



JEAN DOS SANTOS SILVA

**UNIDADES DEMONSTRATIVAS NO SUL DE MINAS GERAIS
PARA ESTUDO DA ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE
DE CULTIVARES DE CAFÉ**

**LAVRAS – MG
2021**

JEAN DOS SANTOS SILVA

**UNIDADES DEMONSTRATIVAS NO SUL DE MINAS GERAIS PARA ESTUDO DA
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE CAFÉ**

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

Pesq. Dr. Cesar Elias Botelho
Orientador

Pesq. Dra. Juliana Costa Rezende Abrahão
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2021**

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

Silva, Jean dos Santos.

Unidades demonstrativas no Sul de Minas Gerais para estudo
da adaptabilidade e estabilidade de cultivares de café / Jean dos
Santos Silva. - 2021.

51 p. : il.

Orientador(a): Cesar Elias Botelho.

Coorientador(a): Juliana Costa Rezende Abrahão.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Resistência a ferrugem. 2. Produtividade. 3. Qualidade
sensorial. I. Botelho, Cesar Elias. II. Abrahão, Juliana Costa
Rezende. III. Título.

JEAN DOS SANTOS SILVA

**UNIDADES DEMONSTRATIVAS NO SUL DE MINAS GERAIS PARA ESTUDO DA
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE CAFÉ**

**DEMONSTRATION UNITS IN THE SOUTH OF MINAS GERAIS TO STUDY THE
ADAPTABILITY AND STABILITY OF COFFEE CULTIVARS**

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

APROVADA em 16 de julho de 2021.

Dra. Dalysse Toledo Castanheira UFLA

Dr. Tiago Teruel Rezende UNIFENAS

Pesq. Dr. Cesar Elias Botelho
Orientador

Pesq. Dra. Juliana Costa de Rezende Abrahão
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2021**

*Aos meus pais, Jorge Silva e Edna Marta dos
Santos Silva e à minha irmã Jéssica Elaine
Silva, que são a base de tudo.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem Ele nada é possível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço aos meus pais, Jorge Silva e Edna Marta dos Santos Silva, pelo apoio incondicional aos meus estudos, inclusive na execução do experimento que foi base dessa dissertação.

À minha irmã, Jéssica Elaine Silva, que não mediu esforços ao me acompanhar na colheita do experimento.

Ao meu amigo Denis Henrique Silva Nadaleti, por todo o apoio e orientações durante todas as etapas do mestrado.

À minha namorada Thaís, pelo companheirismo de sempre, me dando forças para alcançar meus objetivos.

À minha amiga Luciane Gonçalves Torres, pela companhia durante as disciplinas.

Ao meu orientador, Cesar Elias Botelho, pela oportunidade de aprendizado e crescimento que me proporcionou durante esse período.

À minha coorientadora Juliana Costa Rezende Abrahão e ao Vinícius Teixeira Andrade, pela orientação e por todo o apoio na escrita e na estatística.

Aos companheiros da república Café e Viola. Ao Grupo de Estudos em Cafeicultura (GECAF), da UFSJ, campus Sete Lagoas, que tiveram papel fundamental no entusiasmo para escolher e iniciar o mestrado. Ao Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF) – UFLA, que me acolheu na chegada a Lavras.

À Epamig, por todo o suporte e estrutura fornecidos para a execução do projeto.

À Cooxupé e aos produtores parceiros, que não mediram esforços para que o experimento fosse avaliado com êxito.

Ao CNPq, Fapemig, INCT Café e Consórcio Pesquisa Café, por financiarem nossas pesquisas.

Muito obrigado!

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.” (José de Alencar)

RESUMO

A região Sul de Minas Gerais é considerada uma das principais produtoras de café do Brasil. Devido ao grande impacto socioeconômico da cafeicultura na região, a utilização de práticas de manejo que aumentam a sustentabilidade da atividade é de grande valia para sua população. Dentre essas práticas, destaca-se o uso de novas cultivares, mais produtivas e resistentes à ferrugem do cafeeiro, principal doença da cultura. Porém, para que haja êxito na recomendação dessas cultivares, há a necessidade de avaliações de experimentos em vários ambientes, respaldados por parâmetros biométricos de adaptabilidade e estabilidade, que asseguram a orientação técnica aos produtores. Uma das formas de viabilizar esse tipo de estudo é por meio da experimentação no ambiente de cultivo, ou seja, nas fazendas, na forma de unidades demonstrativas de cultivares, onde o experimento é realizado em parcela única, permitindo melhor visualização e condução do experimento por parte dos produtores. Desse modo, objetivou-se verificar o desempenho agrônômico, adaptabilidade e estabilidade das cultivares em ambientes de cultivo na região do Sul de Minas, por meio das unidades demonstrativas, para realizar a recomendação de cultivares de café arábica. Os experimentos foram instalados em dezembro de 2016, em 12 ambientes localizados em propriedades particulares de diferentes municípios situados na região do Sul de Minas Gerais. Foram utilizados dez genótipos, sendo eles: sete cultivares resistentes à ferrugem (Catiguá MG2, MGS Ametista, MGS Aranãs, MGS Catiguá 3, MGS Paraíso 2, Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1), uma progênie resistente à ferrugem (H6-47-10 pl. 3) e as cultivares Bourbon Amarelo IAC J10 e Catuaí Vermelho IAC 99 como testemunhas. As características analisadas para a recomendação foram produtividade, vigor vegetativo, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), análise sensorial, porcentagem de grãos retidos na peneira 16 e acima, e porcentagem de grãos moca. As análises estatísticas de adaptabilidade e estabilidade foram obtidas por meio das médias ajustadas obtidas pela análise AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*), do qual se obteve interações pelo gráfico de componentes principais, valor de estabilidade AMMI (ASV), Annicchiarico, teste de agrupamento de médias Scott-Knott e Soma de Postos do Ranqueamento (SPR). Foi possível, por meio de ferramentas biométricas, o estudo de adaptabilidade e estabilidade de cultivares de café. Os genótipos MGS Paraíso 2, MGS Ametista e MGS Aranãs possuem boa adaptabilidade geral em relação a todas as características avaliadas para a região do Sul de Minas Gerais. Em se tratando de produtividade, os genótipos mais recomendados são o MGS Paraíso 2 e o H6-47-10 pl. 3. Os genótipos Catiguá MG2, MGS Paraíso 2 e Pau Brasil MG1 foram os mais indicados para a região, para a produção de cafés especiais.

Palavras-chave: Resistência a ferrugem. Produtividade. Qualidade sensorial.

ABSTRACT

The southern region of Minas Gerais is considered one of the main coffee producers in Brazil. Due to the great socioeconomic impact of coffee growing in the region, the use of management practices that increase the sustainability of the activity is of great value to its population. Among these practices, there is the use of new cultivars, more productive and resistant to coffee rust, the main disease of the crop. However, for success in recommending these cultivars, there is a need for evaluations through experiments in various environments, supported by biometric parameters of adaptability and stability that ensure technical guidance to producers. One of the ways to make this type of study feasible is through experimentation on farms, also called cultivar demonstration units, where the experiment is carried out in a single plot, allowing for better visualization and conduct of the experiment by the producers. Thus, the objective was to verify the agronomic performance, adaptability and stability of cultivars in cultivation environments in the southern region of Minas Gerais through demonstration units, to carry out the recommendation of Arabica coffee cultivars. The experiments were installed in December 2016, in 12 environments located on private properties in different municipalities located in the southern region of Minas Gerais. Ten genotypes were used, namely: seven rust resistant cultivars (Catiguá MG2, MGS Ametista, MGS Aranãs, MGS Catiguá 3, MGS Paraíso 2, Paraíso MG H419-1 and Pau Brasil MG1), a rust resistant progeny (H6- 47-10 pl. 3) and the cultivars Bourbon Amarelo IAC J10 and Catuaí Vermelho IAC 99 as control. The parameters analyzed for the recommendation were yield, vegetative vigor, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), sensory analysis, sieve 16 and above and percentage of mocha grains. The statistical analyzes of adaptability and stability were obtained through the adjusted means obtained by the AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) analysis, from which specific interactions were obtained by the principal components graph, and by the AMMI stability value (ASV), and region-wide interactions by means of Annicchiarico, Scott-Knott mean cluster test and Rank Sum of Ranks (SPR). Using biometric tools, it was possible to study the adaptability and stability of coffee cultivars. The genotypes MGS Paraíso 2, MGS Amethyst and MGS Aranãs have good general adaptability in relation to all characteristics evaluated for the southern region of Minas Gerais. In terms of productivity, the most recommended genotypes are MGS Paraíso 2 and H6-47-10 pl. 3. The genotypes Catiguá MG2, MGS Paraíso 2 and Pau Brasil MG1 were the most suitable for the region for the production of specialty coffees.

Keywords: Leaf rust resistance. Productivity. Sensory quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico IPCA1 vs IPCA2 (52,05) de acordo com a análise AMMI para produtividade média.....	33
Figura 2 – Gráfico IPCA1 vs IPCA2 (72,58) de acordo com a análise AMMI para nota total SCA.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ambientes de instalação do experimento, localizados na região Sul de Minas Gerais, Brasil e os respectivos espaçamentos de plantio.	24
Tabela 2 – Genótipos avaliados e suas respectivas origens genéticas.	25
Tabela 3 – Análise de variância e decomposição pelo método AMMI para produtividade (Prod.), vigor vegetativo (Vigor), NDVI, nota total SCA (Nota SCA), porcentagem de peneira alta (PA) e porcentagem de grãos moca (%moca), dos 10 genótipos nos 12 ambientes avaliados.	29
Tabela 4 – Estimativa do índice de confiança (Ii) para as variáveis produtividade (Prod.), vigor vegetativo (Vigor), NDVI, nota total SCA (Nota SCA), porcentagem de peneira alta (PA) e porcentagem de grãos moca (%moca), segundo Annichiarico (1992).	30
Tabela 5 – Estimativa de Índice Ambiental para as variáveis para as variáveis produtividade (Prod.), vigor vegetativo (Vigor), NDVI, nota total SCA (Nota SCA), porcentagem de peneira alta (PA) e porcentagem de grãos moca (%moca segundo Annichiarico (1992).	31
Tabela 6 – Análise do índice de confiança (Ii) para ambientes favoráveis (+) e desfavoráveis (-), para as variáveis, segundo Annichiarico (1992), adaptado por Schmildt e Cruz (2005).	32
Tabela 7 – Valor de estabilidade AMMI (ASV) para as variáveis produtividade (Prod.), vigor vegetativo (Vigor), NDVI, nota total SCA (Nota SCA), porcentagem de peneira alta (PA) e porcentagem de grãos moca (%moca).	35
Tabela 8 – Médias para as variáveis Produtividade Média (Prod.), Vigor Vegetativo (Vigor), NDVI, Nota Total (Nota SCA), Porcentagem de peneira 16 e acima (PA) e Porcentagem de Grãos Moca (%moca), e Soma de Postos do Ranqueamento (SDPR).	37
Tabela 9 – Correlação entre o ranqueamento dos genótipos nos métodos ASV, Ii, Ii(+), Ii(-) e Scott-Knott (SK) para produtividade.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Região Sul de Minas Gerais	14
2.2	<i>Coffea arabica</i> L.	15
2.3	Melhoramento genético: <i>Coffea arabica</i> L.	16
2.3.1	Unidades demonstrativas no melhoramento de <i>Coffea arabica</i> L.	17
2.4	Cultivares resistentes à ferrugem do cafeeiro	18
2.5	Interação Genótipo x Ambiente (GxA) e avaliação da adaptabilidade/estabilidade	19
2.6	Adaptabilidade e estabilidade para a recomendação de cultivares de cafeeiro	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Variáveis analisadas	25
3.2	Análises estatísticas	27
4	RESULTADOS	29
5	DISCUSSÃO	39
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Dentre as diversas regiões produtoras de café no Brasil, destaca-se o Sul de Minas Gerais, que no ano de 2020 foi responsável por 39,3% da produção nacional de café arábica (CONAB, 2020). A cafeicultura nessa região, além dos números absolutos, possui um grande impacto socioeconômico nos municípios, visto que é a principal atividade agrícola (PEIXOTO *et al.*, 2017; ALVES; LINDNER, 2020). Apesar da expressividade diante da cafeicultura nacional, o perfil do parque cafeeiro regional conta com aproximadamente 82% de sua área composta por cultivares dos grupos Catuaí e Mundo Novo (PROCAFÉ, 2017), sendo estes suscetíveis à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk.), considerada a principal doença que afeta a cultura (SUDHA *et al.*, 2020).

Atrelada à importância socioeconômica da cafeicultura para a região, surgiu a necessidade de incentivar a implantação de lavouras com cultivares resistentes à ferrugem do cafeeiro, como forma de aumentar a sustentabilidade da produção, uma vez que essa é a principal estratégia do manejo integrado para a doença (VAN DER VOSSEN; BERTRAND; CHARRIER, 2015).

Para o sucesso da introdução e adoção de cultivares resistentes por parte dos cafeicultores, é imprescindível a realização de experimentos em diferentes ambientes de cultivo (DIAS *et al.*, 2017). Um dos gargalos na experimentação em vários ambientes é o alto custo no que se refere à área e mão de obra especializada para a condução dos experimentos. Diante disso, criou-se as unidades demonstrativas de cultivares de café, que constam de experimentos conduzidos nas fazendas cafeeiras, cujo formato experimental consta de parcelas únicas. Esse formato de pesquisa, que une as instituições e os produtores, surgiu para unir a extensão rural com o melhoramento genético, de forma a propor uma metodologia simples para a experimentação nas propriedades, além de facilitar a identificação *in loco* do desempenho de cultivares e, com isso, ampliar a adoção desses novos materiais genéticos.

Reforça-se a importância do estudo da variabilidade ambiental, pois a mesma está associada ao fato de que as principais características de seleção para se recomendar uma cultivar de cafeeiro são quantitativas, sendo elas, produtividade, qualidade sensorial e física dos grãos e vigor vegetativo, que por sua vez, sofrem forte influência ambiental (GICHIMU; OMONDI, 2010; PEDRO *et al.*, 2011; MONTAGNON; MARRACCINI; BERTRAND, 2012). Essa interferência do ambiente na expressão fenotípica das características quantitativas, quando identificada, é denominada interação genótipo x ambiente (GxA) (KANG, 2020).

A interação GxA pode ser classificada em simples e complexa. A diferença entre elas é marcada por apresentar e não apresentar, respectivamente, alteração no ranqueamento de genótipos entre os ambientes (RAMALHO *et al.*, 2012). Para classificar e quantificar a interação GxA são utilizados parâmetros biométricos associados à adaptabilidade e estabilidade fenotípica dessas características. O termo adaptabilidade é relacionado com a capacidade de um genótipo a responder a um determinado ambiente, sendo considerado um bom parâmetro para recomendações específicas. Já a estabilidade é referente a capacidade de um genótipo de manter sua média independente do ambiente, ou seja, um material mais previsível (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017; SOUZA *et al.*, 2019).

Dentre os métodos utilizados para quantificar a interação GxA, destaca-se a análise AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*), baseada na estimativa dos efeitos aditivos e componentes principais para os genótipos e ambientes (ROCHA *et al.*, 2010; FARIA *et al.*, 2017). Por meio desta, é possível realizar a interpretação de gráficos de componentes principais, além de obter médias fenotípicas ajustadas baseadas na correção de ruídos. Isso possibilita aplicá-la em consonância com outros modelos, além de obter respostas tanto de interpretação ampla como específica, como é o caso do Valor de Estabilidade AMMI (ASV). Este valor é uma inferência baseada nos componentes principais fornecidos pela análise AMMI (BOCIANOWSKI; TRATWAL; NOWOSAD, 2021).

Outro método amplamente utilizado na recomendação e seleção de genótipos de cafeeiro é o Annicchiarico (1992), em que se adota um Índice de Confiança (Ii). Esse método estima o risco de recomendação de cada genótipo estudado em porcentagem, tornando-o de fácil interpretação. Adicionalmente, se faz necessário também, uma análise geral, por meio da aplicação de um teste de agrupamento de médias e a Soma de Postos do Ranqueamento (SPR), proposto por Mulamba e Mock (1978), que fornece uma informação unificada sobre o ranqueamento dos genótipos, considerando todas as características de interesse. Assim, com a finalidade de realizar uma recomendação assertiva, a utilização de vários métodos de análises de dados para compor a decisão é imprescindível para o sucesso (DIAS *et al.*, 2017).

Desse modo, objetivou-se verificar o desempenho agrônômico, adaptabilidade e estabilidade das cultivares em ambientes de cultivo na região do Sul de Minas, por meio das unidades demonstrativas, para realizar a recomendação de cultivares de café arábica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Região Sul de Minas Gerais

A região do Sul de Minas Gerais é composta por 146 municípios, sendo majoritariamente pequenos, em que a atividade agrícola é a principal fonte de renda (TOLEDO, 2019). Dentre as atividades agrícolas, destaca-se a produção de café arábica, composta em sua maioria por agricultores familiares, representando um elevado impacto socioeconômico na região, gerando uma receita de 5 bilhões de reais, anualmente (PEIXOTO *et al.*, 2017; ALVES; LINDNER, 2020). Um dos principais fatores do sucesso competitivo da região na atividade está atrelado às cooperativas, que permitiram a sustentabilidade dos pequenos produtores, por meio da difusão de tecnologias, sistemas logísticos de venda, compra de insumos e linhas de crédito (VALE; CALDERARO; FAGUNDES, 2014). Os municípios que se destacam como maiores produtores são Três Pontas, Nova Resende e Campos Gerais, respectivamente (IBGE, 2020). O município de Guaxupé, apesar de não ser um dos maiores produtores, tem relevância por ser sede da Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé (COOXUPÉ), maior cooperativa de café do país (BSCA, 2021).

Segundo a classificação de Köppen, o clima Cwa é predominante na região, com clima temperado, invernos frios e verões quentes, apresentando temperatura média anual de 21 °C. A precipitação média anual se situa entre 1350 e 1650 mm (REBOITA *et al.*, 2015).

O relevo da região é característico por apresentar certa heterogeneidade, pois, apesar da maioria dos cafezais se encontrar em colinas de topo alongada e rampa de alúvio, que impõe dificuldades no manejo mecanizado da cultura, uma parcela significativa é cultivada em áreas com aptidão para mecanização, como terraços planos e vertentes convexas (FERNANDES; ALBANEZ; RABELLO, 2021). No entanto, a cafeicultura Sul mineira é classificada como de montanha (FERREIRA *et al.*, 2012b). Ademais, devido a boa média de precipitação, a maioria das lavouras da região são cultivadas em sequeiro (BREGAGNOLI; MONTEIRO, 2013).

A região do Sul/Centro-Oeste de Minas teve uma área em produção de 538,4 mil ha e 129,5 mil ha em formação na safra de 2020, onde foram produzidos cerca de 19,15 milhões de sacas beneficiadas de café arábica, correspondendo a 55,8% da produção do estado e 39,3% da produção nacional. A produtividade média da região nas safras de 2019 e 2020 foi de 31,9 sacas ha⁻¹, enquanto a média nacional no mesmo período foi de 30,34 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2020).

Além do alto volume, a região vem aumentando também sua participação na produção de cafés especiais, devido a combinação clima, relevo e melhoria no manejo, que confere

características peculiares à bebida (BSCA, 2021). Em relação ao crescimento do setor, vale mencionar que a Associação dos Produtores de Café Especiais do Sul de Minas (APROCEM), por exemplo, já possui 105 famílias cadastradas, trabalhando diretamente com a produção de cafés especiais (APROCEM, 2021).

2.2 *Coffea arabica* L.

O café pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*, que possui 124 espécies classificadas, sendo as mais importantes comercialmente: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre (DAVIS *et al.*, 2011). A espécie *Coffea arabica* L. é uma planta arbustiva, perene, autógama, considerada de maior importância econômica, representa aproximadamente 60% da produção mundial e se destaca pela complexidade de aromas e sabores na bebida, acarretando um maior valor agregado (DAVIS *et al.*, 2019).

Possui flores completas, hermafroditas e autocompatíveis. Devido a essas características, e por apresentar cleistogamia, é considerada uma planta autógama (CARVALHO; KRUG, 1949, FERREIRA *et al.*, 2019). A espécie apresenta ciclo fenológico bienal. No primeiro ano fenológico, são formados os ramos produtivos, e as gemas axilares vegetativas, na estação chuvosa. No período de outono/inverno, com a redução do comprimento dos dias, as gemas vegetativas são induzidas a gemas reprodutivas, que por sua vez, entram em dormência devido ao déficit hídrico característico da estação. Com o reestabelecimento das condições hídricas normais e aumento do comprimento do dia, que ocorre no início da primavera, formam-se os botões florais, que após a antese, formarão o fruto. Os frutos passarão pelas fases de chumbinho, expansão e granação, até que estejam maduros e prontos para serem colhidos (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

Vale ressaltar, que a duração dessas fases fenológicas terá seus períodos determinados por fatores genéticos e ambientais, tais como a precipitação, temperatura e fotoperíodo. Sendo assim, cada cultivar de cafeeiro apresentará peculiaridades em relação a velocidade do desenvolvimento do fruto, o que permite serem classificadas em precoces, médias ou tardias (GASPARI-PEZZOPANE *et al.*, 2009).

A fenologia do cafeeiro arábica ajuda a explicar um fenômeno que é característico da cultura, a bienalidade de produção. Este fenômeno se dá pelo desequilíbrio entre fontes e drenos de energia do cafeeiro em anos de alta produção, onde a planta aloca seus recursos para produção de grãos, não investindo energia suficiente na produção de novos ramos, o que compromete a safra seguinte (ALMEIDA; SEDYAMA; DE ALENCAR, 2017). Além desse

fator, a incidência de pragas e doenças podem acentuar a bienalidade produtiva e levar o cafeeiro ao depauperamento, reduzindo a longevidade das lavouras (GUIMARÃES; MENDES; BALIZA, 2010). Por isso, o desenvolvimento de cultivares resistentes à estresses bióticos e abióticos é determinante para o sucesso da cafeicultura.

2.3 Melhoramento genético: *Coffea arabica* L.

A espécie *Coffea arabica* L. é originada do cruzamento entre *Coffea canephora* Pierre e *Coffea eugenioides*, tendo como centro de origem o sul da Etiópia, Sul do Sudão e Quênia, sendo a única alotetraploide do gênero. Após a descoberta de suas propriedades como bebida, seu cultivo foi levado para o Iêmen (Sudoeste da Ásia) e, posteriormente, para a Ilha de Bourbon (atualmente Ilha de Reunião), de onde surgiram as linhagens Típica e Bourbon, respectivamente, que deram base genética para as cultivares que foram implantadas na América Central e do Sul (MARTINS, 2012, SETOTAW *et al.*, 2013).

O principal método de melhoramento genético utilizado no cafeeiro é a hibridação. Dentre os métodos de condução da população segregante oriunda desse cruzamento, destacam-se o bulk, bulk dentro de progênies, e o genealógico. Esse último é o mais usual, em que se realiza seleção entre e dentro das progênies até que as mesmas estejam em geração mais avançada de homozigose, possuindo como vantagem o controle da genealogia, que garante maiores informações dos progenitores (CARVALHO, 2008; BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017). No entanto, ressalta-se que os melhoristas costumam utilizar variações desses respectivos métodos com a finalidade de se adequar as condições experimentais de condução e da seleção em campo (CARVALHO, 2008).

Dentre os principais objetivos, os programas de melhoramento genético buscam a melhoria de índices como: produtividade, qualidade superior de bebida, vigor vegetativo, porte reduzido, boa arquitetura de plantas, resistência a pragas e doenças, tamanho e formato dos grãos crus, uniformidade de maturação (CARVALHO, 2008; BOTELHO *et al.*, 2010; PEREIRA; BAIÃO, 2015), resposta à poda (MAIA *et al.*, 2020), eficiência para colheita mecanizada (DIAS *et al.*, 2020), eficiência nutricional (VILELA *et al.*, 2021), tolerância à déficit hídrico (SANTOS *et al.*, 2021), dentre outros.

No Brasil, as pesquisas de melhoramento genético do cafeeiro iniciaram no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em 1930, onde a obtenção de cultivares deixou de ser feita apenas pelos produtores e passou a ser direcionada para a melhoria das características

agronômicas, tendo como trunfo, o lançamento de grupos de cultivares como Catuaí e Mundo Novo, que compõem a maior parte do parque cafeeiro no país (VEIGA *et al.*, 2018).

A partir de 1970, houve uma intensificação nos programas de melhoramento, devido a chegada do fungo *Hemileia vastatrix* Berk. no Brasil, agente causal da ferrugem do cafeeiro. Assim, diversas instituições de pesquisa pública passaram a buscar cultivares resistentes a essa doença, com intuito de manter a sustentabilidade da atividade no país (PEREIRA; BAIÃO, 2015).

2.3.1 Unidades demonstrativas no melhoramento de *Coffea arabica* L.

Uma das características dos programas de melhoramento do cafeeiro em relação as demais culturas, é que são financiados pela iniciativa pública, principalmente dos países produtores. Esse fato ocorre em detrimento de fatores como o tempo investido, cerca de 20 anos para o lançamento de uma nova cultivar, além da baixa capacidade de retorno financeiro, uma vez que as características de propagação da espécie permitem que sejam produzidas mudas pelos próprios produtores (MONTAGNON; MARRACCINI; BERTRAND, 2012).

Tendo em vista essa característica, a realização de pesquisas com apoio e participação de produtores e cooperativas se torna crucial para o sucesso no desenvolvimento de novos materiais genéticos (VAN DER VOSSSEN; BERTRAND; CHARRIER, 2015). Um exemplo do apoio de produtores no melhoramento da cultura é por meio da adoção de unidades demonstrativas de cultivares nas propriedades. As unidades demonstrativas permitem a exposição dos materiais genéticos às diferentes condições de clima, solo, relevo e cultivo, em diferentes locais de uma região, o que permite uma avaliação eficaz das cultivares com base na adaptabilidade e estabilidade, além de permitir a observação direta dos cafeicultores em relação ao comportamento das cultivares (SANTOS *et al.*, 2019).

No Brasil existem 137 cultivares de café arábica registradas, as quais foram desenvolvidas principalmente nas instituições públicas, como: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Fundação PROCAFÉ, Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PARANÁ). A grande maioria dessas cultivares são portadoras de resistência à ferrugem e algumas delas resistentes a outras pragas/doenças que ameaçam a cultura do café (RNC, 2021).

2.4 Cultivares resistentes à ferrugem do cafeeiro

A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk., é a doença de maior importância para a cafeicultura, ocorrendo em todas as regiões produtoras no Brasil e no mundo. Seus danos estão associados à desfolha das plantas, que pode causar, a curto prazo, perdas na produtividade de até 50% e, a longo prazo, o depauperamento da lavoura, reduzindo sua longevidade (GUIMARÃES; MENDES; BALIZA, 2010; SAKIYAMA *et al.*, 2015; SUDHA *et al.*, 2020).

Os novos desafios impostos aos cafeicultores pelas alterações climáticas, têm dificultado o manejo da doença. Paralelo a isso, o mercado consumidor tem se mostrado cada vez mais exigente em relação à sustentabilidade da produção. Com isso, apesar de grande parte do parque cafeeiro do país ser composto por cultivares suscetíveis a doença, acredita-se que haja um movimento de mudança de paradigma dos cafeicultores em relação à adoção das novas cultivares resistentes, que tendem a ganhar cada vez mais espaço em novos plantios (VAN DER VOSSSEN; BERTRAND; CHARRIER, 2015). Isso ocorre, devido ao uso de cultivares resistentes ser a forma mais eficiente de controlar a ferrugem (ZAMBOLIM *et al.*, 2015). Ademais, as novas cultivares lançadas tendem a ser mais produtivas que as anteriores, pois, elevar a produtividade é o principal objetivo dos programas de melhoramento (CARVALHO, 2008).

A origem genética da resistência a essa doença no Brasil, vem, principalmente, dos híbridos interespecíficos entre *C. arabica* e *C. canephora*, como é o caso dos germoplasmas Híbrido de Timor e Icatu. O Híbrido de Timor foi originado por meio do cruzamento natural entre as duas espécies e identificado na Ilha de Timor, pelo Centro de Investigação de Ferrugens do Cafeeiro (CIFC) (OBERTHÜR *et al.*, 2012). Já o Icatu teve seu cruzamento artificial e seleção a partir de 1950, em que realizou-se uma hibridação entre *C. canephora* e uma planta de Bourbon Vermelho (*C. arabica* L.), e posterior seleção e retrocruzamento com a cultivar Mundo Novo, de onde selecionou-se materiais com resistência a ferrugem (CORRÊA; MENDES; BARTHOLO, 2006).

Dentre os genótipos avaliados nesse trabalho, oito deles possuem resistência a ferrugem, sendo todos oriundos do programa de melhoramento coordenado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). As cultivares Catiguá MG2, MGS Ametista, MGS Catiguá 3, MGS Paraíso 2, Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1 têm a resistência a ferrugem oriunda do Híbrido de Timor, enquanto a cultivar MGS Aranãs tem a resistência herdada dos

progenitores Icatu x Catimor e a progênie H6-47-10 pl. 3 do grupo de cultivares Catucaí (GOMES *et al.*, 2015; CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ, 2021).

Da área total destinada a cafeicultura na região do Sul de Minas Gerais, estima-se que aproximadamente 82% é destinada a cultivares do grupo Catucaí e Mundo Novo (PROCAFÉ, 2017). Porém, para que a adoção dessas cultivares seja mais ampla, é necessário que sua recomendação seja assertiva, necessitando o estudo desses materiais em ambientes distintos, a fim de compreender a interação genótipo x ambiente, que é um dos principais gargalos do melhoramento (MARIE *et al.*, 2020).

2.5 Interação Genótipo x Ambiente (GxA) e avaliação da adaptabilidade/estabilidade

A interação GxA pode ser definida como a resposta diferencial dos valores fenotípicos observados em relação aos valores esperados dos genótipos em cada ambiente (KANG, 2020). Apesar de ser indesejada pelos melhoristas, a interação GxA pode ser explorada de maneira positiva quando pode-se prever o ambiente, compondo então, uma estratégia para a recomendação de cultivares (DIAS *et al.*, 2017). A resposta do genótipo a diferentes ambientes pode ser dividida em dois tipos, previsível e imprevisível. O primeiro tipo se refere aos fatores intrínsecos ao ambiente, como solo e comprimento do dia, e também a fatores relacionados ao sistema produtivo, como manejo, densidade e época de plantio, dentre outros. O segundo tipo se refere as mudanças imprevisíveis, como regime pluviométrico, temperatura, dentre outros (ALLARD; BRADSHAW, 1964; RAMALHO *et al.*, 2012).

A interação GxA pode ser simples ou complexa, a diferença entre elas está no fato da interação complexa apresentar alteração no ranqueamento dos genótipos para cada ambiente, enquanto que na simples, esse *ranking* não altera com o ambiente (RAMALHO *et al.*, 2012). Diante do exposto, a implantação de experimentos em vários ambientes em condições de campo é uma das formas mais eficientes de classificar e quantificar a interação GxA e realizar uma recomendação segura de cultivares de café (MONTAGNON *et al.*, 2012).

Testar os materiais selecionados em diferentes locais é imprescindível para conhecer a interação GxA, e por meio desses estudos, fornecer informações técnicas suficientes para sua recomendação (PINTO *et al.*, 2012). Para quantificar essa interação, são utilizados parâmetros biométricos de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos. Adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos em responderem positivamente a um ambiente. Já a estabilidade refere-se à capacidade de obter um comportamento previsível em função das variações ambientais (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Para a cafeicultura, existem diversas metodologias que avaliam a adaptabilidade e estabilidade (DIAS *et al.*, 2017). As diferenças entre essas metodologias estão no conceito e no método estatístico empregado, podendo ser por regressão linear simples e múltipla, análise não paramétrica, dentre outros (NASCIMENTO *et al.*, 2010). De maneira geral, a melhor metodologia será aquela capaz de fornecer maior confiabilidade e fácil interpretação dos resultados (SCHMILDT; CRUZ, 2005). Vale ressaltar também, a importância de uma análise que seja capaz de identificar adaptabilidade específica de genótipos para ambientes específicos, a fim de capitalizar essa interação a favor da recomendação (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017; SOUZA *et al.*, 2019).

Uma metodologia amplamente utilizada para a avaliação de adaptabilidade e estabilidade em diversas culturas é a AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*), que se baseia na estimativa dos efeitos principais aditivos, para genótipos e ambientes pela análise de variância, e dos efeitos da interação pela análise dos componentes principais (ROCHA *et al.*, 2010). É considerada uma análise que fornece dados de fácil interpretação, além de permitir a visualização gráfica, inferir a estabilidade fenotípica e a adaptabilidade específica de cultivares nos ambientes (FARIA *et al.*, 2017).

Se tratando da estabilidade, uma das formas de interpretá-la por meio da dispersão dos genótipos em relação aos componentes principais, é o Valor de Estabilidade AMMI (ASV). Uma vez que o IPCA1 é o componente que mais contribui para a soma de quadrados da interação GxA, o ASV faz uma ponderação entre o efeito do IPCA1 e IPCA2 em relação a origem, portanto, genótipos que apresentam baixo ASV contribuem menos para essa interação, implicando em maior estabilidade (PURCHASE; HATTING; VAN DEVENTER, 2000; BOCIANOWSKI; TRATWAL; NOWOSAD, 2021). Já a adaptação específica é inferida por meio da proximidade dos vetores ambiente e genótipo na dispersão gráfica (BOCIANOWSKI; TRATWAL; NOWOSAD, 2021).

Outra metodologia que apresenta resultados de fácil interpretação e confiabilidade é a proposta por Annicchiarico (1992), que adota um Índice de Confiança (Ii). Esse método utiliza a transformação das médias de cada genótipo, em cada ambiente, e estima o risco de recomendação de cada genótipo estudado em porcentagem. Esse método possibilita incluir genótipos de baixa estabilidade com o objetivo de identificar genótipos de adaptabilidade específica (RAMALHO *et al.*, 2012). Além do Ii, Schimltd e Cruz (2005) propuseram uma decomposição do método proposto por Annichiarico (1992), por meio da média dos genótipos em cada ambiente, realizando a diferença em relação à média geral. Dessa forma, pode-se separar os ambientes em favoráveis (Iif) e desfavoráveis (Iid). Essa estratificação dos ambientes

permite um estudo pormenorizado da adaptabilidade de genótipos recomendados de acordo com o nível tecnológico do ambiente.

Apesar de indispensáveis para a recomendação de cultivares, as ferramentas biométricas disponíveis devem ser interpretadas sempre em consonância com as observações realizadas em loco, de modo a escolher os índices que mais se adequam à realidade. Ademais, deve-se evitar levar em consideração apenas estabilidade ou adaptabilidade na tomada de decisão, para que a mesma não seja errônea (DIAS *et al.*, 2017).

2.6 Adaptabilidade e estabilidade para a recomendação de cultivares de cafeeiro

O estudo de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade é de suma importância para que se entenda essa interação desses caracteres de modo a assegurar uma tomada de decisão adequada para a recomendação de genótipos. Isso se dá, pois a recomendação de cultivares é um dos gargalos do melhoramento genético do cafeeiro devido à dificuldade de se prever o comportamento da cultivar em ambiente específico, como mencionado anteriormente. Já existem diversas cultivares altamente produtivas, com resistência a ferrugem, nematoides, dentre outros, que têm potencial para aumentar a lucratividade da propriedade e reduzir o impacto ambiental na cafeicultura (VAN DER VOSSSEN; BERTRAND; CHARRIER, 2015). Esses autores apontam, dentre outros motivos, o desconhecimento dos cafeicultores e a desconfiança dos mesmos em relação ao desempenho produtivo e de qualidade de bebida, como um empecilho para a difusão dessas novas cultivares.

O fato do cafeeiro ser uma planta perene, aumenta a importância de se recomendar a cultivar corretamente, tendo em vista que a lavoura perdurará por vários anos na área. Porém, a dificuldade na recomendação refere-se à cultura apresentar forte interação dos genótipos com os ambientes, devido aos caracteres de interesse serem complexos, como por exemplo: produtividade, qualidade de bebida e vigor vegetativo (GICHIMU; OMONDI, 2010; PEDRO *et al.*, 2011; MONTAGNON; MARRACCINI; BERTRAND, 2012).

Dentre os caracteres citados, a produtividade é considerada o principal fator para seleção e recomendação de cultivares de café, visto que está diretamente ligada ao retorno financeiro dos produtores (CILAS; MONTAGNON; BAR-HEN, 2011; GICHIMU; OMONDI, 2010; PEDRO *et al.*, 2011). Entretanto, utiliza-se também como critério de seleção e recomendação, o vigor vegetativo, por estar correlacionado positivamente com a adaptação do genótipo ao ambiente, refletindo a sanidade e potencial produtivo da planta (SEVERINO *et al.*, 2002; PETEK *et al.*, 2006).

Dentre as formas de avaliar o vigor vegetativo, possui a atribuição de nota visual, descrita por Carvalho *et al.* (1979), que apesar de muito difundida, essa análise isolada pode ser considerada subjetiva. Assim, há a necessidade de utilizar ferramentas que possam contribuir com a estimativa dessa característica. Dentre elas, existem as ferramentas de sensoriamento remoto, que fornecem índices de vegetação baseadas na refletância de ondas, incidida no dossel das plantas. Esses índices fornecem informações ligadas a parâmetros bioquímicos relacionados com o desenvolvimento e fisiologia da planta, possibilitando informações correlacionadas ao vigor vegetativo (ABDEL-RAHMANH; AHMED, 2008; MARTINS; DE GALO, 2015; CARNEIRO *et al.*, 2019).

Diante dos índices existentes, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) é um dos mais utilizados na agricultura e é baseado na razão entre a diferença e a soma da refletância de ondas infravermelho próximo (770 nm) e vermelho (660 nm), respectivamente (ROUSE *et al.*, 1973). A principal inferência que se tem, por meio desse índice, é referente ao teor de clorofila nas folhas, visto que esse pigmento absorve a radiação no comprimento de onda do vermelho. Portanto, quanto maior o teor na folha, menor será a refletância do comprimento de onda na região do vermelho, resultando em maior índice NDVI (ALVES; SILVA, 2013). Para o cafeeiro, estudos apontaram uma correlação positiva desse índice com vigor vegetativo, enfolhamento, altura de planta e produtividade, sendo considerada uma ferramenta de baixo custo e de fácil utilização para auxiliar em tomadas de decisão relacionadas a esses parâmetros (SILVA, 2019; MENICUCCI NETTO, 2021).

Por muito tempo o melhoramento genético do cafeeiro deu ênfase apenas nos aspectos de produtividade, vigor e resistência, porém, com a crescente demanda por cafés com qualidade superior de bebida, fez com que essa variável se tornasse crucial para a seleção e recomendação de cultivares (MONTAGNON; MARRACCINI; BERTRAND, 2012). Esse aumento na demanda está atrelado às mudanças nos hábitos de consumo de café no Brasil e no mundo, intensificando a busca por cafés especiais, e tornou a qualidade um diferencial competitivo para os produtores do grão no país (FERREIRA *et al.*, 2012a). Essa modificação no hábito de consumo é uma das características da terceira onda de consumo do café, em que os consumidores, além de qualidade, procuram conhecer a origem do produto, a forma com que é produzido, processado, preparado, dentre outros fatores (GUIMARÃES; CASTRO JUNIOR; ANDRADE, 2016).

Vários trabalhos enfatizam o genótipo como um pilar relevante na determinação da qualidade do café (FASSIO *et al.*, 2019), juntamente com o ambiente em que esses genótipos são cultivados (RIBEIRO *et al.*, 2016) e os processos de pós-colheita adequados (BARBOSA

et al., 2019). Somando-se a uma boa qualidade sensorial, há também uma demanda por cafés com características físicas desejáveis, como tamanho e formato dos grãos, que além de maior rendimento do café beneficiado, conferem melhor aspecto físico aos lotes (NADALETI *et al.*, 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados em dezembro de 2016, em 12 ambientes localizados em propriedades particulares de diferentes municípios situados na região Sul de Minas Gerais (TABELA 1).

Tabela 1 – Ambientes de instalação do experimento, localizados na região Sul de Minas Gerais, Brasil e os respectivos espaçamentos de plantio.

Municípios	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Espaçamento (m)	Estande (pl. ha ⁻¹)
Alpinópolis	1100	20°57'51.3"S	46°27'38.2"W	3,3 x 0,7	4329
Botelhos	1030	21°37'40.4"S	46°23'00.2"W	3,0 x 0,8	4167
Cabo Verde	1050	21°25'51.3"S	46°21'34.1"W	3,3 x 0,7	4329
Campestre	1165	21°43'28.2"S	46°13'53.6"W	3,7 x 0,7	3861
Campos Gerais	780	21°11'21.6"S	45°53'40.6"W	3,5 x 0,8	3571
Carmo do Rio Claro	836	21°01'02.0"S	46°04'40.3"W	3,5 x 0,7	4081
Conceição da Aparecida	910	21°05'52.2"S	46°14'15.1"W	3,5 x 0,6	4761
Guaxupé	870	21°18'08.2"S	46°45'08.8"W	3,9 x 0,6	4273
Monte Belo	920	21°22'0.49"S	46°20'08.0"W	3,5 x 0,8	3571
Muzambinho	1106	21°22'30.2"S	46°28'17.7"W	3,5 x 0,7	4081
Nova Resende	1170	21°05'42.4"S	46°27'12.1"W	3,5 x 0,7	4081
São Pedro da União	1104	21°09'46.2"S	46°35'42.9"W	3,5 x 0,8	3571

Fonte: Do autor (2021).

Foram utilizados dez genótipos, sendo eles: sete cultivares resistentes à ferrugem (Catiguá MG2, MGS Ametista, MGS Aranãs, MGS Catiguá 3, MGS Paraíso 2, Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1), uma progênie resistente à ferrugem (H6-47-10 pl. 3), estando essa progênie em fase final de lançamento como cultivar (Catucaí Pioneira), e as cultivares Bourbon Amarelo IAC J10 e Catuaí Vermelho IAC 99, como testemunhas de qualidade bebida e produtividade, respectivamente (TABELA 2). Cada genótipo constituiu uma parcela experimental contendo 200 plantas na média, em cada ambiente, ou seja, um ensaio multiambiental sem repetição. O manejo de cada ambiente foi de acordo com o padrão adotado pela propriedade.

Tabela 2 – Genótipos avaliados e suas respectivas origens genéticas.

Nº	Genótipos	Genealogia ¹
1	Bourbon A. IAC J10	Bourbon V. e Amarelo de Botucatu
2	Catiguá MG2	Catuaí A. IAC 86 e Híbrido de Timor UFV 440-10
3	Catuaí V. IAC 99	Caturra A. IAC 476-11 e a lin. CP 374-19 de Mundo Novo
4	H6-47-10 pl. 3	Icatu e Catuaí*
5	MGS Ametista	Catuaí A. IAC 86 e Híbrido de Timor UFV 446-08
6	MGS Aranãs	Icatu V. IAC 3851-2 e Catimor UFV 1603-215
7	MGS Catiguá 3	Catuaí A. IAC 86 e Híbrido de Timor UFV 440-10
8	MGS Paraíso 2	Catuaí A. IAC 30 e Híbrido Timor UFV 445-46
9	Paraíso MG H419-1	Catuaí A. IAC 30 e Híbrido Timor UFV 445-46
10	Pau Brasil MG1	Catuaí V. IAC 15 e Híbrido Timor UFV 442-34

¹A: Amarelo; V: Vermelho; *Cruzamento natural.

Fonte: Do autor (2021).

3.1 Variáveis analisadas

- a) Produtividade: Foi avaliada em sacas de 60 kg de café beneficiado no biênio 2019 e 2020, com base no rendimento de cada genótipo e estande de cada ambiente. Para a obtenção do rendimento foi retirada uma amostra de cinco litros do café colhido de cada genótipo, que foi secada ao sol até atingir 11% de teor de água e posteriormente beneficiada e pesada.
- b) Vigor vegetativo: A nota de vigor seguiu a metodologia proposta por Carvalho *et al.* (1979), na qual, três avaliadores atribuíram notas conforme escala arbitrária de 10 pontos, em que a nota 0 refere-se às piores plantas, com baixo vigor vegetativo e depauperamento acentuado e a nota 10 para plantas extremamente vigorosas, enfolhadas e alto crescimento de ramos produtivos. Foram realizadas duas avaliações nos períodos pós-colheita de 2019 e 2020.
- c) Foi aferido com a utilização do aparelho GreenSeeker portátil. Foram amostradas três plantas ao acaso para cada genótipo. O aparelho foi posicionado a 80 cm do dossel das plantas, perpendicularmente ao eixo do ramo ortotrópico da planta para a aferição. Foram realizadas duas avaliações nos períodos pós-colheita de 2019 e 2020.
- d) Avaliação sensorial da bebida: Para essa avaliação foi realizada a colheita seletiva de frutos maduros, compondo amostras de 10 litros de cada genótipo e em cada ambiente. Foi utilizado o processamento de pós-colheita via seca (Natural), no qual imediatamente após a colheita, os frutos foram lavados para separação e remoção dos frutos de menor densidade que boiarem na água, como os chochos, mal granados, passas, secos e

também as impurezas. Depois de padronizadas, as amostras foram direcionadas para a secagem a pleno sol em telas suspensas a um metro do solo, a fim de favorecer a circulação de ar na massa de grãos. Os frutos foram dispostos em camada delgada (14 litros/m²) nos primeiros dias de secagem e foram aplicadas as técnicas de dobras de camada e revolvimento constante até os grãos atingirem 11% de teor de água.

Depois de secas, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel kraft, revestidas por um saco plástico, e armazenadas por 30 dias em câmara fria com temperatura controlada em 16° C, com intuito de uniformizar o teor de água nos grãos. Decorrido este período, foi realizado o beneficiamento das amostras e as mesmas foram acondicionadas novamente em sacos plásticos impermeáveis até o momento das avaliações.

As amostras foram padronizadas com grãos de peneira 16 e acima, livre de defeitos extrínsecos e intrínsecos, sendo torradas de acordo com o protocolo proposto pela *Specialty Coffee Association* – SCA (LINGLE, 2011) cuja coloração indicada é de #55 a #65 para grãos inteiros na escala Agtron, em um período de torra entre 8 e 12 minutos. Para a análise sensorial adotou-se o mesmo protocolo, no qual foram avaliadas cinco xícaras por amostra, por três juízes Q-graders credenciados. O protocolo consta de dez atributos sensoriais, sendo eles: fragrância/aroma, sabor, finalização, acidez, corpo, balanço e geral, os quais são avaliados com notas entre 6 a 10 pontos cada e, os atributos uniformidade, doçura e xícara limpa, aos quais são atribuídos 2 pontos por xícara ausente de defeitos, uniforme e com doçura mínima equivalente à concentração de 0,5% m/v de sacarose. A nota total foi obtida por meio do somatório das pontuações dos dez atributos mencionados. Foi realizada uma avaliação em 2020.

e) Avaliação granulométrica: Para a avaliação da granulometria (tamanho e formato dos grãos), foi adotada uma amostra de 300 gramas de grão cru beneficiado, ausente de impurezas e de grãos quebrados. Cada amostra foi passada por um conjunto de peneiras de crivos circulares (19/64 a 12/64 para grãos chatos) e de crivos oblongos (13/64 a 08/64 para grãos moca) de acordo com a Instrução Normativa nº 8 do MAPA (BRASIL, 2003). Foram somados os pesos dos grãos retidos nas peneiras para grãos moca (% moca) e 16 acima (PA) (19, 18, 17 e 16/64), seguido da conversão para porcentagem. Foi realizado uma avaliação em 2020.

3.2 Análises estatísticas

Para a análise dos dados foi utilizado o método de análise multivariada AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*), descrito por Gauch e Zobel (1988) para avaliar a adaptabilidade e estabilidade em ensaios multiambientais sem repetição (SANTOS *et al.*, 2019) seguindo o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{c=1}^q \sqrt{(\lambda_c \alpha_{ic} \gamma_{jc})} + \delta_{ij} + e_{ij} \quad (1)$$

Em que:

Y_{ij} : média da característica avaliada da progênie i no ambiente j ; μ : média geral da característica; g_i : efeito do genótipo i ; a_j : efeito do ambiente j ; λ_c : autovalor do c -ésimo componente principal relacionado a interação $G \times A$; α_{ic} : autovetor do c -ésimo componente principal relacionado ao genótipo i ; γ_{jc} : autovetor do c -ésimo componente principal relacionado ao ambiente j ; n : número de eixos da ACP retidos no modelo; δ_{ij} : resíduo não explicado pelos componentes principais; e_{ij} : erro experimental considerado independente e normalmente distribuído, com média zero e variância constante.

Com os escores fornecidos pela AMMI, foi calculado o valor de estabilidade AMMI (ASV), descrito por Purchase, Hatting e Van Deventer (2000), por meio da expressão:

$$ASV = \sqrt{\left[\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}} (IPCA1) \right]^2 + (IPCA2)^2} \quad (2)$$

Em que:

SS_{IPCA1} : Soma dos quadrados do IPCA1; SS_{IPCA2} : Soma dos quadrados do IPCA2; IPCA1 e IPCA2: Escores do genótipo fornecido pelo modelo AMMI.

As médias fenotípicas ajustadas baseadas na correção de ruídos feita pela análise AMMI foram submetidas ao teste de agrupamento de médias Scott-Knott a 5% de significância. De posse dos dados corrigidos pela análise AMMI, realizou-se as análises de estabilidade e adaptabilidade.

Calculou-se a Soma de Postos do Ranqueamento (SPR), de acordo com Mulamba e Mock (1978), por meio da seguinte expressão:

$$SPR_{ij} = P_{prod.} + P_{vigor} + P_{NDVI} + P_{nst} + P_{16} + P_{moca} \quad (3)$$

SPRij: Soma de Postos do Ranqueamento do genótipo i no ambiente j; P_{prod}: Posto obtido para o caráter produtividade; P_{vigor}: Posto obtido para o caráter nota de vigor; P_{NDVI}: Posto obtido para o caráter NDVI; P_{nst}: Posto obtido para o caráter nota sensorial total; P₁₆: Posto obtido para o caráter porcentagem de grãos retidos em peneira 16 e acima; P_{moca}: Posto obtido para o caráter porcentagem de grãos moca.

Foi obtido por meio do modelo univariado proposto por Annicchiarico (1992), o índice de confiança I_i de acordo com o seguinte estimador:

$$I_i = p_i - Z_{(1-\alpha)} s_i \quad (4)$$

Em que:

I_i: índice de confiança (%); p_i: média da cultivar i em percentagem; Z_(1-α): valor na distribuição normal estandardizada no qual a função de distribuição acumulada atinge o valor percentil (1-α). s_i: desvio padrão dos valores percentuais.

Além do I_i proposto por Annicchiarico (1992), foi realizada a estratificação entre ambientes favoráveis e desfavoráveis, de acordo com metodologia proposta por Schimltid e Cruz (2005), por meio do índice ambiental, que é definido como a diferença entre a média dos genótipos avaliados em cada ambiente e a média geral. Dessa forma, considerando ainda ambientes favoráveis aqueles com índices maiores ou iguais a zero, e ambientes desfavoráveis aqueles com índices negativos. Após a distinção dos ambientes, foi calculado o I_i para cada um dos grupos de ambientes (favoráveis e desfavoráveis).

Com as médias ajustadas pela AMMI, também foi realizada a análise gráfica de componentes principais (IPCA1 vs IPCA2) para produtividade e qualidade sensorial de bebida.

Com a finalidade de elucidar a interação entre os métodos estatísticos para a produtividade, realizou-se o ranqueamento dos genótipos para os métodos ASV, I_i, I_i(+), I_i(-) e Scott-Knott para produtividade. Para o ASV, os genótipos foram ranqueados de acordo com a proximidade de zero. Para os demais métodos os ranqueamentos foram de acordo com os maiores índices. A média desse ranqueamento foi utilizada para estimar a correlação de Pearson entre os métodos.

Todas as análises foram realizadas por meio do software GENES (CRUZ, 2013) em conjunto com a plataforma R (R CORE TEAM 2021).

4 RESULTADOS

Observou-se por meio da análise AMMI (TABELA 3), uma diferença significativa entre os genótipos, entre os ambientes e para a interação (GxA) para todas variáveis analisadas ($p < 0,01$).

Vale ressaltar, que entre as médias fenotípicas observadas, as que tiveram a maior porcentagem da variação atribuída ao genótipo foram vigor vegetativo e peneira alta, com 32,14 e 33,91% da soma dos quadrados, respectivamente. Em relação ao ambiente, as variações mais elevadas foram encontradas para produtividade, NDVI e nota total SCA, onde se observou 65,53, 50,04 e 32,39% da soma dos quadrados, respectivamente. Para a interação GxA houve maior variação para porcentagem de grãos moca, com 26,91%. No entanto, o fato de haver interação GxA significativa para todas características justificou o estudo por meio de parâmetros biométricos de adaptabilidade e estabilidade.

Tabela 3 – Análise de variância e decomposição pelo método AMMI para produtividade (Prod.), vigor vegetativo (Vigor), NDVI, nota total SCA (Nota SCA), porcentagem de peneira alta (PA) e porcentagem de grãos moca (%moca), dos 10 genótipos nos 12 ambientes avaliados.

FV	GL	% Soma dos Quadrados					
		Prod.	Vigor	NDVI	Nota SCA	PA	% moca
G	9	6,97**	32,14**	4,14**	4,40**	33,91**	22,39**
A	11	65,53**	21,95**	50,04**	32,39**	23,54**	22,65**
GxA	99	13,47	22,48	22,44	30,95	20,84	26,91
PC 1:3	51 ^{1/}	8,99**	15,93**	16,99**	26,94**	16,05**	19,48**
Erro	286	14,03	23,43	23,38	32,25	21,72	28,04

** Significativo a 1% pelo teste F. ^{1/} aproximação de Gollob

Fonte: Do autor (2021).

O primeiro parâmetro analisado por meio das médias ajustadas fornecidas pela AMMI foi o índice de confiança (Ii) geral proposto por Annichiarico (1992) (TABELA 4). Segundo o Ii, genótipos com valores iguais ou superiores a 100% são considerados seguros para a recomendação.

Por meio do Ii identificou-se quatro genótipos que apresentaram maior segurança de recomendação em relação a produtividade, sendo eles: H6-47-10 pl.3, MGS Ametista, MGS Aranãs e MGS Paraíso 2. Em relação ao vigor vegetativo, os genótipos mais seguros foram Catiguá MG2, MGS Ametista, MGS Aranãs, MGS Paraíso 2 e Pau Brasil MG1. Já para o NDVI, observou-se as cultivares Catiguá MG2 e MGS Aranãs, com maior segurança.

Em relação a nota total SCA, os melhores desempenhos foram das cultivares Catiguá MG2 e Pau Brasil MG1. Considerando a porcentagem de peneira alta, os genótipos Catuaí Vermelho IAC 99, MGS Ametista, MGS Aranãs, MGS Catiguá 3, MGS Paraíso 2 e H6-47-10 pl.3 tiveram o melhor desempenho. Para porcentagem de grãos moca, a interpretação é inversa das demais características, uma vez que, quanto maior a porcentagem, pior será o desempenho e, com isso, os genótipos superiores foram Bourbon Amarelo IAC J10, Catuaí Vermelho IAC 99, MGS Ametista, MGS Aranãs, MGS Paraíso 2 e H6-47-10 pl.3.

Tabela 4 – Estimativa do índice de confiança (Ii) para as variáveis produtividade (Prod.), vigor vegetativo (Vigor), NDVI, nota total SCA (Nota SCA), porcentagem de peneira alta (PA) e porcentagem de grãos moca (%moca), segundo Annichiarico (1992).

Genótipos	Prod.	Vigor	NDVI	Nota SCA	PA	% moca
Bourbon A. IAC J10	69,26	72,79	91,92	97,93	97,13	81,73
Catiguá MG2	92,30	104,16	100,49	100,42	83,37	120,27
Catuaí V. IAC 99	91,53	88,43	98,27	99,55	101,71	64,14
H6-47-10 pl. 3	106,74	93,01	94,91	98,72	101,21	79,64
MGS Ametista	104,63	101,63	93,98	99,36	104,51	79,24
MGS Aranãs	104,31	108,86	103,01	98,44	103,21	81,37
MGS Catiguá 3	97,84	98,53	94,11	98,61	100,72	106,73
MGS Paraíso 2	106,97	100,47	98,82	98,69	103,33	79,05
Paraíso MG H419-1	65,16	94,19	97,55	99,03	93,79	100,80
Pau Brasil MG1	82,50	100,86	96,94	100,13	84,14	110,30

*Nível de significância adotado = 0,25

Fonte: Do autor (2021).

Com a finalidade de pormenorizar os resultados e utilizar a interação a favor da recomendação, realizou-se a análise adaptada do modelo proposto por Annichiarico (1992), proposta por Schmildt e Cruz (2005), onde se classificou os ambientes entre favoráveis (valores positivos) e desfavoráveis (negativos) para as variáveis em estudo (TABELA 5). Quanto maior o valor do índice ambiental, melhor foram as condições do ambiente para o desempenho das cultivares nas respectivas características.

Em relação ao índice de confiança (Ii) aplicado, as médias dos ambientes classificados como favoráveis e desfavoráveis (TABELA 6), observou-se que, para a produtividade, os genótipos MGS Ametista e MGS Aranãs tiveram Ii acima de 100 para os dois grupos ambientais. No entanto, os genótipos H6-47-10 pl.3 e MGS Paraíso 2 apresentaram Ii adequados apenas para ambientes desfavoráveis, 117,33 e 116,22, respectivamente.

Para vigor vegetativo, os resultados foram próximos do observado no Ii geral, com exceção ao MGS Paraíso 2, que obteve Ii satisfatório apenas no grupo de ambientes favoráveis.

No NDVI, em detrimento do Ii geral, os genótipos Catiguá MG2 e MGS Paraíso 2 apresentaram desempenho satisfatório apenas em ambientes favoráveis.

De acordo com o Ii geral, a variação da nota total SCA para os ambientes foi notada nos genótipos Bourbon Amarelo IAC J10 e Catuaí Vermelho IAC 99, com desempenho adequado apenas no grupo de ambientes favoráveis. O genótipo Catiguá MG2 apesar de estar entre os recomendados no Ii geral, na estratificação ele se mostra mais seguro em relação a ambientes favoráveis. Enquanto o Pau Brasil MG1 foi o único que apresentou Ii acima de 100 (100,70), para essa característica, em ambientes desfavoráveis. Apesar dessa distinção entre os genótipos na decomposição entre ambientes favoráveis e desfavoráveis, de modo geral, todos apresentaram Ii próximos de 100 para nota total SCA, independente da classificação ambiental.

As mudanças em relação ao Ii geral para porcentagem de peneira alta ocorreram com o MGS Catiguá 3, que apresentou Ii adequado apenas para ambientes desfavoráveis. E as mudanças em relação a porcentagem de grãos moca, foram com os genótipos Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1, que tiveram Ii menores que 100 em ambientes favoráveis.

Tabela 5 – Estimativa de Índice Ambiental para as variáveis para as variáveis produtividade (Prod.), vigor vegetativo (Vigor), NDVI, nota total SCA (Nota SCA), porcentagem de peneira alta (PA) e porcentagem de grãos moca (%moca segundo Annichiarico (1992).

Ambientes	Produtividade	Vigor	NDVI	Nota (SCA)	PA	% moca
Alpinópolis	20.58	0.78	-0.02	-0.45	2.45	-0.58
Botelhos	7.24	0.00	0.09	0.77	5.75	-1.88
Cabo Verde	23.10	-0.44	0.01	1.14	-0.75	1.23
Campestre	0.92	0.41	0.08	1.24	-1.35	-2.58
Campos Gerais	-7.68	-0.06	0.04	0.43	-5.85	1.53
Carmo do Rio Claro	-8.61	-0.73	-0.01	1.06	-3.75	-0.78
Conceição da Aparecida	10.34	0.50	0.03	0.29	1.15	0.73
Guaxupé	-14.52	-0.63	-0.13	-1.43	1.35	1.03
Monte Belo	-8.18	0.41	0.06	0.27	-7.05	2.93
Muzambinho	1.24	-0.29	-0.02	0.68	3.65	-1.98
Nova Resende	-14.70	0.02	-0.12	-4.14	7.55	-2.78
São Pedro da União	-9.69	0.02	-0.02	0.15	-3.15	3.13

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 6 – Análise do índice de confiança (Ii) para ambientes favoráveis (+) e desfavoráveis (-), para as variáveis, segundo Annichiarico (1992), adaptado por Schmildt e Cruz (2005).

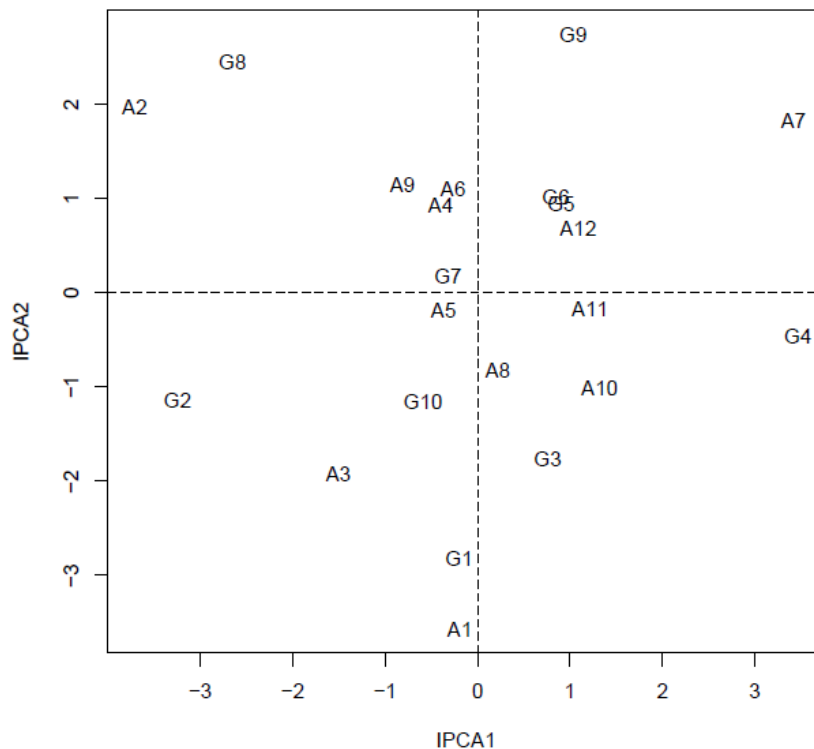
Genótipos	Prod.		Vigor		NDVI		Nota SCA		PA		% moca	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Bourbon Amarelo IAC J10	76,97	65,29	74,54	70,24	90,97	92,98	100,02	93,98	98,42	95,51	91,24	75,00
Catiguá MG2	91,19	93,09	104,13	104,34	102,33	99,04	100,75	99,73	87,24	80,47	118,49	123,06
Catuaí Vermelho IAC 99	91,73	90,96	89,03	87,10	99,41	97,44	100,13	98,43	100,09	105,59	81,83	50,85
H6-47-10 pl. 3	97,74	117,33	93,01	92,27	94,89	94,61	99,09	97,86	100,69	101,87	82,25	77,05
MGS Ametista	100,46	110,50	100,98	102,21	89,89	99,72	99,59	99,81	104,05	105,89	80,36	78,84
MGS Aranãs	100,21	110,04	110,14	107,03	102,66	103,71	99,24	96,71	102,39	105,68	91,22	73,03
MGS Catiguá 3	98,05	97,56	98,88	98,00	93,33	94,73	98,80	99,13	99,58	103,95	102,82	111,89
MGS Paraíso 2	98,72	116,22	101,55	98,81	100,74	97,37	99,55	96,83	105,10	102,24	81,49	76,13
Paraíso MG H419-1	72,46	59,17	94,73	93,27	97,87	97,43	99,14	98,89	96,40	92,13	99,22	103,88
Pau Brasil MG1	87,63	79,99	100,24	101,65	96,98	96,77	100,48	100,70	90,81	80,70	99,79	122,91

Fonte: Do autor (2021).

Realizou-se a análise de dispersão gráfica por meio dos dois primeiros componentes principais (IPCA1 e IPCA2) fornecidos pela análise AMMI para as duas principais características avaliadas e consideradas na recomendação. Produtividade e nota total SCA, as quais tiveram esses componentes representando 52,05 e 72,58% respectivamente, da variação da interação.

Na Figura 1, pode-se observar as seguintes adaptabilidades específicas entre genótipos e ambientes para produtividade: Bourbon Amarelo IAC J10 (G1) com Alpinópolis (A1); MGS Paraíso 2 (G8) com Botelhos (A2); MGS Ametista (G5) e MGS Aranãs (G6) com São Pedro da União (A12). O genótipo MGS Catiguá 3 (G7) foi o que apresentou menor distância em relação a origem, podendo ser considerado o genótipo mais estável para essa característica.

Figura 1 – Gráfico IPCA1 vs IPCA2 (52,05) de acordo com a análise AMMI para produtividade média.

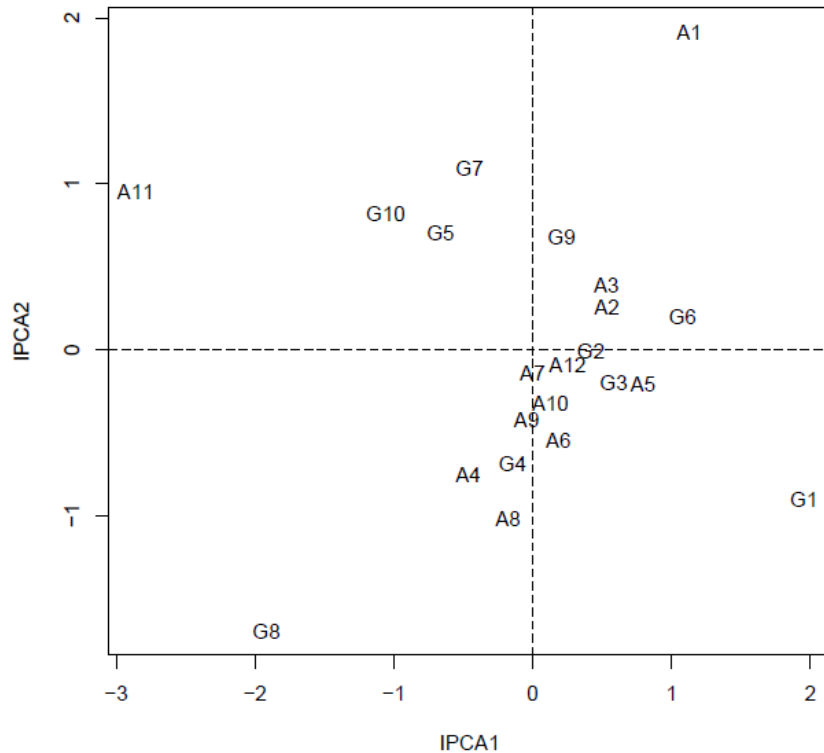


A1: Alpinópolis; A2: Botelhos; A3: Cabo Verde; A4: Campestre; A5: Campos Gerais; A6: Carmo do Rio Claro; A7: Conceição da Aparecida; A8: Guaxupé; A9: Monte Belo; A10: Muzambinho; A11: Nova Resende; A12: São Pedro da União. G1: Bourbon Amarelo IAC J10; G2: Catiguá MG2; G3: Catuaí Vermelho IAC 99; G4: H6-47-10 pl.3; G5: MGS Ametista; G6: MGS Aranãs; G7: MGS Catiguá 3; G8: MGS Paraíso 2; G9: Paraíso MG H419-1; G10: Pau Brasil MG1.

Fonte: Do autor (2021).

Para nota total SCA, a análise gráfica (Figura 2) identificou interação específica entre Catuaí Vermelho IAC 99 (G3) e Campos Gerais (A5). O genótipo Catiguá MG2 (G2) foi o mais próximo da origem, se mostrando o mais estável para esta característica.

Figura 2 – Gráfico IPCA1 vs IPCA2 (72,58) de acordo com a análise AMMI para nota total SCA.



A1: Alpinópolis; A2: Botelhos; A3: Cabo Verde; A4: Campestre; A5: Campos Gerais; A6: Carmo do Rio Claro; A7: Conceição da Aparecida; A8: Guaxupé; A9: Monte Belo; A10: Muzambinho; A11: Nova Resende; A12: São Pedro da União. G1: Bourbon Amarelo IAC J10; G2: Catiguá MG2; G3: Catuaí Vermelho IAC 99; G4: H6-47-10 pl.3; G5: MGS Ametista; G6: MGS Aranãs; G7: MGS Catiguá 3; G8: MGS Paraíso 2; G9: Paraíso MG H419-1; G10: Pau Brasil MG1.

Fonte: Do autor (2021).

A partir dos escores dos IPCAs fornecidos pela análise AMMI, observa-se o valor de estabilidade (ASV) (TABELA 7). Valores de ASV mais próximos de zero indicam a estabilidade fenotípica dos genótipos e valores mais altos indicam que o genótipo pode ser mais responsivo em alguns ambientes específicos. Para a produtividade, o genótipo mais estável foi o MGS Catiguá 3, enquanto que os genótipos H6-47-10 pl. 3 e MGS Paraíso 2 tiveram os maiores valores, indicando que podem ser mais responsivos a variação ambiental.

Para o vigor vegetativo, o mais estável foi o Catiguá MG2 e o mais responsivo foi o H6-47-10 pl. 3. Para o NDVI, todos genótipos se mostraram estáveis, no entanto, destaca-se que o MGS Aranãs foi o mais estável e o MGS Ametista o mais responsivo.

Em relação a nota total SCA, a maior estabilidade foi do genótipo H6-47-10 pl.3, e as maiores respostas em ambientes específicos foram dos genótipos Bourbon Amarelo IAC J10 e MGS Paraíso 2. Já para a porcentagem de peneira alta, o genótipo MGS Ametista foi o mais estável ao passo que o Bourbon Amarelo IAC J10 foi o mais responsivo. Para a porcentagem

de grãos moca, os mais estáveis foram Pau Brasil MG1 e Catuaí Vermelho IAC 99, ressaltando-se que a interpretação dessa característica é inversa das demais, uma vez que valores elevados são indesejados.

Tabela 7 – Valor de estabilidade AMMI (ASV) para as variáveis produtividade (Prod.), vigor vegetativo (Vigor), NDVI, nota total SCA (Nota SCA), porcentagem de peneira alta (PA) e porcentagem de grãos moca (%moca).

Genótipo	Prod.	Vigor	NDVI	Nota (SCA)	PA	% moca
Bourbon Amarelo IAC J10	2,83	1,11	0,14	4,81	4,54	1,07
Catiguá MG2	4,29	0,28	0,26	1,01	3,50	1,45
Catuaí Vermelho IAC 99	2,02	1,12	0,14	1,42	2,18	2,40
H6-47-10 pl. 3	4,44	1,52	0,44	0,77	2,13	1,30
MGS Ametista	1,49	1,16	0,78	1,75	0,78	1,26
MGS Aranãs	1,48	1,23	0,05	2,62	1,41	2,03
MGS Catiguá 3	0,45	0,45	0,27	1,55	1,91	0,97
MGS Paraíso 2	4,18	0,79	0,26	4,94	0,98	1,83
Paraíso MG H419-1	3,05	0,47	0,12	0,85	1,27	0,96
Pau Brasil MG1	1,37	0,35	0,20	2,69	2,58	2,80

Fonte: Do autor (2021).

Segundo o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) (TABELA 8), os genótipos mais produtivos nos ambientes estudados foram H6-47-10 pl.3 e MGS Paraíso 2, com 37,07 e 37,02 sacas ha^{-1} , respectivamente. Os genótipos com os piores desempenhos foram Pau Brasil MG1, Bourbon Amarelo IAC J10 e Paraíso MG H419-1, com 28,52, 26,33 e 24,34 sacas ha^{-1} , respectivamente.

O genótipo MGS Aranãs se destacou para vigor vegetativo com a nota média 6,49. Enquanto que, para o NDVI, com exceção dos genótipos Bourbon Amarelo IAC J10 e MGS Catiguá 3, os demais ficaram no grupo superior para esta característica. Em relação à nota total SCA, os genótipos com médias superiores foram Pau Brasil MG1, Catiguá MG2 e MGS Paraíso 2, com notas 83,72, 83,38 e 83,25, respectivamente.

Para a porcentagem de peneira alta, os piores desempenhos foram observados nos genótipos Catiguá MG2 e Pau Brasil MG1, com 68,00 e 68,33%, respectivamente, seguidos do Paraíso MG H419-1 com 74,25% no grupo intermediário. Os demais genótipos compuseram o grupo superior. Na porcentagem de grãos moca, observou-se os piores desempenhos também para o Catiguá MG2 e Pau Brasil MG1, com 15,92 e 15,33%, respectivamente. O segundo grupo foi composto por Paraíso MG H419-1 e MGS Catiguá 3, com 13,17 e 13,83%, respectivamente. Os demais genótipos ficaram no grupo em destaque.

Se tratando da análise de Soma de Postos do Ranqueamento (TABELA 8), que envolve todas as variáveis, os melhores genótipos a serem recomendados são MGS Paraíso 2, MGS

Ametista e MGS Aranãs, respectivamente. Ou seja, de modo geral, esses genótipos possuem uma boa produtividade, alto vigor vegetativo, boa qualidade de bebida e boas características físicas dos grãos.

Tabela 8 – Médias para as variáveis Produtividade Média (Prod.), Vigor Vegetativo (Vigor), NDVI, Nota Total (Nota SCA), Porcentagem de peneira 16 e acima (PA) e Porcentagem de Grãos Moca (%moca), e Soma de Postos do Ranqueamento (SDPR).

Genótipo	Prod.	Vigor	NDVI	Nota (SCA)	PA	%moca	SDPR
Bourbon Amarelo IAC J10	26,33 c	4,38 e	0,64 b	82,53 b	79,50 a	11,17 a	40,92 c
Catiguá MG2	33,01 b	6,00 b	0,71 a	83,38 a	68,00 c	15,92 c	32,17 b
Catuai Vermelho IAC 99	31,14 b	5,28 d	0,68 a	82,80 b	81,08 a	10,17 a	30,75 b
H6-47-10 pl. 3	37,07 a	5,67 c	0,68 a	82,07 b	80,50 a	10,75 a	29,92 b
MGS Ametista	34,08 b	6,11 b	0,69 a	82,81 b	82,00 a	10,67 a	24,50 a
MGS Aranãs	33,96 b	6,49 a	0,71 a	82,23 b	81,58 a	11,75 a	24,67 a
MGS Catiguá 3	31,48 b	5,71 c	0,67 b	82,26 b	80,08 a	13,83 b	40,42 c
MGS Paraíso 2	37,02 a	5,92 b	0,70 a	83,25 a	81,17 a	11,00 a	23,67 a
Paraíso MG H419-1	24,34 c	5,50 d	0,68 a	82,33 b	74,25 b	13,17 b	44,00 c
Pau Brasil MG1	28,52 c	5,84 b	0,68 a	83,72 a	68,33 c	15,33 c	39,00 c

Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo de médias pelo teste de Scott-Knott ($p < 0.05$).

Fonte: Do autor (2021).

A correlação entre os métodos estatísticos ASV, Ii, Ii(+), Ii(-) e Scott-Knott (SK) para o ranqueamento de produtividade (TABELA 9), apontou que o ASV não se correlaciona com os índices de Annichiarico e o teste de agrupamento de médias Scott-Knott. Os índices de Annichiarico (Ii, Ii+ e Ii-) tiveram correlação positiva significativa entre si como o esperado, no entanto, o Ii(-) teve maior correlação com o Ii, evidenciando maior contribuição do mesmo para o parâmetro geral para todos ambientes. Assim como em relação ao Ii geral, o Ii(-) foi o que mais se correlacionou positivamente com o teste de agrupamento de médias Scott-Knott, isso reforça que para a região como um todo, o Ii (-) pode ser o mais adequado para decisão de seleção.

Tabela 9 – Correlação entre o ranqueamento dos genótipos nos métodos ASV, Ii, Ii(+), Ii(-) e Scott-Knott (SK) para produtividade.

Parâmetros	ASV	Ii	Ii (+)	Ii (-)
ASV	-	-	-	-
Ii	-0.200 ^{ns}	-	-	-
Ii (+)	0.224 ^{ns}	0.855 ^{**}	-	-
Ii (-)	-0.224 ^{ns}	0.988 ^{**}	0.830 ^{**}	-
SK	-0.423 ^{ns}	0.920 ^{**}	0.671 [*]	0.920 ^{**}

** ; * : significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste T.

^{ns} : não significativo.

Fonte: Do autor (2021).

5 DISCUSSÃO

O principal objetivo do trabalho foi verificar o desempenho agrônômico e a qualidade de grãos dos genótipos em diferentes ambientes de cultivo na região do Sul de Minas. Observou-se que existem diferenças de performances das cultivares nos diferentes ambientes, sendo detectadas adaptações específicas a determinados locais. Os resultados, apesar de preliminares, indicam que existem genótipos que se destacaram no geral e que se tem um indicativo de recomendação em função da localidade de cultivo.

A interação GxA significativa para todas as características analisadas já era esperada, uma vez que todas elas são de origem quantitativa e de expressividade variável em função da qualidade ambiental de cultivo (RAMALHO *et al.*, 2012). Portanto, foram realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade, com dois vieses de interpretação. Os tipos de análises foram: as que capitalizam essa interação a favor (AMMI e Annichiarico em ambientes favoráveis e desfavoráveis), que buscam recomendações para ambientes específicos e; as análises que ignoram a interação e apontam uma resposta regional (Annichiarico geral, ASV, teste de agrupamento de médias e soma de postos do ranqueamento).

O modelo AMMI tem sido utilizado frequentemente em estudos de adaptabilidade e estabilidade, e vem se mostrando uma ferramenta eficiente para identificar os padrões de interação GxA com a finalidade de melhorar a precisão das recomendações, principalmente no que se refere às interações específicas, como as observadas nesse estudo (FARIA *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2019; BOCIANOWSKI *et al.*, 2021; KRISHNAMURTHY *et al.*, 2021). Essas interações específicas, também chamadas de adaptabilidades específicas, foram identificadas pela proximidade entre os valores do genótipo com o ambiente, sendo positivas quando ambos tinham o mesmo sinal de escores dos componentes principais, e negativa quando os sinais foram divergentes (BOCIANOWSKI *et al.*, 2021). Ademais, para delineamentos experimentais não replicados, como é o caso desse experimento, esse tipo de análise permite a extração de dados confiáveis para a tomada de decisão (SANTOS *et al.*, 2019).

Com a análise AMMI foi possível elucidar a interação GxA para produtividade do MGS Paraíso 2 com o ambiente Botelhos e Bourbon Amarelo IAC J10 com ambiente Alpinópolis, por meio da análise gráfica proveniente dos componentes principais IPCA1 e IPCA2. Assim, observou-se o agrupamento entre genótipos e ambientes por meio dos quadrantes em que estão inseridos. Além disso, pode-se interpretar a estabilidade dos genótipos por meio da proximidade em relação ao ponto de origem (0; 0), uma vez que contribuem menos para a interação, assim como ambientes que apresentam baixa distinção entre as cultivares (ANANDAN *et al.*, 2009;

RAMALHO *et al.*, 2012; FARIA *et al.*, 2017). Nesse caso, a baixa contribuição dos ambientes para a variação, se torna importante, pois, as observações fenotípicas observadas favorecem a seleção e recomendação de genótipos para a região, uma vez que não possui interação específica (JUNIOR *et al.*, 2017).

A observação gráfica baseada nos dois primeiros componentes principais foi eficiente, com mais de 50% da soma de quadrados da interação para as variáveis analisadas: produtividade (52,05) e nota total SCA (72,58), o que permite uma boa interpretação dos parâmetros de adaptação específica e estabilidade (SILVA *et al.*, 2011; FARIA *et al.*, 2017). A adaptação específica observada nos resultados é uma forma eficiente de extrair informações favoráveis a seleção de genótipos que contribuíram muito para a interação (KANG, 2020).

Houve uma divergência em relação aos resultados dos parâmetros de estabilidade fornecidos pela análise gráfica de IPCA e ASV, em relação as maiores médias agrupadas observadas no geral. Esse fenômeno está atrelado ao fato de os parâmetros de estabilidade não estarem necessariamente ligados aos melhores desempenhos para as características avaliadas, mas sim, associado à adaptabilidade geral. Ou seja, genótipos com adaptabilidade específica, tendem a apresentar desempenhos inferiores nos parâmetros de estabilidade (FARIA *et al.*, 2017). Junior *et al.* (2017), em estudos de estabilidade por meio da análise AMMI, também notaram divergência entre os genótipos mais estáveis e os mais produtivos. Nesse caso, os autores atribuíram essa diferença ao fato de genótipos mais estáveis não serem capazes de responder à melhoria ambiental, porém, a análise para adaptabilidade específica foi eficiente. Isso torna a seleção baseada apenas na estabilidade insegura (CORREIA *et al.*, 2008; DIAS *et al.*, 2017).

Por meio da análise AMMI, tanto as variações atribuídas aos genótipos, quanto as variações atribuídas ao ambiente, se fazem importantes para a interpretação dos resultados, porém, em análises dessa natureza, ambas influenciam na interação GxA e no erro experimental, carecendo então, de análises complementares para desmembrar as fontes de variação (SANTOS *et al.*, 2019). Ademais, Yang *et al.* (2009) ressaltam a importância de utilizar a análise gráfica de componentes principais fornecidas pela AMMI atrelada a outros parâmetros biométricos para tomada de decisão, uma vez que ela não é capaz de expressar por si só, toda a origem da interação observada na variação fenotípica. Diante do exposto, esse estudo obteve êxito em congregar análises biométricas complementares que colaboraram para a recomendação de genótipos.

Portanto, o primeiro parâmetro analisado para corroborar a AMMI foi o índice de confiança (Ii), seguindo a metodologia proposta por Annichiarico (1992), onde estimou-se a

chance de sucesso na escolha de um genótipo baseado em um nível de significância (α) de 0,25, sendo assim, Ii igual ou superior a 100 qualificam a recomendação como segura, e abaixo, como insegura (CORRÊA; MENDES; BARTHOLO, 2006; RAMALHO *et al.*, 2012).

Os genótipos MGS Paraíso 2 e H6-47-10 pl.3 serão, com 75% de confiança, 6,97% e 6,74%, respectivamente, mais produtivos que a média do ambiente na condição mais adversa. Em resumo, essa probabilidade do Ii está associada à chance do sucesso de um determinado genótipo (DIAS *et al.*, 2017). Segundo Santos *et al.* (2019), os melhores resultados obtidos por meio do Ii possuem alta correlação com as maiores médias, pois seu modelo leva em consideração a adaptabilidade e estabilidade em conjunto, o que o elenca como um importante parâmetro para tomada de decisão.

Apesar de poucos genótipos apresentarem Ii acima de 100, para a nota total SCA especificamente, todos apresentaram Ii próximos do limiar de recomendação, mostrando um baixo risco de recomendação dos genótipos para a região, ou seja, todos os genótipos analisados possuem potencial para produção de cafés especiais. Dado a variabilidade climática, topográfica e tecnológica da região Sul de Minas, salienta-se a importância de analisar o Ii em ambientes favoráveis e desfavoráveis. Pode-se observar que para a produtividade, os genótipos H6-47-10 pl.3 e MGS Paraíso 2 tiveram um incremento na porcentagem da confiança de recomendação de 10,59 e 9,25, respectivamente, para ambientes desfavoráveis em relação ao índice geral, indicando que esses materiais podem apresentar boas respostas mesmo em condições ambientais e tecnológicas menos favoráveis.

Ao observar os dados da região como um todo, nota-se que a maioria dos genótipos resistentes à ferrugem apresentaram um melhor desempenho produtivo quando comparados ao Catuaí Vermelho IAC 99, excetuando-se os genótipos Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1. Em relação ao bom desempenho do genótipo H6-47-10 pl.3, o mesmo já foi observado por Gomes *et al.* (2015), onde alcançou a primeira colocação em um ensaio de seleção em dois ambientes na região do Sul de Minas. Ainda sobre esse estudo, constatou-se que esse genótipo se trata de um material com boas características físicas dos grãos e bom vigor vegetativo, além de resistência à ferrugem, corroborando este trabalho.

Tendo em vista que o grupo de cultivares Bourbon Amarelo já é reconhecido pela qualidade superior de bebida (FERREIRA *et al.*, 2012a; FIGUEIREDO *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2016), os resultados da qualidade sensorial dos grãos dos genótipos resistentes em comparação a ele foram satisfatórios, uma vez que todos tiveram pontuação acima de 80 pela nota total SCA, evidenciando potencial para a produção de cafés especiais de acordo com a classificação da SCA (LINGLE, 2011). Diversos estudos também apontam

resultados satisfatórios nas notas totais da análise sensorial de genótipos resistentes à ferrugem (CARVALHO *et al.*, 2016; SOBREIRA *et al.*, 2015; BARBOSA *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2020). No entanto, os genótipos Catiguá MG2, MGS Paraíso 2 e Pau Brasil MG1 foram classificados em um grupo estatístico superior para o conjunto de ambientes avaliados. A qualidade de bebida dos genótipos Catiguá MG2, MGS Paraíso 2 e Pau Brasil MG1 também já foi observada em outros trabalhos (FASSIO *et al.*, 2016; CARVALHO *et al.*, 2016; BARBOSA *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2019), atestando o potencial das mesmas para a produção de cafés especiais.

Para vigor vegetativo, o genótipo MGS Aranãs apresentou o maior valor para esta característica (6,49) corroborando com Pereira *et al.* (2019). É provável que esse alto vigor vegetativo esteja associado aos seus progenitores, uma vez que é o único genótipo oriundo do cruzamento entre Icatu e Catimor. Botelho *et al.* (2010), em estudo com progênies de mesma origem genética, relataram que as mesmas possuem como característica altas médias para essa variável.

A diferença entre os genótipos de café para a peneira alta, porcentagem de grãos moca e nota total SCA também foi observada por demais autores (NADALETI *et al.*, 2018; PEREIRA *et al.*, 2019). Em relação a peneira alta, os resultados observados do Catiguá MG2 e Pau Brasil MG1 foram semelhantes aos descritos por Pereira *et al.* (2019), onde ambos os genótipos também tiveram as menores porcentagens em relação aos demais genótipos, evidenciando uma possível característica intrínseca do genótipo. Já os genótipos Bourbon Amarelo IAC J10, Catuaí Vermelho IAC 99, MGS Ametista, MGS Aranãs, MGS Catiguá 3 e H6-47-10 pl.3, que se posicionaram no grupo superior, possuem a vantagem de terem maior valor agregado para a comercialização dos grãos, uma vez que a peneira alta está atrelada a melhor uniformidade dos lotes e melhor aspecto visual, principalmente para o uso em máquinas de espresso (MAIA *et al.*, 2020; SOBREIRA *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2013).

Em se tratando de porcentagem de grãos moca, o limiar máximo permitido para produção de sementes certificadas é 12% (PAIVA *et al.*, 2010; CARVALHO *et al.*, 2013), portanto, os genótipos Catiguá MG2, MGS Catiguá 3, Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1 podem ser considerados inadequados para essa característica na região. Além do fator limitante à produção de sementes certificadas, a porcentagem de grãos mocas está correlacionada negativamente com o rendimento dos grãos crus beneficiados, o que ocorre em detrimento da origem desse tipo de grão vir da produção de apenas uma semente no fruto (NADALETI *et al.*, 2018).

Em se tratando da correlação entre os ranqueamentos dos métodos, o ASV, por se tratar de um índice relacionado a estabilidade e o ranqueamento de desempenho ter sido relacionado com a proximidade dos genótipos de zero, conferiu o resultado de não haver correlação com os demais métodos. Esse resultado reforça que genótipos mais estáveis não são necessariamente os mais produtivos (BORNHOFEN *et al.*, 2017). O fato da correlação do $I_i(-)$ ser maior com o I_i geral e o agrupamento de médias Scott-Knott o torna mais confiável para uma recomendação assertiva em nível regional, uma vez que ele tende a expressar os genótipos mais produtivos como um todo em relação aos demais métodos. Dessa forma, reforça-se que os genótipos MGS Paraíso 2 e H6-47-10 pl.3 são os mais indicados em relação a produtividade. A presença de uma associação significativa e de alta magnitude entre os índices de Annichiarico (I_i , I_{i+} e $I_i(-)$) indica classificação semelhante de genótipos. No entanto, embora possam ocorrer associações de alta magnitude, é essencial observar os melhores genótipos em cada método, pois podem não ser os mesmos. A existência de associação entre métodos não garante o consenso geral quanto aos melhores genótipos (BORHOFEN *et al.*, 2017), no entanto, nota-se que o modelo proposto por Annichiarico é eficiente para a análise em estudo. Isso confirma a necessidade de usar mais de uma ferramenta ao avaliar adaptabilidade e estabilidade.

Com base na interpretação dos resultados obtidos, fica evidente a importância de realizar experimentos com genótipos de cafeeiro em diversos ambientes de cultivo, a fim de elucidar interações cruciais para a recomendação regionalizada e local de genótipos. Vale salientar, que a parceria entre instituições de pesquisa e propriedades cafeeiras estreitam a obtenção desses resultados e a difusão dessas novas tecnologias.

6 CONCLUSÃO

Foi possível, por meio de ferramentas biométricas, o estudo de adaptabilidade e estabilidade de cultivares de café nas unidades demonstrativas.

Os genótipos MGS Paraíso 2, MGS Ametista e MGS Aranãs possuem boa adaptabilidade geral em relação a todas as características avaliadas para a região do Sul de Minas Gerais.

Em se tratando de produtividade, os genótipos mais recomendados são o MGS Paraíso 2 e H6-47-10 pl. 3.

Os genótipos Catiguá MG2, MGS Paraíso 2 e Pau Brasil MG1 foram os mais indicados para a região, para a produção de cafés especiais.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, E. M.; AHMED, F. B. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum spp. hybrid*) production: a review of the literature. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 29, n. 13, p. 3753-3767, 2008.
- ALMEIDA, T. S.; SEDIYAMA, G. C.; DE ALENCAR, L. P. Estimativa da produtividade de cafeeiros irrigados pelo método zona agroecológica espectral. **Revista Engenharia Na Agricultura-REVENG**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 1-11, 2017.
- ALVES, F. D.; LINDNER, M. Agronegócio do café no Sul de Minas Gerais: territorialização, mundialização e contradições. **Revista OKARA: Geografia em debate**, [s.l.], v. 14, n. 2, p. 433-451, 2020.
- ALVES, M. C.; SILVA, F. M. da. Ferramentas de cafeicultura de precisão. In: SILVA, F. M.; ALVES, M. de C. **Cafeicultura de precisão**. Lavras: UFLA, 2013. p. 39-80.
- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding 1. **Crop Science**, [s.l.], v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ANANDAN, A. *et al.* Appraisal of environmental interaction on quality traits of rice by additive main effects and multiplicative interaction analysis. **Cereal Research Communications**, [s.l.], v. 37, n. 1, p. 131-140, 2009.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, [s.l.], v. 46, p. 269-269, 1992.
- APROCEM. **Histórico**. Disponível em: <http://www.aprocem.com.br/>. Acesso em: 30 mar. 2021.
- BARBOSA, I. P. *et al.* Sensory analysis of arabica coffee: cultivars of rust resistance with potential for the specialty coffee market. **Euphytica**, [s.l.], v. 216, n. 165, p. 1-12, 2020.
- BARBOSA, I. de P. *et al.* Sensory quality of *Coffea arabica* L. genotypes influenced by postharvest processing. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s.l.], v. 19, n. 4, p. 428-435, 2019.
- BRASIL. MAPA. Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003**. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade para Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. 2003. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/instrucao-normativa-no-8-de-11-de-junho-de-2003-cafe-grao-cru/view>. Acesso em: 30 mar. 2021.
- BREGAGNOLI, M.; MONTEIRO, A. V. C. **Café nas montanhas: cafeicultura sustentável no sul de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Letra e Imagem, 2013. p. 100.

- BOCIANOWSKI, J.; TRATWAL, A.; NOWOSAD, K. Genotype by environment interaction for main winter triticale varieties characteristics at two levels of technology using additive main effects and multiplicative interaction model. **Euphytica**, [s.l.], v. 217, n. 2, p. 1-30, 2021.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa: UFV, 2017. p. 543.
- BORNHOFEN, E. *et al.* Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. **Bragantia**, [s.l.], v. 76, p. 1-10, 2017.
- BOTELHO, C. E. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 45, n. 12, p. 1404-1411, 2010.
- BSCA. Associação Brasileira de Cafés Especiais. **Regiões**. Disponível em: <https://www.bsca.com.br/index/home>. Acesso em: 30 mar. 2021.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. D. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, [s.l.], v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- CARNEIRO, F. M. *et al.* Comparison between vegetation indices for detecting spatial and temporal variabilities in soybean crop using canopy sensors. **Precision Agriculture**, [s.l.], v. 21, p. 979-1007, 2019.
- CARVALHO, A.; KRUG, C. A. Agentes de polinização da flor do cafeeiro (*Coffea arabica* L. **Bragantia**, [s.l.], v. 9, n. 1-4, p. 11-24, 1949.
- CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa, 2008. p. 334.
- CARVALHO, G. R. *et al.* Comportamento de progênies F4 de cafeeiros arábica, antes e após a poda tipo esqueletamento. **Coffee Science**, [s.l.], Lavras, v. 8, n. 1, p. 33-42, 2013.
- CARVALHO, A. M. *et al.* Relationship between the sensory attributes and the quality of coffee in different environments. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 11, n. 38, p. 3607-3614, 2016.
- CILAS, C.; MONTAGNON, C.; BAR-HEN, A. Yield stability in clones of *Coffea canephora* in the short and medium term: longitudinal data analyses and measures of stability over time. **Tree Genetics & Genomes**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 421-429, 2011.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Café. **Conab**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 21, 2020.
- CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ. **Tecnologias, Cultivares**. Disponível em: <http://www.consorcioquesquisacafe.com.br/>. Acesso em: 30 mar. 2021.
- CORRÊA, L. V. T.; MENDES, A. N. G.; BARTHOLO, G. F. Performance of coffee progenies from Icatu. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 30, n. 4, p. 618-622, 2006.

CORREIA, W. R. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Minas Gerais. **Bioscience Journal**, [s.l.], v. 24, n. 4, p. 80-85, 2008.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, [s.l.], v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012. V. 5.

DAVIS, A. P. *et al.* High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. **Science advances**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 1-9, 2019.

DAVIS, A. *et al.* Growing coffee: Psilanthus (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data, implications of size, morphology, distribution and evolutionary history of Coffee. **Botanical Journal of Rehinnean Society**, [s.l.], v. 167, p. 1-21. 2011.

DIAS, R. E. B. A. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de progênes F4 de *Coffea arabica*. **Coffee Science**, [s.l.], v. 12, n. 4, p. 508 - 516, 2017.

DIAS, R. A. *et al.* Selection of coffee progenies for resistance to leaf rust and favorable agronomic traits. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 173 - 182, 2019.

DIAS, R. E. B. A. *et al.* Genetic determination of characteristics related to semi-mechanized coffee harvests. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 1, 2020.

FARIA, S. V. *et al.* Adaptability and stability in commercial maize hybrids in the southeast of the State of Minas Gerais, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 48, n. 2, p. 347-357, 2017.

FASSIO, L. O. *et al.* Sensory profile of arabica coffee accesses of the germplasm collection of Minas Gerais – Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 382-393, jul./sep. 2019.

FASSIO, L. O. *et al.* Sensory description of cultivar (*Coffea arabica* L.) resistance to rust and its correlation with caffeine, trigonelline, and chlorogenic acid compounds. **Beverages**, [s.l.], v. 2, n.1, p. 1-12, 2016.

FERNANDES, M. R.; ALBANEZ, A. C. M. P.; RABELLO, V. L. **Condições Geofísicas Para Cafeicultura**. Disponível em: <http://portaldocafedeminas.emater.mg.gov.br/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

FERREIRA, A. D. *et al.* Análise sensorial de diferentes genótipos de cafeeiros Bourbon. **Interciência**, [s.l.], v. 37, n. 5, p. 390-394, 2012a.

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

FERREIRA, T. *et al.* Cap 1: Introduction to Coffee Plant and Genetics. *In: Coffee: Production, Quality and Chemistry*. FARAH, A. London: Royal Society of Chemistry, 2019. p. 1-25.

FERREIRA, W. P. *et al.* **As características térmicas das faces noruega e soalheira como fatores determinantes do clima para a cafeicultura de montanha.** Brasília: Embrapa, 2012b. p. 34.

FIGUEIREDO, L. P. *et al.* The potential for high quality bourbon coffees from different environments. **Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v. 5, n. 10, p. 87, 2013.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. **Theoretical and Applied genetics**, [s.l.], v. 76, n. 1, p. 1-10, 1988.

GASPARI-PEZZOPANE, C. D. *et al.* Atributos fenológicos e agrônômicos em cultivares de cafeeiro arábica. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 39, n. 3, p. 711-717, 2009.

GICHIMU, B. M.; OMONDI, C. Early performance of five newly developed lines of Arabica Coffee under varying environment and spacing in Kenya. **Agriculture and Biology Journal of North America**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 32-39, 2010.

GOMES, C. A. *et al.* Seleção de progênies do cruzamento entre cultivares de cafeeiros Icatu e Catuaí. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 62, n. 1, p. 62-70, 2015.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. **Semiologia do cafeeiro: Sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas.** Lavras: UFLA, 2010.

GUIMARÃES, E. R.; CASTRO JÚNIOR, L. G.; ANDRADE, H. C. C. A terceira onda do café em Minas Gerais. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, [s.l.], v. 18, n. 3, p. 214-227, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Estatísticas.** Disponível em: <https://ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

JUNIOR, O. P. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo em dez ambientes nos estados do Paraná e São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 113-121, 2017.

KANG, M. S. **Quantitative genetics, genomics and plant breeding.** Kansas, USA: Department of Plant Pathology Kansas State University Manhattan, Kansas, 2020. p. 411.

KRISHNAMURTHY, S. L. *et al.* Additive main effects and multiplicative interaction analyses of yield performance in rice genotypes for general and specific adaptation to salt stress in locations in India. **Euphytica**, [s.l.], v. 217, n. 2, p. 1-15, 2021.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook: a systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor.** Long Beach, CA: Specialty Coffee Association of America, 2011.

MAIA, P. L. *et al.* Agronomic performance of coffee in response to framework pruning in cycles of the “safra zero”. **Coffee Science**, [s.l.], v. 15, p. e151629, 2020.

MARIE, L. *et al.* G× E interactions on yield and quality in Coffea arabica: new F1 hybrids outperform American cultivars. **Euphytica**, [s.l.], v. 216, n. 5, p. 1-17, 2020.

MARTINS, A. L. **História do café**. São Paulo: Contexto, 2012. p. 320.

MARTINS, G. D.; GALO, M. L. B. T. Caracterização espectral da cana-de-açúcar infectada por nematoides e *Migdolus fryanus* por espectrorradiometria de campo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [s.l.], v. 21, n. 4, p. 783-796, 2015.

MENICUCCI NETTO, P. **Níveis de adubação no crescimento, índice de vegetação, anatomia e fisiologia de cafeeiros em formação**. 2021. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras, 2021.

MONTAGNON C.; MARRACCINI, P.; BERTRAND, B. Breeding for coffee quality. *In*: OBERTHÜR, T. *et al.* **Specialty Coffee: Managing Quality**. International Plant Nutrition Institute, Southeast Asia Program, 2012. p. 222.

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**, [s.l.], v. 7, p. 40-51, 1978.

NADALETI, D. H. S. *et al.* Productivity and sensory quality of arabica coffee in response to pruning type “esqueletamento”. **Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 207-216, 2018.

NASCIMENTO, M. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 45, n. 1, p. 41-48, 2010.

OBERTHÜR, T. *et al.* **Specialty Coffee: Managing Quality**. International Plant Nutrition Institute, Southeast Asia Program, 2012. p. 222.

PAIVA, R. N. *et al.* Comportamento agrônômico de progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Varginha – MG. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 49-58, 2010.

PEDRO, F. C. *et al.* Comportamento agrônômico de progênies F4 de cafeeiros oriundos do cruzamento entre os cultivares Mundo Novo e Catuaí. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 58, n. 3, p. 315-322, 2011.

PEIXOTO, J. N. C. *et al.* Cafeicultura familiar e as boas práticas agrícolas em Bom Sucesso – MG. **Coffee Science**, Lavras, v.12, n. 3, p.365-373, 2017.

PEREIRA, A. P.; BAIÃO, A. C. Cap 2: Cultivares. *In*: SAKIYAMA, N. *et al.* **Café arábica: do plantio a colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 46-63.

PEREIRA, D. R. *et al.* Morphoagronomic and sensory performance of coffee cultivars in initial stage of development in cerrado mineiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 193-205, 2019.

PEREIRA, D. R. *et al.* Genetic and chemical control of coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk et B r.): impacts on coffee (*Coffea arabica* L.) quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s.l.], v. 101, p. 2836–2845, 2020.

PETEK, M. R. et al. Seleção de progênies de *Coffea arabica* com resistência simultânea à mancha aureolada e à ferrugem alaranjada. **Bragantia**, [s.l.], v. 65, n. 1, p. 65-73, 2006.

PINTO, M. F. et al. Selection efficiency of coffee progenies evaluated in the State of Minas Gerais, Brazil. **Bragantia**, [s.l.], v. 71, n. 1, p. 1-8, 2012.

PROCAFÉ. Fundação PROCAFÉ. **Diagnóstico Tecnológico Cafeicultura do Sul de Minas, 2017**. Disponível em: <https://www.fundacaoprocafe.com.br/diagnosticos>. Acesso em: 15 abr. 2021.

PURCHASE, J. L.; HATTING, H.; VAN DEVENTER, C. S. Genotype x environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. **South African Journal of Plant and Soil**, [s.l.], v. 17, n. 3, p. 101-107, 2000.

R, DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.

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

REBOITA, M. S. et al. Aspectos climáticos do estado de minas gerais (climate aspects in minas gerais state). **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 17, p. 206-226, 2015.

RIBEIRO, D. E. et al. Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of arabica coffee. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 11, n. 27, p. 2412-2412, jul. 2016.

RNC. Registro Nacional de Cultivares. **Cultivar Web**. Disponível em: <http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ROCHA, V. P. C. et al. Adaptabilidade e estabilidade da característica produtividade de grãos dos grupos comerciais carioca e preto de feijão. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 39-53, 2010.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, D.C., 1973. **Proceedings** [...] Washington, D.C.: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317.

SAKIYAMA, N. et al. **Café arábica: do plantio a colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 316.

SANTOS, D. C. et al. Adaptability and stability of maize hybrids in unreplicated multienvironment trials. **Ciência Agrônômica**, [s.l.], v. 50, n. 1, p. 83-89, 2019.

SANTOS, M. O. et al. Photochemical efficiency correlated with candidate gene expression promote coffee drought tolerance. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 1-14, 2021.

SCHMILDT, E. R.; CRUZ, C. D. Análise da adaptabilidade e estabilidade do milho pelos métodos de Eberhart e Russell e de Annicchiarico. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 52, n. 299, p. 45-58, 2005.

SETOTAW, T. A. *et al.* Coefficient of parentage in *Coffea arabica* L. cultivars grown in Brazil. **Crop Science**, [s.l.], v. 53, n. 4, p. 1237-1247, 2013.

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

SILVA, G. O. *et al.* Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, [s.l.], v. 70, n. 3, p. 494-501, 2011.

SILVA, L. C. **Monitoramento do vigor de cafeeiros submetidos a estratégias de manejo para atenuar os efeitos da escassez hídrica**. 2019. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2019.

SOBREIRA, F. M. *et al.* Potential of Híbrido de Timor germplasm and its derived progenies for coffee quality improvement. **Australian Journal of Crop Science**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 289-295, 2015.

SOUZA, C. A. D. *et al.* Adaptability and stability of *Coffea arabica* lines in the Western Amazon. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 240-244, 2019.

SUDHA, M. *et al.* Influence of abiotic factors on coffee leaf rust disease caused by the fungus *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. under changing climate. **Journal of Agrometeorology**, [s.l.], v. 22, n. 3, p. 365-369, 2020.

TOLEDO, E. F. Cafeicultura e desenvolvimento territorial: as cooperativas de café no sul de Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, [s.l.], v. 29, n. 2, p. 264-280, 2019.

VALE, A. R.; CALDERARO, R. A. P.; FAGUNDES, F. N. A cafeicultura em Minas Gerais: Estudo comparativo entre as regiões Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Sul/Sudoeste/The coffee production in Minas Gerais: comparative study between regions Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba and South/Southwest. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária**, [s.l.], v. 9, n. 18, 2014.

VAN DER VOSSEN, H.; BERTRAND, B.; CHARRIER, A. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. **Euphytica**, [s.l.], v. 204, n. 2, p. 243-256, 2015.

VEIGA, A. D. *et al.* Agronomic performance and adaptability of arabic coffee resistant to leaf rust in the central brasilian savanna. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 41-52, 2018.

VILELA, D. J. M. *et al.* Nutritional efficiency in phosphorus of arabica coffee genotypes. **Coffee Science**, Lavras, v. 16, p. e161831, 2021.

YANG, R. *et al.* Biplot analysis of genotype× environment interaction: Proceed with caution. **Crop Science**, [s.l.], v. 49, n. 5, p. 1564-1576, 2009.

ZAMBOLIM, L. Cap 6: Manejo de Doenças. *In: Café arábica do plantio a colheita*. SAKIYAMA, N. *et al.* Viçosa: UFV, 2015. p 46-63.