1 – Ajustes dos modelos

Testou-se alguns modelos para o ajuste das matrizes de variância e covariância associada ao erro (R) para análise conjunta. A escolha do melhor modelo foi baseada no critério de Schwarz (BIC), em que a menor estimativa de BIC nos informa qual o modelo que melhor representa os dados.

Ao se comparar as melhores matrizes dos caracteres agronômicos (Figura 2) em relação aos caracteres físicos, físico-químico e sensorial, percebe uma superioridade na modelagem da matriz residual, uma vez que a matriz simetria composta (CS) não foi a melhor matriz para nenhum dos caracteres agronômicos analisados. Pereira et al. (2018) e Andrade et al. (2016), também verificaram uma superioridade na modelagem da matriz residual para a característica de produtividade. Portanto, a pressuposição de que os dados possuem matriz simetria composta, ou seja, a suposição que existe homogeneidade de variância e covariância, pode não ser a melhor forma de representar os dados.

Para os caracteres físico, físico-químico e sensorial, a matriz simetria composta (CS) foi a mais adequada para os caracteres: Bebida, C.E, A.R, A.N.R, A.T e S.S (Figura 2), tais fatos podem ser atribuídos a maior precisão experimental que se tem na obtenção desses dados, que são realizados em laboratórios, resultando muitas vezes em homogeneidade de variâncias.



Nota: Estimativas BIC no eixo y e matrizes no eixo x.

Produtividade: produtividade de grãos, Maturação: uniformidade de maturação, Peneira: porcentagem de grão peneira 16 acima, Vigor: vigor vegetativo, Grão Chato: porcentagem de grãos chatos, Chocho: porcentagem de frutos chochos, Bebida: Nota final de bebida, L.K: lixiviação de potássio, C.E: condutividade elétrica, A.T.T: ácidos totais tituláveis, A.R: açúcares redutores, A.N.R: açúcares não redutores, A.T: açúcares totais, A.C.T: ácidos clorogênicos totais, pH: potencial hidrogeniônico, S.S: sólidos solúveis, C.F.T: compostos fenólicos totais.

Observa-se que pelo BIC a matriz autorregressiva de primeira ordem (AR1) em que se considera homogeneidade de variâncias, e que as covariâncias entre as observações mais distantes no tempo e espaço são menores, foi a melhor para os caracteres: Grão Chato, Chocho e L.K.

Para os caracteres, Maturação, Peneira, A.T.T, umidade, A.C.T e pH a matriz diagonal (DIAG) foi a mais adequada, ela considera heterogeneidade de variância e a não existência de covariância entre as observações.

A característica produtividade de grãos (Produtividade), obteve um resultado diferente dos outros caracteres analisados, sendo a melhor matriz a estrutura simetria composta heterogênea (CSH) que possui heterogeneidade de variância e covariância, possuindo com isso um maior número de parâmetros em comparação com a AR1, CS e a DIAG que foram as melhores matrizes para a maioria dos caracteres analisados. Isso se deve ao fato que a produtividade possui bienalidade e uma alta interação genótipos por ambientes, resultando em

variâncias entre anos e ambientes muito heterogêneas, necessitando por muitas vezes matrizes em que considera variância e covariância heterogênea. Andrade et.al. (2016) em trabalho com modelagem estatística na produtividade de grãos, verificou que esta estrutura também foi a melhor para os dados dele, contudo cita que as adequações das diferentes matrizes variam conforme os dados analisados, e sempre há necessidade de verificar qual matriz melhor representa os dados.

Verificou-se que a matriz não estruturada (UN) alcançou maiores valores de BIC para os caracteres agrônômicos, com exceção de produtividade de grãos (Produtividade) e vigor vegetativo (Vigor), no qual não houve a convergência para essa matriz. Essa matriz permite que as variâncias e covariâncias assumam quaisquer valores sendo, portanto, uma matriz muito parametrizada, e a estimativa BIC penaliza mais os modelos com grande número de parâmetros. Ressalta-se também que para os caracteres físicos, físico-químicos e sensorial, as matrizes, CSH, UN e correlação uniforme (CORV) tiveram problemas de singularidade que ocorreram na estimação dessas matrizes, isto é a matriz não tem posto completo e existe infinitas soluções para a equação, portanto elas foram desconsideradas.

Não houve a convergência de algumas estruturas de matrizes, são elas: UN e a Ante dependência (ANTE) para Vigor, CSH para A.R e autorregressiva de primeira ordem heterogênea (AR1H) para pH.

4.2 - Correlações dos caracteres físico, físico-químicos e sensorial

As correlações fenotípicas e genotípicas entre os caracteres físicos, físico-químicos e sensorial encontram-se na Figura 3. A relação entre correlações fenotípicas e genotípicas foi baixa, verificando-se em sua maioria correlações fenotípicas de magnitude superior as correlações genotípicas, havendo para alguns pares de caracteres uma inversão nos valores, quando consideramos uma ou outra correlação,

Diversos trabalhos na literatura vêm tentando correlacionar a qualidade final da bebida do café com a composição química e físico-química do grão verde, relatando que cafés de melhor qualidade apresentam maiores teores de açúcares e proteínas, menores de acidez total titulável (ATT), compostos fenólicos totais (CFT), entre outros componentes. Contudo os resultados não são conclusivos (PINTO et al., 2001).

Observa-se que a característica compostos fenólicos totais (CFT) apresentou correlação fenotípica e genotípica alta e significativa com ácidos clorogênicos totais (ACT) 0,85 e 0,94, segundo Souza et al. (2007), o motivo para essa alta correlação é que os ácidos clorogênicos são um dos principais componentes da fração fenólica. A característica qualidade de bebida (BEB) apresentou correlações fenotípicas com CFT e ACT de 0,37 e 0,39 e correlações genotípicas de 0,06 e 0,15 respectivamente. Resultados esses que não estão de acordo com Abrahão (2010) e Pinto et al. (2001), eles relatam que uma alta concentração de compostos fenólicos resulta em cafés de baixa qualidade. A não coincidência entre os resultados pode ser devido ao tipo de experimento realizado por esses autores, no qual verificou as diferenças na composição dos compostos com os diferentes tipos de torra e bebida, já no presente trabalho as diferenças são devido aos diferentes genótipos avaliados.

Os açúcares totais (AT) são constituídos pela soma dos açúcares redutores (AR) como frutose e glicose e os açúcares não redutores (ANR) representado principalmente pela sacarose. Para as correlações fenotípicas e genotípicas constatou-se correlação alta e significativa de 0,88 e 0,95 entre AT e ANR respectivamente. Para AT com AR tem-se uma correlação fenotípica (0,26) e genotípica (-0,15) ambas de baixa magnitude e significativas, já AR e ANR tivemos uma correlação fenotípica de 0,19 e genotípica de -0,25. Esses resultados indicam que o aumento de sacarose nos grãos, leva a concentrações superiores de açúcares totais nos grãos, e que não existe uma correlação genética entre os açúcares redutores e açúcares não redutores.

As correlações fenotípicas entre Bebida e AT, ANR e AR, foram todas significativas e positivas, contudo não tivemos correlações genotípicas significativas entre esses caracteres. Segundo Silva (2004) os açúcares são os componentes que mais contribuem para qualidade de bebida pois contribuem para formação do aroma e do sabor adocicado do café.

Figura 3. Correlações de Pearson dos valores fenotípicos e genotípicos para os caracteres químicos, físico-químicos e sensorial

		Genotípica									
BEB	0	-0,05	0,03	0,05	0	0,15	0,06	0,12	-0,06	0,06	-0,03
0,26*	AT	-0,15	0,94*	0,17*	0,04	0,02	0,14	0,02	-0,25*	0,09	0
0,17*	0,26*	AR	-0,25*	0,05	0,14	0,11	0,2*	0,14*	-0,07	0,03	-0,11*
0,25*	0,85*	0,19*	ANR	0,16*	0,03	-0,05	0,12	-0,01	-0,26*	0,07	0,05
-0,04	-0,23*	-0,06	-0,24*	ATT	0,07	0	0,29*	0,2*	-0,23*	0,21*	0
-0,3*	-0,17*	-0,15*	-0,18*	0,06	pH	0	0,01	-0,01	0,17	0,01	0
0,4*	0,28*	0,13*	0,22*	0,02	-0,21*	ACT	0,01	0,02	-0,02	0,24*	-0,07
0,05	-0,15*	0,04	-0,19*	0,43*	0,06	0,24* <th>LK</th> <td>0,43*</td> <td>-0,31*</td> <td>0,33*</td> <td>0</td>	LK	0,43*	-0,31*	0,33*	0
-0,09	-0,18*	-0,1*	-0,17*	0,45*	0,18	0,17*	0,5* <th>CE</th> <td>-0,15*</td> <td>0,23*</td> <td>0</td>	CE	-0,15*	0,23*	0
-0,04	-0,01	0,01	-0,03	-0,33*	0,11	-0,24*	-0,22*	-0,18*	SS	-0,33*	-0,04
0,35*	0,24*	0,06	0,19*	-0,01	-0,25*	0,8*	0,2*	0,25*	-0,29*	CFT	0,23*
-0,3*	-0,18*	-0,16*	-0,17*	0,17*	0,14*	-0,4*	-0,21*	-0,16*	-0,12*	-0,44*	UMI
		Fenotípica									

* Significativo pelo teste de Bootstrap baseado em 5000 iterações.

BEB: qualidade de bebida; AT: açúcares totais, AR: açúcares redutores ANR: açúcares não redutores ATT: ácidos totais tituláveis pH: potencial hidrogeniônico, ACT: ácidos clorogênicos totais LK: lixiviação de potássio; CE: condutividade elétrica; SS: sólidos solúveis, CFT: compostos fenólicos totais, UMI: umidade.

A umidade, apresentou correlação fenotípica significativa e negativa com todos os caracteres analisados com exceção de pH e ATT no qual foi positiva, contudo as únicas correlações genotípicas no qual observamos significância foram com CFT e AR. A umidade do grão verde pode interferir na quantidade dos componentes físico, físico-químicos e na qualidade sensorial da bebida. Essa relação pode ser devido a maiores teores de água, favorecerem um maior desenvolvimento de microorganismos, levando a uma perda da qualidade da bebida e nos compostos químicos e físico-químicos, sendo essa relação uma causa não genética (CORTEZ, 1994).

Para pH observou-se correlação fenotípica negativa e significativa para BEB, AT, AR, ANR, ACT e CFT, na correlação genotípica não foram observadas significâncias. Segundo

Rogers et al. (1999) o pH das bebidas de café arábica normalmente são mais baixos do que as de café conilon, o que pode estar relacionado a um melhor padrão de qualidade das bebidas de café arábica, devido à presença de acidez desejável nestas amostras

Não foram observadas correlações genotípicas e fenotípicas significativas para os caracteres LK, CE e ATT com qualidade de bebida. Contudo segundo Prete (1992) existe uma relação inversa entre qualidade de bebida com CE e LK, sendo que ambas são usadas no processo de verificação da integridade das membranas celulares. O trabalho corrobora com esta informação uma vez que a correlação fenotípica e genotípica entre LK e CE foi positiva e significativa, entretanto, a relação inversa desses caracteres com a Bebida não foi observada.

4.3 - Correlações dos caracteres agronômicos

As correlações fenotípicas e genotípicas dos caracteres agronômicos encontram-se na figura 4. De modo geral, verificou-se baixas correlações fenotípicas e genotípicas, encontrando uma maior magnitude nos valores das correlações fenotípicas. A maior correlação observada foi de 0,67 e a menor -0,42, sendo que 80% dos valores permaneceram entre -0,2 e 0,2.

A maior correlação genotípica e fenotípica observada ocorreu entre porcentagem de grãos chatos (Grão Chato) com porcentagem de grãos peneira 16 acima (Peneira) 0,67 e 0,41 respectivamente, resultado esse esperado, pois quanto maior porcentagem de grãos peneira 16 acima (Peneira) maior a porcentagem de grãos chatos (Grão Chato), e conseqüentemente menor as de grão moca. Entre Grão Chato e produtividade de grãos (Prod) houve correlação fenotípica de 0,39 e genotípica de -0,03, o que indica que a diminuição na porcentagem de grãos moca, nos levam a maiores produtividades de grãos, e que não existe uma relação genética entre esses caracteres. Alguns autores relatam que um aumento da porcentagem de grãos moca podem ser devido a fatores climáticos e de nutrição podendo esses fatores também influenciar a produtividade de grãos, isto porque o grão moca pesa em média 9% menos que o grão chato (MATIELLO et al., 2002). Isto pode ser comprovado pelos resultados encontrados neste trabalho.

Figura 4. Correlações de Pearson dos valores fenotípicos e genotípicos para os caracteres agrônômicos.

		Genotípica				
Prod	0.12*	-0.09	0.09	-0.03	-0.01	
-0.29*	Maturação	-0.08	0.13*	0.02	0.04	
-0.08*	0.12*	Chocho	-0.05	-0.09	-0.04	
-0.09	0.05	0.07	Vigor	-0.08*	-0.08	
0.39*	-0.42*	-0.18*	-0.16*	Grão Chato	0.67*	
0.13*	0.26*	0.12*	-0.08*	0.41*	Peneira	
		Fenotípica				

* Significativo pelo teste de Bootstrap baseado em 5000 iterações.

Prod: produtividade de grãos, Maturação: uniformidade de maturação, Chocho: porcentagem de frutos chochos, Vigor: vigor vegetativo, Grão Chato: porcentagem de grãos chatos, Peneira: porcentagem de grão peneira 16 acima.

O vigor vegetativo (Vigor) e porcentagem de frutos chochos (Chocho) obteve baixas correlações genotípica e fenotípicas com todos os outros caracteres analisados. Deste modo, pode-se inferir que esses caracteres não estão associados aos outros caracteres analisados neste experimento.

4.4 - Análises conjuntas dos caracteres agrônômicas

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas dos componentes de variâncias para os caracteres de Produtividade, Maturação, Peneira, Grão Chato, Vigor e Chocho.

Observa-se, que a fonte de variação genótipos para os caracteres Produtividade e Maturação, não foi significativa a 5% com base no teste de razão de verossimilhança (LRT). O que indica uma baixa variabilidade genética para esses caracteres, aspecto que pode ser devido à proximidade genética dos genótipos analisados.

Quanto aos caracteres Peneira, Grão Chato, Vigor e Chocho houve diferença significativa a 5% entre os genótipos. Evidenciando a possibilidade de ganhos genéticos na seleção dos genótipos, aspecto fundamental no melhoramento genético.

Não houve efeito significativo a 5% na interação genótipos x anos para os caracteres Produtividade, Maturação, Peneira, Vigor e Chocho, evidenciando um comportamento consistente dos genótipos nos diferentes anos. Já para o carácter Grão Chato houve diferença significativa da interação genótipos x anos mostrando que os genótipos se comportaram de forma não consistentes nos diferentes anos.

Para a interação genótipos x locais os únicos caracteres que apresentaram significância a 5% foram Maturação e Vigor, nesses caracteres os genótipos se comportaram de forma distinta nos diferentes locais. Aparecido et. al (2018) comentam que a maturação dos frutos está diretamente relacionada a condições ambientais, em regiões em que se tem altas temperaturas, uma maior evapotranspiração e altitudes moderadas os frutos do cafeeiro amadurecem mais depressa. Com relação ao vigor vegetativo das plantas fatores como incidência de fitopatógenos, precipitação, manejo da cultura, que por vezes são dependentes do local de cultivo podem influenciar neste carácter.

Tabela 2. Componentes de variância das análises conjuntas para os caracteres agrônômicos.

Características	Componentes de variância			
	Genótipos (G)	G x anos (A)	G x locais (L)	G x A x L
Produtividade	1,97	1,03	2,46	7,87*
Maturação	4,06	1,80	8,63*	10,49*
Peneira	10,93*	$1,13 \times 10^{-06}$	2,06	11,27*
Grão Chato	1,41*	0,89*	0,38	3,05*
Vigor	0,12*	$1,94 \times 10^{-03}$	0,14*	$4,09 \times 10^{-07}$
Chocho	1,28*	$6,87 \times 10^{-07}$	0,77	1,97*

*: significativo a 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

Produtividade: produtividade de grãos, Maturação: uniformidade de maturação, Peneira: porcentagem de grão peneira 16 acima, Grão Chato: porcentagem de grãos chatos, Vigor: vigor vegetativo, Chocho: porcentagem de frutos chochos.

O efeito da interação G x L x A foi significativo a 5% para todos os caracteres com exceção do vigor vegetativo. Segundo Araújo (2017) a interação tripla não é algo trivial a ser interpretado, pois ela pode nos informar que os genótipos se diferenciaram nos diferentes locais e anos ou os locais se diferenciaram para os diferentes anos e genótipos ou ainda que os anos

se diferenciaram diante dos diferentes locais e genótipos. Portanto, há necessidade de se aprofundar no estudo desse tipo de interação, para se ter um maior entendimento das variáveis envolvidas.

4.5 - Análises conjuntas dos caracteres físicos, físico-químicos e sensorial

Na Tabela 3 são apresentadas as estimativas dos componentes de variância para os caracteres Bebida, LK, CE, UMI, ATT, AR, ANR, AT, ACT, pH, SS e CFT.

Diante os resultados das análises observou-se diferença entre os genótipos a 5% de significância com base no teste de razão de máxima verossimilhança (LRT), apenas para os caracteres Bebida, LK CE. Portanto, pode-se selecionar genótipos que possua melhor qualidade de bebida e menor índice de lixiviação de potássio e condutividade elétrica, Segundo Prete (1992) estes caracteres indicam a integridade da membrana celular e menores índices levam a cafés com uma qualidade de bebida superior.

Para a maioria dos caracteres físico e físico-químicos não se observou interação significativa entre genótipos e anos, com exceção dos caracteres de Bebida e açúcares redutores. Mediante os resultados pode-se concluir que, para os caracteres analisados, os genótipos se comportaram de forma consistente nos diferentes anos.

Tabela 3. Componentes de variância das análises conjuntas para os caracteres físicos, físico-químicos e sensorial.

Caracteres	Componentes de variância	
	Genótipos	Genótipos x Anos
Bebida	3,23*	3,18*
LK	1,15*	$9,12 \times 10^{-08}$
CE	7,80*	$8,11 \times 10^{-06}$
Umi	$1,01 \times 10^{-07}$	$7,80 \times 10^{-03}$
ATT	3,14	$2,44 \times 10^{-06}$
AR	$6,22 \times 10^{-10}$	$3,45 \times 10^{-04}$ *
ANR	$2,30 \times 10^{-08}$	0,02
AT	$2,63 \times 10^{-08}$	0,01
ACT	$6,22 \times 10^{-10}$	$3,45 \times 10^{-04}$
pH	$6,40 \times 10^{-09}$	$5,01 \times 10^{-09}$
SS	$6,91 \times 10^{-07}$	$1,49 \times 10^{-01}$
CFT	$1,01 \times 10^{-07}$	$5,20 \times 10^{-07}$

*: significativo a 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT),

Bebida: qualidade de bebida, LK: lixiviação de potássio, CE: condutividade elétrica, Umi: umidade, ATT: ácidos totais tituláveis, AR: açúcares redutores, ANR: açúcares não redutores, AT: açúcares

totais, ACT: ácidos clorogênicos totais, pH: potencial hidrogeniônico, SS: sólidos solúveis, CFT: compostos fenólicos totais.

4.6 - Índice de seleção

Na estimação dos índices de seleção foram utilizados somente os caracteres em que houve diferença entre os tratamentos a 5% de significância segundo o teste de razão de verossimilhança (LRT), são eles: Chocho, Bebida, LK, CE, Peneira, Grão Chato e Vigor. Retirou-se as testemunhas a fim de selecionar os melhores genótipos do grupo Bourbon, e o índice de seleção FAI-BLUP foi comparado ao índice clássico de Smith-Hazel a fim de verificar a sua exata eficiência.

Na tabela 4, temos as estimativas dos autovalores e a variância acumulada dos sete componentes principais via FAI-BLUP. Os três primeiros componentes principais obtiveram autovalores superiores a 1, portanto de acordo com o critério de Kaiser (1958) os dados devem ser reduzidos a três fatores. Fatores são variáveis abstratas que são obtidas a partir da redução das variáveis originais. Em cada fator é contido um grupo de variáveis que tem alta correlação entre si e baixa correlação com as variáveis contidas nos outros fatores (CRUZ & CARNEIRO, 2003). A variância acumulada dos três primeiros componentes é de aproximadamente 74%, o que indica que esses componentes explicam 74% de toda variação existente.

Tabela 4. Estimativas dos autovalores e variância acumulada dos sete componentes principais.

	Componentes principais	
	Autovalores	Variância cumulativa (%)
PC1	1,91	27,24
PC2	1,75	52,31
PC3	1,55	74,43
PC4	0,63	83,38
PC5	0,55	91,31
PC6	0,37	96,59
PC7	0,24	100

Na tabela 5 são apresentados os caracteres agrupados nos fatores do índice de seleção FAI-BLUP, e os ganhos de seleção direto e indireto estimados para cada característica, para os dois índices de seleção. No primeiro fator agrupou-se os caracteres Bebida, LK e CE, no segundo fator o Vigor e Chocho, e no terceiro fator Peneira e Grão Chato. Mesmo não se observando uma correlação significativa entre os caracteres do primeiro fator, esses foram agrupados no mesmo fator mostrando que eles são diretamente associados. O segundo fator é

constituído por dois caracteres no qual possui as maiores correlações fenotípica e genotípica, seguido no terceiro os outros dois caracteres agrônômicos.

Foram selecionados quatro genótipos com os ideótipos descritos na tabela 5. As estimativas da seleção direta variaram de -12,95% para Chocho a 6,19 % para Vigor. Com a utilização do índice de seleção FAI-BLUP, tem-se ganhos desejáveis para seis dos sete caracteres analisados, não obtendo ganho somente para CE. Para o índice de Smith-Hazel obtém-se ganho para cinco dos sete caracteres analisados, não obtendo ganho na CE e no Vigor.

No índice de seleção FAI-BLUP, para os caracteres CE, LK e Chocho em que se deseja um decréscimo em seu valor, não obtivemos ganho somente para a característica CE (1,94), já para os caracteres LK e Chocho obtivemos um ganho de seleção de -3,21% e -4,11% para os genótipos selecionados. Nos outros caracteres, Peneira, Grão Chato, Vigor, Bebida tivemos ganhos de 1,75%, 0,44%, 1,47%, 1,16% sucessivamente.

Pelo índice clássico de Smith-Hazel, para os caracteres em que se deseja aumentar o seu valor, observou-se ganho em três dos quatro caracteres analisados, são eles: Bebida (0,35), Peneira (4,79) e Grão Chato (0,13). Já para os caracteres que se deseja diminuir o seu valor verificou ganho em dois dos três caracteres, LK (-1,65) e Chocho (-10,24).

Tabela 5. Ideótipos e ganhos genéticos preditos baseado na seleção direta e indireta via índice FAI-BLUP e de Smith-Hazel.

Características	Ideótipo	Fator FAI-BLUP	Ganho predito (%)		
			Seleção direta	FAI-BLUP	SH*
Bebida	max	1	1.96	1,16	0.35
CE	min	1	-2.41	1,94	0.86
LK	min	1	-3.77	-3,21	-1.65
Chocho	min	2	-12.95	-4,11	-10.24
Vigor	max	2	6.19	1,47	-3.43
Peneira	max	3	5.39	1,75	4.59
Grão Chato	max	3	1.16	0,44	0.13
Ganho total desejável (max)			-	38.33	14.70
Ganho total desejável (min)			-	12.13	29.05

*SH = Índice clássico de Smith-Hazel;

min = menor valor genotípico;

máx. = maior valor genotípico;

Bebida: qualidade de bebida, CE: condutividade elétrica, LK: lixiviação de potássio, Chocho: porcentagem de frutos chochos, Vigor: vigor vegetativo, Peneira: porcentagem de grãos peneira 16 acima, Grão chato: porcentagem de grão chato,

Os resultados da comparação feita entre os índices, por meio da proporção do ganho total, que é calculada pela proporção do ganho via índice de seleção sobre o ganho direto estão apresentados na tabela 5. Constatou-se ganhos desejáveis em ambos os índices de seleção, com maior valor para o índice FAI-BLUP nos caracteres em se deseja um aumento em seu valor e para os caracteres em se deseja uma diminuição do seu valor o índice de Smith-Hazel foi o melhor.

Ambos os índices seriam boas alternativas na seleção de genótipos de cafeeiro, pois obtiveram ganhos totais desejáveis, há, contudo, uma superioridade na utilização do índice FAI-BLUP, uma vez que foram obtidos ganhos em seis dos sete caracteres analisados, esse superior ao observado para o índice de Smith-Hazel em que os ganhos ocorreram em cinco dos sete caracteres. Outra vantagem do índice FAI-BLUP é que ele é livre de multicolinearidade, e muitas vezes pode-se ter problemas como isso. É preciso mencionar também que a eficiência de um índice em relação ao outro é dependente de quantos genótipos estão sendo selecionados, pois os ganhos com a seleção irão variar de acordo com o número de genótipos selecionados, portanto caso haja a necessidade de se selecionar um outro número de genótipos esse deve ser comparado novamente.

Quadro 2. Ranqueamento dos dezessete genótipos do grupo Bourbon pelo índice de seleção Smith-Hazel e FAI-BLUP.

Posição	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	12 ^a	13 ^a	14 ^a	15 ^a	16 ^a	17 ^a
SH*	13	8	10	4	14	17	16	2	15	11	1	12	6	9	5	7	3
FAI-BLUP	2	13	1	4	8	6	17	5	10	16	15	14	9	3	7	11	12

*SH = Índice clássico de Smith-Hazel

No quadro 2 encontra-se o ranqueamento dos genótipos segundo os índices de seleção. Observamos uma discrepância no ordenamento entre os dois índices estudados, no caso da seleção dos quatro melhores genótipos somente o genótipo 13 (Bourbon Vermelho FPRO) e o 4 (Bourbon Amarelo FB) seriam coincidentes entre os dois índices. Isso demonstra que a seleção de genótipos para multi-caracteres é diretamente influenciada pela escolha do índice a ser utilizado, tendo esse impacto no progresso do melhoramento genético.

De acordo com o índice FAI-BLUP selecionou-se os genótipos 2 (Bourbon Amarelo FPRO), 13 (Bourbon Vermelho FPRO), 1 (Bourbon Amarelo LCJ 10) e o 4 (Bourbon Amarelo FB), sendo esses genótipos superiores em Bebida, menor CE nos grãos, maior Peneira, maior Grão Chato, menor Chocho e um melhor Vigor em comparação com os demais genótipos.

5 – CONCLUSÃO

O índice de seleção FAI-BLUP mostrou-se eficiente na seleção de genótipos de café arabica, de acordo com o índice foram selecionados os genótipos, 2 (Bourbon Amarelo FPRO), 13 (Bourbon Vermelho FPRO), 1 (Bourbon Amarelo LCJ 10) e o 4 (Bourbon Amarelo FB).

REFERÊNCIAS

- ABRAHAO, S.A. et al. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 414-420, Apr. 2010
- AGUIAR, A. T. E. et al. Análise sensorial da bebida das cultivares Ouro Verde, Tupi e Obatã. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: EMBRAPA/CNP&D-Café, 2001. 1 CD-ROM.
- ANDRADE, V.T. et al. Statistical modeling implications for coffee progenies selection. **Euphytica**, v. 207, p. 177-189, 2016.
- ANTUNES FILHO, H.; CARVALHO, A. Melhoramento do cafeeiro: XI. análise da produção e de progênies de híbridos de Bourbon Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 16, n. 13, p. 175-195, nov. 1957.
- APARECIDO, L.E.O. et al. **Maturation periods for coffee arabica cultivars and their implications for yield and quality in brazil**. *Science of food and agriculture*, v.98, n. 10, p.3880-3891, ago. 2018.
- ARAÚJO, M.F.C.; Interação tripla genótipos x locais x anos: um teste estatístico para verificar a contribuição de cada fator. 2017. **Tese** (Doutorado) - ESALQ, Piracicaba, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Demanda interna por cafés especiais**. Rio de Janeiro, 2017, Disponível em: <<http://abic.com.br/demanda-interna-por-cafes-especiais-deve-ter-expansao-de-ate-7-em-2017/>>. Acesso em: 09 jan. 2018.
- ALVES, H.M.R. et al. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais, **Informe Agropecuário**, Belo horizonte, v.32, n.261, mar./abr. 2011.
- ATROCH, A.L. et al. Avaliação e seleção de progênies de meios-irmãos de guaranazeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, p. 123-130. 2010.
- BARBOSA, J.N. Distribuição espacial de cafés do estado de Minas Gerais e sua relação com a qualidade. 2009. 108p. **Dissertação** (Mestrado em Fisiologia Vegetal), Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2009
- BARBOSA, M. Uma abordagem para análise de dados com medidas repetidas utilizando modelos lineares mistos. 2009. 118p. **Dissertação** (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.
- BERTHAUD, J; HARRIER, A. Genetic resources of *Coffea*. In: CLARKE, R.J; ACRAE, R. (eds) *Coffee*. London: **Elsevier**, 42p, 1988.
- BORÉM, F.M. et al. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas, **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p.1609-1615, 2008.

BRASIL. Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº8, de junho de 2003. Aprova o regulamento técnico da identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. Brasília, 2003. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229303>>

BRAZIL SPECIALITY COFFEE ASSOCIATION. **Cafés especiais**. Varginha, 2005. Disponível em: <<http://bsca.com.br>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

_____. _____. Varginha, 2007. Disponível em: <<http://bsca.com.br>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

_____. _____. Varginha, 2008. Disponível em: <<http://bsca.com.br>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

BUTLER, D. et al. ‘**ASReml-R reference manual**.’ (DPI & F Publications, Department of Primary Industries and Fisheries: Brisbane, Qld.). 2007. URL: www.vsn-intl.com/products/asreml/. Acesso em 23/10/2018.

CARVALHO, V.D. et al. Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, n 15, 1989, Maringá. **Anais...** Rio de Janeiro: Mec-Ibc, 1989. p.25-26.

CARVALHO, A. et al. Melhoramento do Cafeeiro. XXXIII – Produtividade e Outras Características de Vários Cultivares em Monte Alegre do Sul. **Bragantia**, Campinas, vol.32, n 13, 1973.

CARVALHO, A. et al. Melhoramento do cafeeiro: IV. Café Mundo Novo. **Bragantia**, Campinas, 12:97-129, 1952.

CARVALHO, V.L.; CHALFOUN, S.M.; CUNHA, R.L.; Manejo de doenças do cafeeiro em: CARVALHO, C.H.S. (Orgs). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, v.1, p 693-756, 2008.

CHAGAS, S. J. de R. **Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais**. 1994. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

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

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, v.2, 2003.

DELLA LUCIA, S.M.; MININ, V.P.R.M.; CARNEIRO, J.D.S. Análise sensorial de alimentos. In: MININ, V.P.R. (Ed). **Análise sensorial. Estudos com consumidores**. Viçosa, MG, 225p, 2006.

DE MARIA, C.A.B.; MOREIRA, R.F.A.; TRUGO, L.C. Componentes voláteis do café torrado. Parte I: compostos heterocíclicos. **Química Nova**, São Paulo, v.22, n.2, p.209-217, mar./abr. 1999.

DYMINSKI, D.S. et al. Revisão: Aplicações e funcionamento da línguas eletrônicas brasileira. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.8, n.4, p.312-320, 2005.

FAZUOLI, L. C. Metodologias, critérios e resultados da seleção em progênes do café Icatu com resistência a *Hemileia vastatrix*. 1991. 322 f. **Tese** (Doutorado) - UNICAMP, Campinas, 1991.

FILHO, H.P.M.; RITA, B.; CARVALHO, C.H.S. Desenvolvimento de Novas Cultivares de Café Arabica. In CARVALHO, C.H.S. de (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: EMBRAPA Café, p. 79-102, 2008.

FRANCA, A. S.; MENDONÇA, J. C. F.; OLIVEIRA, S. S. D. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **LWT**, v. 38, p. 709-715, 2004.

FRANCO, M.R.B.; JANZANTII, N.S. Avanços na metodologia instrumental da pesquisa do sabor. In: FRANCO, M.R.B. **Aroma e sabor de alimentos: temas atuais**. Campinas: Livraria Varela, p. 17-27, 2003.

ILLY, A.; VIANI, R. Espresso coffee: the chemistry of quality. London: **Academic**. p.253, 1995

KAISER, H.; The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v.77, p. 3236-3251, 1994.

KRUG, C.A.; MENDES, J.E.T.; CARVALHO, A. Taxonomia de *Coffea arabica* L.: descrição das variedades e formas encontradas no Estado de São Paulo. Campinas, **Instituto Agrônomo**, 1939. 57p. (Boletim técnico, 62)

KRUG, C.A. Genética de *Coffea*: plano de estudos em execução no Departamento de Genética do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, **Instituto Agrônomo**. 39p, (Boletim técnico, 26), 1936.

LEHOTAY, S.; HAJŠLOVA, J. Application of gas chromatography in food analysis. **Trends in Analytical Chemistry**, London, v.21, n.9-10, p.686-697, 2002.

LOPES, L. M. V. **Avaliação da qualidade de grãos crus e torrados de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2000. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MATIELLO J.; ALMEIDA, S. R. **Sementes moca nascem e reproduzem plantas normalmente**. Fundação Procafé: Alameda do Café, 1000 – Varginha, MG. Disponível em: www.fundacaoprocafe.com.br. Acesso em: 29 fev 2019.

MENDES, A.N.G. et al. História das primeiras cultivares de café planadas no Brasil. In: CARVALHO, C.H.S. (Orgs). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, v.1, p 57-64, 2008.

MENDES, J.E.T. & KRUG, C.A. O cafeeiro e sua cultura: pesquisas e trabalhos experimentais em andamento no Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, em Campinas. Campinas, **Instituto Agronômico**, p. 37 (Boletim técnico, 54), 1938.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO. **Registro nacional de cultivares – RNC**. Brasília, 2019, Disponível em: <http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php>. Acesso em: 09 jan.2019.

MOREIRA, R.F.A.; TRUGO, L.C.; DE MARIA, C.A.B. Componentes voláteis do café torrado. Parte II: compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, São Paulo, v.23, n.2, p.195-203, 2000.

MULAMBA, N.N.; MOCK, J.J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. *Egypt Journal of Genetics and Cytology*, **Alexandria**, v.7, p.40-51, 1978

NAVELLIER, P. Composition moyenne Du café vert. **Lês caféiers et les café dans le monde**, Larose, v.2, p. 163-220, 1961

PEREIRA, A.A. et al. Cultivares: origem e suas características. In: REIS, P.R.; CUNHA R.L. **Café Árábica do plantio a colheita**. Lavras: EPAMIG, v.1, p 167-220, 2010.

PEREIRA, F.A.C. et al. Selection of *Coffea arabica* L. hybrids using mixed models with diferente structures of variance-covariance matrices, **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 304 – 311, 2018

PEREIRA, M. C. **Características químicas, físico-químicas e sensorial de genótipos de grãos de café (*Coffea arabica* L.)**. 2008. 101 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

PEREIRA, T.B. et al. Eficiência da seleção de progênies de café F4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p.230-236, 2013.

PETEK, M. R. et al. Interação genótipo ambiente na maturação dos frutos em variedades e cultivares de *Coffea arabica* no Paraná. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2005, Londrina. **Anais...** Brasília: EMBRAPA/CNP&D-Café, 2005. 1 CD-ROM.

PINTO, N. A. V. D. et al. Açúcares e sólidos solúveis em bebidas e blends de cafés torrados tipo expresso. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Rio de Janeiro: EMBRAPA. p. 101, 2001.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V. **Genética Florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2011. 318p.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2016, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

RAMALHO, M.A.P. et al. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas** Lavras: UFLA, 2012. 522p.

REIS, P.L.; CUNHA, R.L. da; CARVALHO, G.R. **Café arábica: da pós colheita ao consumo**. Lavras: EPAMIG, 2011. 734p.

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

RESENDE, M.A.V. et al. Divergência genética e índice de seleção via BLUP em acessos de algodoeiro para características tecnológicas da fibra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 334-340, 2014.

REIS, C.A.F. et al. Estratégias Na Seleção Simultânea De Vários Caracteres No Melhoramento Do Eucalyptus. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 25, n. 2, p. 457-467, 2015.

ROCHA, J.R.A.S.C.; MACHADO, J.C.; CARNEIRO, P.C.; Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. **GCB Bioenergy**, v.10, p. 52-60, 2018.

ROGERS, W. J. et al. Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myo-inositol, carboxylic acids and inorganic anions in development grains from different varieties of Robusta (*Coffea canephora*) and Arabica (*C.arabica*) coffees. **Plant Science**, v. 149, n. 2, p. 115-123, 1999.

SILVA, R. F. da. et al. Qualidade do café-cereja descascado na região Sul de Minas Gerais. **Ciência Agropecuária**, Lavras, v. 28, n. 6, p. 1367-1375, 2004.

Schwarz, G. Estimating the dimension of a model. **The Annals of Statistics**, v.6, n. 2, p. 461–464, 1978.

VÁRZEA, V.M.P.; MARQUES, D.V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. Coffee durable resistance. In: Zambolim L et al (eds) Durable resistance to coffee leaf rust. UFV, Viçosa, Brasil, p. 53–74, 2005.

VILLAS, B.M. et al. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.5, p. 1169-1173, 2001.

YAN, W.; FRÉGEAU-REID, J. Breeding line selection based on multiple traits. **Crop Science**, v. 45, p.417-423, 2008.

ZYLBERSZTAJN, D.; FARINA, E. M. M. Q. **Diagnóstico sobre o sistema agroindustrial de cafés especiais e qualidade superior do Estado de Minas Gerais**: relatório final PENSA/FEA/USP. São Paulo: USP, 2001. 152 p.

ANEXOS

Tabela 6. Resumo das análises de variâncias individuais para produção de café beneficiado (Sc/ha).

Local	Anos	Produtividade				
		Vg	Ve	Média	CV(%)	h ²
CAMPOS ALTOS	2008	4,98	28,84	10,30	52,14	0,34
	2009	4,45	43,46	17,10	38,55	0,24
	2010	24,38	159,50	38,50	32,80	0,31
S.A. DO AMPARO	2008	79,99	203,29	30,40	46,90	0,54
	2009	201,80*	212,11	64,70	22,51	0,74
	2010	46,04	182,70	23,70	57,03	0,43
LAVRAS	2008	1,68	11,41	9,45	35,74	0,31
	2009	37,16*	74,73	44,10	19,60	0,60
	2010	2,41	122,70	26,90	41,18	0,06
TRÊS PONTAS	2008	3,96	15,70	9,01	43,97	0,43
	2009	1,46	17,84	21,30	19,83	0,20
	2010	29,58*	2,52	29,80	5,33	0,97
PATROCINIO	2008	4,58	135,59	26,80	43,45	0,09
	2009	36,89*	48,47	24,80	28,07	0,70
	2010	198,27*	124,01	42,90	25,96	0,83

Tabela 7. Resumo das análises de variâncias individuais para porcentagem de grãos com peneira 16 acima.

Local	Anos	Peneira				
		Vg	Ve	Média	CV(%)	h ²
CAMPOS ALTOS	2008	27,22*	6,87	60,35	4,34	0,92
	2009	18,54*	35,82	58,65	10,20	0,60
	2010	5,79	38,50	51,29	12,10	0,31
S.A. DO AMPARO	2008	29,79*	9,27	64,95	4,69	0,90
	2009	10,46	60,73	80,06	9,73	0,34
	2010	1,87	21,99	80,33	5,84	0,20
LAVRAS	2008	34,32*	10,13	60,71	5,24	0,91
	2009	9,82	48,63	74,26	9,39	0,37
	2010	0,00	61,56	67,65	11,60	0,00
TRES PONTAS	2008	23,47*	22,00	71,72	6,54	0,76
	2009	18,31*	18,98	74,60	5,84	0,74
	2010	74,4*	12,76	57,84	6,18	0,94
PATROCINIO	2008	44,32*	70,71	58,29	14,42	0,65
	2009	9,12	42,56	59,88	10,89	0,39
	2010	27,84*	46,66	54,08	12,63	0,64

Tabela 8. Resumo das análises de variâncias individuais para porcentagem de frutos chochos.

		Chocho					
Local	Anos	Vg	Ve	Média	CV(%)	h ²	
CAMPOS ALTOS	2008	1,51	21,67	7,77	64,87	0,15	
	2009	0,37	8,69	3,33	88,42	0,12	
	2010	2,72	11,10	4,05	82,28	0,42	
S.A. DO AMPARO	2008	1,05	27,62	10,90	48,21	0,10	
	2009	0,00	18,82	7,97	54,45	0,00	
	2010	1,54	41,65	10,25	62,96	0,10	
LAVRAS	2008	2,84	28,59	11,70	45,70	0,23	
	2009	4,36	21,77	7,15	65,26	0,38	
	2010	2,48	32,73	7,68	74,46	0,19	
TRES PONTAS	2008	3,35*	7,47	5,52	49,54	0,57	
	2009	1,68	13,18	5,27	68,93	0,28	
	2010	12,58*	7,19	5,85	45,83	0,84	
PATROCINIO	2008	3,1*	8,87	5,70	52,24	0,51	
	2009	10,20*	12,00	7,08	48,91	0,72	
	2010	1,74	9,43	5,25	58,49	0,36	

Tabela 9. Resumo das análises de variâncias individuais para uniformidade de maturação.

		Maturação					
Local	Anos	Vg	Ve	Média	CV(%)	h ²	
CAMPOS ALTOS	2008	57,15*	106,50	65,60	15,73	0,62	
	2009	10,31	131,64	60,87	18,85	0,19	
	2010	35,31*	34,46	22,34	26,28	0,75	
S.A. DO AMPARO	2008	0,00	91,22	68,53	13,94	0,00	
	2009	0,00	253,65	48,79	32,64	0,00	
	2010	0,00	181,51	43,64	30,87	0,00	
LAVRAS	2008	19,66	76,13	68,06	12,82	0,44	
	2009	47,51	167,79	58,46	22,16	0,46	
	2010	0,00	103,67	47,47	21,45	0,00	
TRES PONTAS	2008	100,14*	79,74	67,84	13,16	0,79	
	2009	72,96*	86,25	57,94	16,03	0,72	
	2010	29,52*	24,61	30,08	16,49	0,78	
PATROCINIO	2008	35,61*	62,82	27,83	28,48	0,63	
	2009	23,03	81,27	53,41	16,88	0,46	
	2010	0,67	61,80	17,69	44,44	0,03	

Tabela 10. Resumo das análises de variâncias individuais para porcentagem de grão chatos.

GRÃO CHATO						
Local	Anos	Vg	Ve	Média	CV(%)	h ²
CAMPOS ALTOS	2008	17,65*	3,23	71,47	2,52	0,94
	2009	3,03*	7,39	86,05	3,16	0,55
	2010	0,00	5,82	87,03	2,77	0,00
S.A. DO AMPARO	2008	8,56*	3,59	75,99	2,49	0,88
	2009	2,4*	6,96	88,86	2,97	0,51
	2010	0,35	4,67	91,69	2,36	0,19
LAVRAS	2008	22,92*	11,97	70,54	4,90	0,85
	2009	0,63	9,01	88,57	3,39	0,18
	2010	0,00	7,16	88,17	3,03	0,00
TRÊS PONTAS	2008	16,92*	17,75	79,42	5,30	0,74
	2009	5,15*	6,73	84,28	3,08	0,70
	2010	5,89*	4,68	85,65	2,53	0,79
PATROCINIO	2008	0,86	18,97	85,74	5,08	0,12
	2009	6,92*	14,80	81,75	4,71	0,58
	2010	1,03	8,86	85,21	3,49	0,26

Tabela 11. Resumo das análises de variâncias individuais para vigor vegetativo.

Vigor						
Local	Anos	Vg	Ve	Média	CV(%)	h ²
CAMPOS ALTOS	2008	0,26*	0,80	7,13	12,50	0,50
	2009	0,55*	1,32	5,58	20,60	0,56
	2010	0,13*	0,24	9,33	5,24	0,62
S.A. DO AMPARO	2008	0,00	0,26	8,73	5,80	0,00
	2009	0,19	2,09	5,35	27,01	0,22
	2010	0,00	1,51	8,38	14,68	0,00
LAVRAS	2008	0,00	0,69	8,00	10,41	0,00
	2009	0,55*	0,95	5,68	17,15	0,64
	2010	0,04	0,32	9,33	6,03	0,31
TRES PONTAS	2008	0,44	0,48	7,65	9,03	0,74
	2009	0,44	0,48	7,65	9,03	0,74
	2010	0,44*	0,77	8,03	10,94	0,63
PATROCINIO	2008	0,5*	1,08	4,75	21,84	0,58
	2009	0,82*	1,07	6,25	16,56	0,70
	2010	1,17*	0,78	6,65	13,27	0,82

Tabela 12. Resumo das análises de variâncias individuais para os caracteres químicos, físico-químicos e sensorial.

Caracteres	Anos	Vg	Ve	Média	CVe(%)	h ²
BEBIDA	2008	19,79*	4,89	86,40	2,55	0,92
	2009	10,12*	4,20	81,59	2,51	0,87
	2010	2,15*	3,16	82,21	2,16	0,67
A.T.T	2008	6,91	52,52	203,45	3,56	0,39
	2009	0,83	35,01	210,51	2,81	0,10
	2010	0,01	83,76	202,15	4,52	0,26
C.E	2008	7,14*	35,33	129,17	4,60	0,50
	2009	5,16	39,09	131,44	4,75	0,39
	2010	8,91*	23,96	133,30	3,67	0,65
Umidade	2008	0,00	0,25	9,55	5,29	0,14
	2009	0,00	0,10	10,65	2,99	0,00
	2010	0,01	0,07	10,00	2,53	0,68
A.R	2008	6x10 ⁻⁰⁴ *	0,0031	0,36	15,68	0,50
	2009	0,00	0,0025	0,32	15,87	0,00
	2010	2x10 ⁻⁰⁴	0,0023	0,30	16,17	0,38
A.N.R	2008	0,02	0,47	7,86	8,74	0,17
	2009	0,01	0,25	6,78	7,45	0,22
	2010	0,00	0,31	7,31	7,71	0,00
A.T	2008	0,03	0,48	8,78	7,89	0,26
	2009	0,00	0,34	7,39	7,93	0,00
	2010	0,00	0,32	7,94	7,15	0,00
L.K	2008	0,99*	4,00	34,00	5,88	0,55
	2009	1,53*	4,39	34,11	6,14	0,63
	2010	0,65*	4,22	33,45	6,14	0,43
C.F.T	2008	0,01	0,12	6,50	5,49	0,29
	2009	0,00	0,13	5,06	7,37	0,00
	2010	0,01	0,05	6,05	3,92	0,09
A.C.T	2008	0,01*	0,07	6,32	4,46	0,47
	2009	0,00	0,17	4,97	8,33	0,03
	2010	0,00	0,08	5,39	5,38	0,00
pH	2008	0,0002	0,003	5,79	0,86	0,37
	2009	0,00	0,002	5,89	0,84	0,00
	2010	0,00	0,078	5,88	4,75	0,00

Tabela 13. Estimativas de BIC e do logREML para os caracteres agrônômicos, químicos, físico-químicos e sensorial.

Características		ar1	ar1h	diag	us	corv	ante	csH
Prod.	BIC	4887,57	4795,93	4806,65	4812,52	4867,79	4822,13	4770,14
	logREML	-2396,53	-2316,95	-2339,19	-2291,49	-2386,64	-2313,17	-2304,06
Mat.	BIC	5153,49	5154,13	5123,85	5210,40	5154,12	5183,20	5155,00
	logREML	-2529,49	-2496,05	-2497,79	-2490,43	-2529,80	-2493,71	-2496,49
Pen.	BIC	4277,80	4251,86	4235,49	4304,25	4282,45	4274,00	4253,19
	logREML	-2091,64	-2044,92	-2053,61	-2037,36	-2093,97	-2039,11	-2045,58
G.C	BIC	3152,34	3169,61	3158,13	3205,13	3157,28	3177,58	3173,21
	logREML	-1528,92	-1503,79	-1514,93	-1487,80	-1531,38	-1490,90	-1505,59
Vigor	BIC	1010,05	957,16	990,64	X	1021,70	X	976,25
	logREML	-457,76	-397,57	-431,18	X	-463,59	X	-407,11
Cho.	BIC	3581,85	3615,67	3593,41	3681,14	3583,14	3648,31	3617,58
	logREML	-1743,67	-1726,82	-1732,57	-1725,80	-1744,31	-1726,26	-1727,78
Bebida	BIC	869,31	876,12	874,35	2884,69	2252,26	881,62	2263,57
	logREML	-420,52	-418,28	-420,22	-1419,74	-1114,83	-418,20	-1114,83
L.K	BIC	748,67	759,08	757,06	2648,97	2088,20	764,68	2099,50
	logREML	-360,20	-359,76	-361,57	-1301,87	-1032,79	-359,73	-1032,79
C.E	BIC	1366,96	1372,87	1367,28	2872,60	2508,06	1378,45	2519,37
	logREML	-669,35	-666,65	-666,68	-1413,69	-1242,73	-666,61	-1242,73
Umi.	BIC	-185,60	-213,19	-214,87	625,03	166,50	-207,65	177,80
	logREML	106,93	126,38	124,39	-289,90	-71,94	126,44	-71,94
A.T.T	BIC	1494,11	1482,53	1477,46	3737,79	3453,84	1488,05	3465,15
	logREML	-732,92	-721,48	-721,77	-1846,29	-1715,62	-721,41	-1715,62
A.R	BIC	-1319,58	-1311,02	-1315,95	1190,66	-1156,08	-1305,62	X
	logREML	673,92	675,30	674,93	-572,72	589,35	675,42	X

Tabela 13. “Conclusão”

Características		arl	arlh	diag	us	corv	ante	csH
A.N.R	BIC	49,52	52,47	52,78	1132,39	517,35	56,50	528,65
	logREML	-10,63	-6,45	-9,43	-543,59	-247,37	-5,64	-247,37
A.T	BIC	71,90	73,32	75,00	1034,13	479,52	78,67	490,83
	logREML	-21,82	-16,88	-20,54	-494,45	-228,46	-16,73	-228,46
A.C.T	BIC	-260,07	-266,45	-270,23	720,56	184,64	-260,92	195,94
	logREML	144,17	153,01	152,07	-337,67	-81,01	153,07	-81,01
pH	BIC	1297,98	1305,04	1300,05	3303,69	2464,24	1309,93	2475,54
	logREML	-634,86	-632,73	-633,07	-1629,24	-1220,81	-632,35	-1220,81
S.S	BIC	702,97	708,23	702,58	4743,72	3029,73	713,88	3041,04
	logREML	-337,35	-334,33	-334,33	-2349,25	-1503,56	-334,33	-1503,56
C.F.T	BIC	-283,04	-289,93	-289,16	728,52	189,98	-290,20	201,28
	logREML	155,65	164,75	161,54	-341,65	-83,68	167,71	-83,68

Tabela 14. Estimação dos valores genotípicos mais a média para os caracteres que foram significativos a 5% segundo o teste de razão de verossimilhança (LRT).

Trat	Chocho	Vigor	Peneira	Grão Chato	Bebida	L.K.	C.E.
1	7.41	7.60	64.95	83.66	85.14	33.68	132.81
2	7.57	7.83	64.24	84.44	84.42	31.71	132.93
3	6.39	6.99	58.23	81.56	85.14	34.24	132.75
4	5.77	7.07	66.26	83.32	84.32	33.38	132.79
5	6.41	6.98	61.48	84.05	84.84	34.30	133.00
6	8.51	7.48	64.68	84.15	85.87	34.13	128.96
7	6.87	6.78	59.02	83.22	83.77	33.96	128.37
8	6.46	7.07	69.03	83.24	84.48	32.91	128.70
9	8.02	7.78	62.29	82.02	84.05	34.62	130.62
10	6.75	6.94	67.52	83.80	82.38	34.59	131.39
11	7.13	7.31	65.64	84.77	81.87	34.64	132.68

Tabela 14. “Conclusão”

Trat	Chocho	Vigor	Peneira	Grão Chato	Bebida	L.K.	C.E.
12	8.39	7.43	63.18	81.19	84.10	33.98	132.03
13	6.83	6.96	68.19	83.59	84.43	32.61	135.79
14	7.04	7.18	68.33	83.40	83.04	35.22	131.53
15	6.89	7.30	65.95	83.66	81.23	34.84	127.88
16	6.62	7.08	66.14	83.63	81.09	34.38	126.56
17	9.16	7.62	66.00	83.79	81.18	33.69	128.81
18	5.92	7.09	69.49	83.15	81.37	32.32	131.33
19	6.69	6.97	63.17	82.20	82.55	34.48	134.74
20	5.80	7.25	65.88	84.37	82.55	33.43	132.55