

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE
PROGÊNIES DE CAFEIRO ICATU**

LUIZA VASCONCELOS TAVARES CORRÊA

2004

LUIZA VASCONCELOS TAVARES CORRÊA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE PROGÊNIES DE
CAFEIRO ICATU**

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

Orientador
Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos
Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Corrêa, Luiza Vasconcelos Tavares
Adaptabilidade e estabilidade de progênies de cafeeiro Icatu /
Luiza Vasconcelos Tavares Corrêa. -- Lavras : UFLA, 2004.
55 p. : il.

Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Café. 2. Adaptabilidade. 3. Estabilidade. 4. Café Icatu. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.7323

LUIZA VASCONCELOS TAVARES CORRÊA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE PROGÊNIES DE
CAFEIRO ICATU**

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

APROVADA em 02 de março de 2004

Dr. Gabriel Ferreira Bartholo	EPAMIG
Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho	UFLA
Prof. Dr. Samuel Pereira de Carvalho	UFLA

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Aos meus pais Francisco de Assis e Maria Lúcia, pelos exemplos de trabalho e de fé;

Aos meus irmãos Gustavo e Nathália, pela amizade e alegria que me transmitem;

E ao meu esposo Edmarcos, grande amor da minha vida, por seu cuidado e carinho,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais este passo em minha vida.

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Biologia e ao Curso de Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de realizar este curso.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor e orientador Antônio Nazareno Guimarães Mendes, por sua serenidade, amizade e pelo apoio durante o curso e na realização deste trabalho.

Ao pesquisador Gabriel Ferreira Bartholo e aos professores Magno Antonio Patto Ramalho e Samuel Pereira de Carvalho, pela disponibilidade e pelas valiosas críticas e contribuições à dissertação.

Aos professores Magno Antonio Patto Ramalho, João Bosco dos Santos, César Augusto Brasil P. Pinto, João Cândido de Souza, Elaine Aparecida de Souza, Ângela de Fátima B. Abreu, Carlos Alberto Spaggiari Souza e Rubens José Guimarães, pelos ensinamentos transmitidos.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) por disponibilizar os dados experimentais.

A todos os colegas e amigos do Núcleo de Estudos de Genética (GEN) e do Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF).

Aos funcionários do Departamento de Biologia, do Setor de Cafeicultura e da Biblioteca Central da UFLA, pela atenção e pelo agradável convívio.

À minha família, pelo incentivo e apoio.

A todos que de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Importância da Cafeicultura.....	3
2.2 Melhoramento genético do cafeeiro no Brasil.....	3
2.3 Classificação Botânica e espécies importantes.....	5
2.4 Cultivar Icatu.....	6
2.5 Interação genótipos por ambientes.....	11
2.6 Adaptabilidade e estabilidade.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Locais, detalhes experimentais, condução e progênies avaliadas.....	20
3.2 Análises Estatísticas.....	22
3.3 Análise de estabilidade e adaptabilidade.....	27
3.3.1 Metodologia de Eberhart & Russel (1966).....	28
3.3.2 Metodologia de Lin & Binns (1988).....	29
3.3.3 Metodologia de Annicchiarico (1992).....	29
3.3.4 Metodologia AMMI.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5 CONCLUSÕES.....	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

RESUMO

CORRÊA, Luiza Vasconcelos Tavares. **Adaptabilidade e estabilidade de progênies de cafeeiro Icatu**. 2004. 55 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Avaliar a adaptabilidade e estabilidade de progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é uma etapa importante anterior à recomendação das mesmas aos cafeicultores. Com este intuito, realizou-se este trabalho, para progênies da cultivar Icatu no sul de Minas Gerais, sendo avaliada a produtividade de grãos em sacas de 60 kg/ha/biênio. Os experimentos foram instalados em Machado e São Sebastião do Paraíso, em estações experimentais da EPAMIG. A interação progênies x biênios x locais teve efeito significativo, justificando a utilização de metodologias de estabilidade fenotípica para classificar as progênies. Foram utilizados dados de 14 progênies de cafeeiro em 12 ambientes, considerando-se cada biênio em cada local como um ambiente. As metodologias utilizadas foram: Eberhart & Russel (1966), que utiliza o coeficiente de regressão e o desvio de regressão como parâmetros para avaliação da adaptabilidade e estabilidade das progênies; Lin & Binns (1988), que avalia o desempenho de cada progênie em relação à resposta máxima em cada ambiente; Annicchiarico (1992), que estima o risco de adoção de determinada progênie e AMMI, que analisa os efeitos aditivos de progênies e ambientes na análise de variância e o efeito multiplicativo da interação na análise de componentes principais. Houve coerência de resultados entre as metodologias. As progênies Icatu IAC-4040-181, Icatu IAC-4040-315, Icatu IAC-4042-114, Icatu IAC-4042-222 e Icatu IAC-4045-47 se destacaram como as mais promissoras em termos de adaptabilidade e estabilidade, assim como em potencial produtivo (produtividades entre 53,68 e 59,35 sacas de 60 kg/ha/biênio). Por outro lado, as progênies Catuaí IAC-44 e Mundo Novo IAC-379-19, dentro do grupo em estudo, foram classificadas como as mais instáveis.

*Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes – UFLA

ABSTRACT

CORRÊA, Luiza Vasconcelos Tavares. **Adaptability and stability of coffee progenies from Icatu**. 2004. 55 p. Dissertation (Master Program in Plant Genetics and Breeding) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.*

Adaptability and stability evaluations of coffee (*Coffea arabica* L.) progenies are an important stage prior to the recommendation of new lines. The objective of this study was to evaluate bean productivity per biennium in 14 progenies from Icatu cultivar in 12 environments in southern Minas Gerais State, Brazil. The experiments were carried out in the counties of Machado and São Sebastião do Paraíso, in the experimental stations of EPAMIG. The progenies x biennium x locations interaction was significant, justifying the use of phenotypic stability methodologies for classification of progenies. Stability analyses were performed according to Eberhart & Russel (1966), using the regression coefficient and deviations from regression as parameters for adaptability and stability evaluation of the progenies; Lin & Binns (1988), which evaluates the performance of each progeny in relation to the maximum response in each environment; Annicchiarico (1992), which estimates the adoption risk of each progeny, and AMMI, which takes into account the additive effects of progenies and environments in the variance analysis and the multiplicative interaction effect in the principal components analysis. There were coherent results among all methodologies. Progenies Icatu IAC-4040-181, Icatu IAC-4040-315, Icatu IAC-4042-114, Icatu IAC-4042-222 and Icatu IAC-4045-47 stood out as the most promising concerning adaptability and stability, as well in yield potential (productivities between 53.68 and 59.35 bags of 60 kg/ha /biennium). On the other hand, Catuaí IAC-44 and Mundo Novo IAC-379-19, included within the progenies evaluated in this study, were classified as unstable progenies.

Major Professor: Antônio Nazareno Guimarães Mendes - UFLA

1 INTRODUÇÃO

Após a introdução do cafeeiro na região norte do Brasil em 1727, esta cultura migrou-se para várias regiões até encontrar condições climáticas favoráveis no centro-sul. No passado, o café já foi o principal produto de exportação e atualmente continua gerando divisas para o país, sendo o Brasil o maior produtor; e também é importante no mercado interno, como o segundo maior consumidor mundial. Esta atividade também presta grande contribuição social, visto que várias regiões têm nesta cultura a base de sua economia, e conseqüentemente várias pessoas, direta ou indiretamente, sobrevivem do café. Minas Gerais se destaca como o principal estado produtor.

O programa de melhoramento do cafeeiro no Brasil teve início na década de 1930 no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), e se estende até os dias atuais. Vários programas são conduzidos em outras instituições no país, sendo a maioria do germoplasma originária do IAC. Em Minas Gerais, o programa é realizado em parceria pelas instituições que compõem o Sistema Estadual de Pesquisa Agropecuária (EPAMIG – UFLA – UFV), coordenado pela EPAMIG.

A cultivar Icatu é um importante marco do melhoramento do cafeeiro, pois foi um trabalho de hibridação de duas espécies de café, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre que, apesar de se classificarem no mesmo gênero, variam para algumas características, como por exemplo, a reação a doenças. Este trabalho teve como objetivo obter um material de *C. arabica* resistente à ferrugem, cujo agente causal é o fungo *Hemileia vastatrix*. Este estudo começou antes mesmo do aparecimento do fungo no país, mostrando a visão e a dinâmica do IAC e de seus pesquisadores, principalmente na pessoa do Doutor Alcides de Carvalho, que foi um melhorista de café muito respeitado, responsável pelo desenvolvimento de várias cultivares hoje disponíveis e plantadas em todas as regiões produtoras.

Em Minas Gerais, desde meados da década de 1970, progênies da cultivar Icatu, introduzidas a partir de material segregante proveniente do IAC, estão sendo avaliadas e selecionadas em várias regiões produtoras do estado.

A resposta diferenciada de materiais genéticos em diferentes ambientes evidencia o que se conhece como interação genótipos X ambientes. Várias metodologias estão disponíveis para se avaliarem os materiais e classificá-los quanto à estabilidade e adaptabilidade, de maneira que possam ser selecionados ou recomendados para diferentes ambientes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de algumas progênies de Icatu, consideradas como material “elite”, bem como estudar a estabilidade e adaptabilidade das mesmas, no Sul de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da Cafeicultura

O Brasil passou a ser considerado exportador de café em 1820 e a partir de 1845 tornou-se o maior produtor e exportador mundial, além de ser um grande consumidor deste produto (Guimarães et al., 2002). A safra de 2002/2003 alcançou uma produção de 48,76 milhões de sacas beneficiadas, das quais 28 milhões foram exportadas, significando uma receita comercial de US\$1,35 bilhão (Agrianual, 2003). A cultura do cafeeiro distribui-se geograficamente por onze estados, em aproximadamente 220 mil propriedades, gerando cerca de 3 milhões de empregos diretos e 10 milhões de empregos indiretos. Com 5,4 bilhões de covas, o parque cafeeiro ocupa uma área de 2,3 milhões de hectares (Guimarães et al., 2002). Dentro deste contexto, pesquisadores vinculados a várias instituições e universidades em todo o país, dedicam-se à pesquisa ligada ao setor cafeeiro. O Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D/Café) foi criado em 1997 para dar sustentação tecnológica ao agronegócio do café no Brasil e tem a Embrapa como gestora do programa. O Melhoramento do Cafeeiro, realizado principalmente por instituições públicas, se destaca como uma das áreas mais ativas e que mais contribuiu e continua contribuindo para o desenvolvimento da cultura.

2.2 Melhoramento genético do cafeeiro no Brasil

A história do melhoramento do cafeeiro no Brasil divide-se em duas fases bem distintas. A primeira vai desde a introdução do café no país em 1727 até o início da década de 1930, período em que o melhoramento era realizado de forma considerada empírica. Em 1933, no meio de uma grave crise econômica e quando o café excedente era empilhado e queimado, a Seção de Genética do

Instituto Agronômico de Campinas (IAC) dava início a um complexo programa de investigações sobre o cafeeiro (Carvalho, 1985). A segunda fase começou nessa data e se prolonga até os dias de hoje, sem interrupções ao longo desses setenta anos. A partir dessa fase, todas as etapas do programa de melhoramento passaram a ser realizadas com base em metodologias científicas. Foi justamente nessa segunda fase que os maiores ganhos foram obtidos, tanto em produtividade como também para outras características de interesse. As análises genéticas iniciadas em 1933, primeiramente tiveram o objetivo de estudar a herança de algumas características nas variedades comerciais de *Coffea arabica*, bem como sua provável origem. Em seguida passou a dar ênfase aos estudos de herança de características de interesse agrônomo como o porte, arquitetura, desenvolvimento e produção das plantas (Guimarães et al., 2002).

Atualmente, o programa de melhoramento do cafeeiro no Brasil apresenta, além do objetivo principal, que é o aumento da produtividade, outros pontos importantes, como a obtenção de cultivares com boa qualidade de bebida, adaptadas às condições ambientais e resistentes às principais doenças e pragas (Mendes & Guimarães, 1998). É de salientar-se que o desenvolvimento de cultivares portadoras de resistência constitui a alternativa que permite obter produtividades elevadas de forma mais econômica e eficaz (Carvalho & Mônaco, 1971; Alvarenga et al., 1998).

Outras instituições possuem programas próprios de melhoramento originados a partir de materiais introduzidos do IAC. Dentre elas estão a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Minas Gerais; o Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), no Paraná; o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), no Espírito Santo.

2.3 Classificação Botânica e espécies importantes

O cafeeiro pertence à classe das Dicotiledôneas, à família Rubiaceae e ao gênero *Coffea* (Mendes & Guimarães, 1998). Segundo Carvalho et al. (1991), o gênero *Coffea* abrange as espécies das seções Eucoffea e Mascaracoffea. Das espécies conhecidas, apenas duas são exploradas economicamente: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre, ambas pertencentes à seção Eucoffea e à subseção Erythrocoffea.

A espécie *C. arabica* é a mais plantada em todo o mundo e a de maior importância econômica do gênero. É originária do sudoeste da Etiópia e do Sudão, em região restrita e marginal às demais espécies, entre 8 e 12° de latitude norte e 40 e 42° de longitude leste. Essa espécie encerra um grande número de variedades e de mutantes, alguns amplamente empregados nos programas de melhoramento genético. O produto comercial recebe o nome de café arábica. Citologicamente é a única espécie poliplóide, uma alotetraplóide, com $2n=4x=44$ cromossomos (Mendes & Guimarães, 1998). É também a única espécie autógama. Na natureza, multiplica-se predominantemente por autopolinização, com taxa de fecundação cruzada da ordem de 10% (Carvalho et al., 1991). É mais adaptada em regiões de clima ameno (Costa, 1978).

A outra espécie, *C. canephora*, tem origem numa extensão geográfica mais ampla, numa faixa de região ocidental, central-tropical e subtropical do continente africano. É conhecido comercialmente como café robusta. Os estudos nessa espécie tiveram início a partir de 1900, quando técnicos holandeses iniciaram seu cultivo na Indonésia e identificaram plantas resistentes à ferrugem. O interesse comercial nessa espécie deve-se ao elevado teor de sólidos solúveis e cafeína, de maior interesse para a indústria de café solúvel. Citologicamente a espécie é diplóide, com $2n=2x=22$ cromossomos (Mendes & Guimarães, 1998). Apresenta alogamia e auto-incompatibilidade do tipo gametofítica, com uma

série de alelos, denominada série S (Carvalho et al., 1991). Adapta-se melhor em regiões de clima quente e úmido (Costa, 1978).

2.4 Cultivar Icatu

O Melhoramento Genético do Cafeeiro é dinâmico, por natureza. A interferência humana em seu processo natural tem procurado, por tentativas mais diversas, obter novas cultivares mais produtivas, resistentes ou tolerantes a doenças e pragas, adaptáveis a diferentes condições de ambiente (Pereira & Netto, 1981).

Dentro desta perspectiva, foi iniciado um trabalho em 1950, quando se obteve material genético a partir de hibridação interespecífica, realizada pela Seção de Genética do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). O objetivo deste trabalho foi transferir alelos de resistência à ferrugem (*Hemileia vastatrix* Bert et Br.), da espécie *C. canephora*, diplóide ($2n=2x=22$ cromossomos) para a espécie *C. arabica*, tetraplóide ($2n=4x=44$ cromossomos). Embora a doença somente viesse a se tornar problema no Brasil quase 20 anos depois, naquela época já se temia a sua introdução no país e os danos que poderia acarretar, tendo como exemplo outros países produtores que já conviviam com a doença (Carvalho & Mônaco, 1971; Guimarães et al., 2002). Foram utilizadas neste trabalho a cultivar ‘Robusta’ de *C. canephora*, com o número de cromossomos duplicado artificialmente (44 cromossomos), e a cultivar ‘Bourbon Vermelho’ de *C. arabica*, oriunda de uma planta haplóide, cujo número de cromossomos havia sido anteriormente duplicado e assim possuindo 44 cromossomos (Fazuoli et al., 1983). Algumas plantas obtidas a partir deste cruzamento foram retrocruzadas em 1956, com cafeeiros selecionados da cultivar Mundo Novo de *C. arabica* e a partir de testes realizados no Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC) em Oeiras, Portugal, verificou-se que várias das combinações apresentaram plantas resistentes à ferrugem (Mônaco et al., 1974).

Cafeeiros selecionados derivados do primeiro retrocruzamento para ‘Mundo Novo’ foram, em 1960, cruzados novamente com plantas dessa cultivar. Ao conjunto de populações resultantes dessas hibridações, com dois ou três retrocruzamentos para ‘Mundo Novo’ deu-se a denominação genérica de ‘Icatu’ (Fazuoli et al., 1983). Esses retrocruzamentos foram realizados para ‘Mundo Novo’ com o objetivo de recuperar o maior número possível de alelos dessa cultivar e com isso manter o fenótipo para caracteres como qualidade de bebida, produção, aspecto vegetativo e outros.

Os cafeeiros selecionados nos vários ciclos de retrocruzamento foram enviados para o CIFC, para que a seleção fosse aí realizada para resistência à ferrugem, pois nessa época a doença ainda não havia sido introduzida no Brasil (Mendes & Guimarães, 1998). As combinações híbridas obtidas pelo IAC mostraram-se vigorosas e produtivas, embora em algumas progênies notou-se um elevado número de plantas aneuplóides. Observou-se variabilidade para época de maturação, podendo as plantas, dentro das progênies, ser classificadas como precoces, médias e tardias (Mônaco et al., 1974). Nessa época, o IAC realizava um estudo extensivo de cafeeiros com resistência horizontal, e se preocupava com os materiais no futuro, que deveriam apresentar, além de produtividade e resistência à ferrugem, boa qualidade do produto (Carvalho & Mônaco, 1971). Analisando a qualidade de bebida do café Icatu, verificou-se que com apenas um cruzamento de robusta e arábica, a qualidade da bebida já parecia igualar-se à do arábica, com a vantagem de se observar essa característica para materiais promissores, com exceção de algumas progênies (Fazuoli et al., 1977). Os cafeeiros selecionados mostraram-se resistentes à maioria das raças fisiológicas do agente causal da ferrugem. Nesse material observa-se, desde cafeeiros imunes, até aqueles com apenas um leve ataque, nos quais as pústulas e a esporulação são mínimas e outros com esporulação mais intensa. Mesmo nas plantas com sintomas de ataque da ferrugem, as folhas são

mais persistentes, o que confere tolerância quando comparadas às cultivares suscetíveis (Guimarães et al., 2002).

Nesses vários anos de convivência com a ferrugem, novas raças surgiram, o que é indicativo de ser melhor trabalhar com materiais que apresentam resistência mais complexa e duradoura (Carvalho, 1985). No CIFC, usando uma série de clones identificadores próprios, 31 raças de *Hemileia vastatrix* já foram identificadas (Pereira & Sakiyama, 1999). O conhecimento do controle genético da resistência a doenças é importante para se prever sua possível durabilidade. São conhecidos nove genes que conferem resistência ao cafeeiro (Silva, 2000). A cultivar 'Icatu' caracteriza-se por apresentar resistência incompleta ao agente causal da ferrugem, podendo ser específica ou de natureza poligênica (Mendes, 1994). Estudos genéticos em Icatu devem ser analisados com critério devido à origem híbrida interespecífica, o que pode causar irregularidades no processo meiótico e distorcer os resultados da segregação (Eskes et al., 1990).

A cultivar 'Icatu', dada a sua origem, se assemelha muito à cultivar Mundo Novo (pelo menos 95% dos alelos presentes em suas progênes são oriundos de 'Bourbon Vermelho' – um dos ancestrais de 'Mundo Novo' e de 'Mundo Novo' – através dos três retrocruzamentos realizados). O porte da planta é alto (em média ao redor de 3,0 metros), o diâmetro da copa a 1,5m do solo é de 2,2 a 2,4 metros e o sistema radicular é bastante desenvolvido. A ramificação produtiva secundária é abundante e a coloração das folhas quando novas é variável, de verde, bronze clara até bronze escura. A época do florescimento é normal, semelhante à 'Mundo Novo', porém, a época de maturação dos frutos é bastante variável de acordo com a progênie classificada em precoce, normal e tardia, possibilitando o escalonamento de colheita em propriedades com mais de uma progênie de 'Icatu' (Mendes & Guimarães, 1998; Bartholo & Mendes, 1998). Segundo Fazuoli (1991), existe uma variação de 1,7% a 33,9% na taxa de cruzamento natural em germoplasma de 'Icatu', presumivelmente em razão da

auto-incompatibilidade apresentada pela espécie *C. canephora*, um de seus ancestrais.

Nas primeiras avaliações do café 'Icatu', realizadas pela Seção de Genética do IAC, sua produtividade média foi inferior às testemunhas e a amplitude de variação de produtividade em algumas progênies foi relativamente alta, apresentando plantas que suplantaram as testemunhas. Esse comportamento é facilmente explicável, pois se tratava de um material em fase inicial de seleção, indicando que se poderia obter ganhos com a seleção, através de plantas produtivas dentro das progênies (Costa, 1978; Fazuoli et al., 1981). Pereira & Netto (1981) comentam que haveria possibilidade de seleção de progênies de 'Icatu' produtivas e adaptadas a regiões onde se instalavam os ensaios, mas isto só poderia ser confirmado com o prosseguimento das observações relativas à produtividade, resistência à ferrugem, características da descendência, características agrônômicas e comerciais e outras. O café 'Icatu' constituía-se, pois, de um germoplasma bastante promissor para fins de melhoramento, por apresentar variabilidade genética para várias características de interesse econômico (Fazuoli et al., 1981). Através de um estudo dentro de progênies de 'Icatu', houve um significativo avanço da seleção em algumas progênies para uma série de características desejadas, obtendo-se plantas produtivas, vigorosas, precoces para a maturação, com frutos vermelhos ou amarelos, baixa porcentagem de frutos chochos, baixa quantidade de semente moca e ausência de plantas anormais na descendência, além da resistência à ferrugem (Costa et al., 1981). O aparecimento de frutos de coloração amarela no germoplasma Icatu é devido a cruzamentos naturais das plantas originais dessa população com cafeeiros selecionados de 'Bourbon Amarelo' ou plantas de genótipo xcx, derivadas do cruzamento 'Bourbon Amarelo' x 'Mundo Novo', que circundavam as plantas que deram origem à 'Icatu' (Fazuoli et al., 1981). Atualmente, comparando-se progênies de café 'Icatu' com outras cultivares, constata-se que algumas dessas progênies apresentam produções mais altas,

mesmo quando comparadas com plantas nas quais o controle da ferrugem é feito quimicamente (Alvarenga et al., 1998).

Foram calculados parâmetros genéticos e fenotípicos (variância genética entre progênes, variância fenotípica média, coeficiente de variação fenotípica, genética e experimental e herdabilidade no sentido amplo), principalmente da produção e de algumas características vegetativas como altura e diâmetro da copa e índice de avaliação visual de vigor para progênes de café Icatu em seleção, utilizando gerações F_2RC_2 , F_3RC_2 , F_4RC_2 e F_5RC_2 em diferentes locais e os dados mostraram que, mesmo em gerações mais avançadas de progênes de 'Icatu', os valores dos coeficientes de herdabilidade no sentido amplo mantiveram-se em níveis elevados para produção e também para as características vegetativas estudadas, indicando um ganho genético considerável (Fazuoli et al., 2000b).

Com o objetivo de verificar a possibilidade de se efetuar seleção antecipada, bem como estudar a eficiência da mesma no café 'Icatu', foi realizado um estudo onde os dados mostraram que a avaliação de cafeeiros 'Icatu' mais produtivos, dentro das melhores progênes, requereu dois, três ou quatro anos de colheitas consecutivas com intensidade de seleção de 50% ou mais branda. Concluiu-se também que a escolha dos melhores cafeeiros do germoplasma 'Icatu' deverá sempre ser efetuada em anos de alta produção. Em muitos casos, a eficiência da seleção nesses anos de alta produção é maior do que uma seleção antecipada utilizando dados dos três primeiros anos de colheitas consecutivas (Fazuoli et al., 2000a).

Em Minas Gerais, desde meados da década de 1970, o Sistema Estadual de Pesquisa Agropecuária (EPAMIG – UFLA – UFV) vem realizando a seleção de 'Icatu', a partir de material segregante introduzido do IAC. Várias seleções foram realizadas e as melhores progênes receberam a denominação de IAC-2942 ('Icatu Vermelho'), IAC-2944 ('Icatu Amarelo') e IAC-3282 ('Icatu Precoce'), sendo esta última assim denominada por ser a mais precoce, em

termos de maturação, que se dispõe para o plantio no Estado. Outras seleções, trabalhadas somente pelo IAC também têm apresentado bom comportamento no estado, como LCG-2945 ('Icatu Vermelho') e LC-2907 ('Icatu Amarelo') (Mendes & Guimarães, 1998).

Portanto, o café 'Icatu' se revela de valor incontestável, por aliar alta rusticidade a uma boa produtividade, variação para resistência vertical e horizontal ao agente da ferrugem, resistência a nematóides e a *Colletotrichum coffeanum*, além de boa qualidade do produto (Carvalho et al., 1976; Paulino & Fazuoli, 1979; Fazuoli et al., 1984). Essa resistência não específica provinda de *C. canephora* é particularmente útil para uma planta perene como o cafeeiro (Carvalho et al., 1991).

2.5 Interação genótipos por ambientes

A avaliação de genótipos promissores em vários ambientes é a última das etapas de um programa de melhoramento genético de plantas, que tem por objetivo a obtenção de cultivares que possam ser recomendadas aos produtores. Entretanto, a não coincidência de algumas características importantes, principalmente produtividade, nos vários ambientes, constitui um agravante nos programas de melhoramento. Essa não coincidência é conhecida como Interação Genótipos por Ambientes. Ela dificulta a classificação dos genótipos, impedindo que a mesma obtida para um determinado ambiente possa ser utilizada em outros. As variações ambientais que contribuem para as interações com os genótipos podem ser agrupadas nas categorias previsíveis e imprevisíveis. Na primeira categoria incluem-se todos os fatores permanentes do ambiente, como as características gerais de clima e solo, outras que flutuam de uma maneira sistemática, como o comprimento do dia, grau de insolação, além daquelas controladas pelo homem, como as práticas agrônomicas em geral. Na categoria imprevisíveis podem-se citar a distribuição de chuva, as oscilações de

temperatura, o ataque de pragas e doenças, dentre outras (Allard & Bradshaw, 1964; Vencovsky & Barriga, 1992).

A interação só pode ser identificada a partir de uma tabela de dupla entrada, isto é, são necessários experimentos, onde pelo menos dois genótipos são avaliados, repetidos em pelo menos dois ambientes. Procede-se então a uma análise conjunta dos dados e verifica-se a presença ou ausência da interação, dependendo se ela for significativa ou não (Rosse, 1999). O fato da interação se mostrar significativa, não obrigatoriamente se deve à diferença na adaptabilidade dos genótipos. Outros fatores podem estar relacionados, como, por exemplo, a falta de ajuste dos dados ao modelo estatístico adotado (Chaves et al., 1989). Ao contrário, a interação também pode se mostrar não significativa devido ao desajuste dos dados ao modelo estatístico (Zobel et al., 1988).

Em função da tabela de dupla entrada, pode ocorrer ausência de interação, interação simples e interação complexa. Assim, a existência da interação está associada a dois fatores: o primeiro, denominado parte simples, é proporcionado pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes, e o segundo, denominado parte complexa, pela falta de correlação entre os genótipos. Quando é atribuída ao segundo fator, a interação proporciona dificuldades no melhoramento, pois indica a inconsistência da superioridade do genótipo com relação à variação ambiental, isto é, há genótipos com melhor desempenho em um ambiente, mas não em outros, tornando mais difícil selecioná-los e ou recomendá-los (Cruz & Castoldi, 1991). A presença da interação complexa quase sempre indica a existência de genótipos adaptados a ambientes específicos e geralmente não associados com alto potencial produtivo (Ramalho et al., 1993). Considerando um número maior de genótipos e de ambientes, existem inúmeras possibilidades de interações, sendo que em somente uma delas um único genótipo será o melhor em todos os ambientes (Allard & Bradshaw, 1964).

Existem algumas opções para minimizar o efeito da interação. A primeira seria identificar genótipos específicos para cada ambiente, sendo de difícil execução e dispendiosa; a segunda opção seria realizar zoneamento ecológico, ou seja, estratificar uma região em outras menores de modo que os genótipos dentro de cada micro-região não interajam significativamente com os ambientes (esta opção não controla a interação genótipos x anos); a terceira e a mais utilizada seria identificar genótipos de ampla estabilidade e adaptabilidade (Rosse, 1999; Cruz & Castoldi, 1991).

É importante avaliar a magnitude das interações do tipo genótipos x locais, genótipos x anos ou mesmo outras. Esse conhecimento orienta o planejamento e estratégias de melhoramento, na recomendação de cultivares, além de ser determinante na questão da estabilidade fenotípica das cultivares, para uma dada região. A vantagem de haver interação manifestando-se seria a possibilidade de capitalizá-la, selecionando ou recomendando genótipos em função do seu grau de adaptação aos ambientes. Quanto mais avançado o programa de melhoramento de uma espécie, mais se capitalizam as interações (Vencovsky & Barriga, 1992).

2.6 Adaptabilidade e estabilidade

Adaptabilidade e estabilidade são fenômenos relacionados, mas com conceitos diferentes (Vencovsky & Barriga, 1992). Mariotti et al. (1976) considera a adaptabilidade como o potencial de genótipos para assimilarem vantajosamente o estímulo ambiental, do ponto de vista da produtividade. Por um longo período a maioria dos melhoristas utilizou o termo estabilidade para caracterizar um genótipo que sempre mostrava uma produção constante, independente do ambiente. Esta idéia de estabilidade está em concordância com o conceito de homeostase, e é chamada de estabilidade biológica. Wricke (1962, 1964), citados por Becker (1981), quando propôs calcular a ecovalência, que é a

contribuição de um genótipo para a soma de quadrados da interação genótipos por ambientes, instituiu outro conceito de estabilidade denominada estabilidade agronômica. Por este conceito, um genótipo é considerado estável quando apresenta interações mínimas com os ambientes (Becker, 1981).

Lin et al. (1986), classificaram a estabilidade em três conceitos: tipo1 - um genótipo é considerado estável se sua variância entre ambientes é baixa; tipo2 – um genótipo é considerado estável se sua resposta aos ambientes for paralela à média das respostas de todos os genótipos do ensaio; tipo 3 - um genótipo é considerado estável se o quadrado médio do resíduo do modelo de regressão é pequeno. Lin & Binns (1988) propuseram o conceito tipo 4 – Este tipo de estabilidade é conhecido como estabilidade estatística e está baseada na variação ambiental previsível (relacionada com locais) e imprevisível (relacionada com anos) (Kang, 1998) É considerado estável, pelo conceito tipo 4, aquele genótipo que apresentar o menor quadrado médio do efeito de anos dentro de locais (Arias, 1996). O tipo1 e o tipo 2 são análogos aos conceitos biológico e agronômico, respectivamente. Genótipos com estabilidade do tipo 1 estão freqüentemente associados com uma resposta relativamente pobre e baixa produtividade em ambientes que permitem alta produtividade para outros genótipos. Outra observação importante é que a estabilidade do tipo 2 é uma medida relativa, dependendo dos genótipos que estão incluídos no experimento, podendo-se inferir apenas sobre eles, não devendo ser generalizada (Lin et al., 1986; Lin & Binns, 1988). Basicamente, um genótipo estável seria aquele que, cultivado em vários ambientes, apresentaria pouca oscilação para o caráter avaliado, quando comparado a outros genótipos (Rosse, 1999). Verma et al. (1978) definem como genótipo ideal aquele que apresenta alta produtividade associada com alta estabilidade em ambientes desfavoráveis e são capazes de responder satisfatoriamente em ambientes favoráveis.

Várias metodologias são propostas para se determinar a estabilidade e adaptabilidade de um grupo de genótipos, de modo que possam ser

recomendados ou descartados. Todas as metodologias apresentam suas vantagens e desvantagens, tornando-se difícil definir qual seja a mais apropriada. A escolha de uma ou outra depende dos dados experimentais, da precisão requerida e do tipo de informação desejada. Deve-se considerar que algumas metodologias são alternativas, enquanto outras são complementares, podendo ser utilizadas conjuntamente (Cruz & Regazzi, 2001).

Yates & Cochran (1938), Plaisted & Peterson (1959) e Plaisted (1960) são citados por Rosse (1999) como os pioneiros na exploração da interação genótipos x ambientes significativa e argumenta que em virtude dessas metodologias não apresentarem maiores detalhes dos efeitos ambientais sobre os genótipos, não são mais utilizadas, mas foram a base para que outras metodologias fossem desenvolvidas.

As metodologias mais empregadas para estudar a estabilidade são as que se baseiam na regressão linear. O índice ambiental é utilizado como medida da produtividade do ambiente para contornar a complexidade da formulação de relações com as muitas variáveis ambientais que influenciam o rendimento, como a precipitação, a temperatura, a fertilidade do solo, etc., que são de difícil mensuração e sobre as quais usualmente não se dispõe de dados (Silva, 1995a). Os parâmetros estimados pela análise de regressão que propiciam uma caracterização da relação entre genótipos e ambientes são o coeficiente de regressão e o quadrado médio do desvio de regressão, associados ao rendimento médio (Becker, 1981).

A metodologia de Eberhart & Russel (1966) classifica os genótipos através da obtenção dos parâmetros: coeficiente de regressão (b), um indicador de que os genótipos são estáveis ($b = 1,0$), adaptados a ambientes acima da média ($b > 1,0$) ou a ambientes pobres ($b < 1,0$), e o quadrado médio do desvio de regressão (s^2d) que mede a confiabilidade de uma resposta linear, caracterizando um genótipo estável, quando próximo de zero. Um genótipo é considerado ideal

se combinar estabilidade e elevado rendimento médio (Becker, 1981; Silva, 1995a).

Silva & Barreto (1985), com o objetivo de identificar genótipos que sejam responsivos em ambientes favoráveis e mantenham produção razoável em ambientes adversos, propuseram uma metodologia capaz de representar a resposta de um genótipo à gama de ambientes por um gráfico composto de dois segmentos de reta conectados no ponto correspondente ao índice ambiental nulo. Esse modelo permite distinguir os diversos padrões de resposta que compreendem as combinações de taxas de variação baixa, média e elevada nos ambientes desfavoráveis e favoráveis. O método de regressão linear simples não faz distinção entre estes padrões. De acordo com a metodologia proposta, o genótipo ideal é aquele que combina elevado rendimento médio, taxa de resposta baixa nos ambientes desfavoráveis e elevada, nos ambientes favoráveis. O modelo linear segmentado se reduz ao modelo de regressão linear simples quando a diferença das declividades dos dois segmentos de reta é nula para cada genótipo (Silva, 1995a, b). O modelo linear segmentado foi primeiramente proposto por Verma et al. (1978) e posteriormente aperfeiçoado por Silva & Barreto (1985).

Cruz et al. (1989) apresentam uma modificação na metodologia de Silva & Barreto (1985), que permite uma simplificação na obtenção das estimativas dos parâmetros e das somas de quadrados, fornece estimativas com desvios-padrão menores e possibilita uma avaliação mais exata da correlação genética que pode existir entre os padrões de estabilidade, para um dado caráter (Cruz et al. 1989; Duarte & Zimmermann, 1994).

Lin & Binns (1988) propuseram um método em que a medida de superioridade do comportamento de um genótipo é definida como sendo a distância do quadrado médio entre a resposta do genótipo e a máxima resposta média sobre todos os locais. Considerando-se que M_j seja o máximo, e P_i seja um desvio deste máximo, um baixo P_i indica superioridade geral do genótipo em

teste. Para evitar que um genótipo pobre em adaptabilidade geral, mas rico em adaptabilidade específica seja descartado, calcula-se também o componente genético pelo máximo, sendo que um valor baixo deste componente indica paralelismo de resposta nos ambientes. Esse método possibilita incluir genótipos de baixa estabilidade com o objetivo de identificar genótipos de adaptabilidade específica.

Annicchiarico (1992) propôs outra metodologia conhecida como Índice de Confiança (reliability index), na qual se estima o risco de adoção de determinado genótipo. O resultado obtido para cada genótipo se refere à probabilidade que esse material apresente desempenho abaixo do padrão considerado.

Os métodos de estabilidade que utilizam a análise de regressão são mais simples e mais fáceis de serem interpretados biologicamente. No entanto, apresentam algumas importantes limitações. A primeira limitação seria que a análise de regressão é informativa quando não apresenta linearidade; a segunda limitação se dá pelo fato deste tipo de análise ser altamente dependente do grupo de genótipos e ambientes utilizados. A terceira limitação envolve a tentativa de se simplificar demais o padrão de resposta, considerando a interação em apenas uma dimensão, quando na realidade ela pode ser mais complexa (Crossa, 1990). Uma grande crítica que se faz aos métodos que utilizam a regressão é a não independência da média do genótipo e a média do ambiente. Uma alternativa para eliminar este problema seria a utilização de outro índice ambiental que não fosse a média dos genótipos, como a adoção do desempenho da testemunha como índice ambiental (Ferreira et al., 1992; Mendes, 1994).

A classificação dos genótipos em um dos tipos de estabilidade citados anteriormente é difícil, e a razão básica desta dificuldade é que a resposta do genótipo aos ambientes é multivariada, ainda que um método paramétrico tente transformá-la em um problema univariado, através de um índice de estabilidade. Para escapar deste dilema, existe uma linha diferente de pensamento na qual se

procura agrupar genótipos de acordo com suas estruturas de resposta. A vantagem é que a classificação de um genótipo pode ser independente do grupo no qual foi analisado. A implicação disto é que se pode preservar a informação da estabilidade tipo 2, mas sem a limitação deste tipo de estabilidade, ou seja, podem-se generalizar os resultados (Lin & Binns, 1986).

Neste sentido foi proposta a análise AMMI (modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa) por Mandel (1971), que associa um modelo aditivo e multiplicativo, permitindo um detalhamento maior da soma de quadrados da interação (Zobel et al., 1988). Piepho (1995) comenta que este método foi primeiramente proposto no campo das Ciências Sociais e Físicas. Oliveira et al. (2003) enumeram algumas vantagens desta metodologia como a análise mais detalhada da interação genótipos x ambientes, capitalizando as interações positivas com os ambientes; propicia estimativas mais precisas das respostas genotípicas; possibilita fácil interpretação dos resultados através de sua representação gráfica, onde são plotados os escores dos efeitos da interação para cada genótipo e para cada ambiente, simultaneamente. Esse gráfico fornece informações sobre a estabilidade, além de permitir a realização de zoneamento ecológico (Duarte & Vencovsky, 1998; Pereira & Costa, 1998). O detalhamento da interação, por esta metodologia, se faz pela decomposição da soma de quadrados original, em uma porção denominada padrão e noutra denominada ruído. A primeira possibilita a identificação de fatores ambientais e genotípicos mais diretamente relacionados à interação, sendo obtida após o descarte de ruídos adicionais ao erro experimental. Isso proporciona uma melhoria na capacidade preditiva das respostas fenotípicas (Oliveira et al., 2003; Gauch & Zobel, 1996).

Zobel et al. (1988) e Crossa (1990), compararam três análises estatísticas tradicionais, a Análise de Variância (ANAVA), a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Regressão Linear com a análise AMMI (modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa). Concluíram que a ANAVA falha

no sentido de detectar a significância do componente de interação porque assume um modelo completamente aditivo, tratando a interação como um resíduo; a PCA não identifica e nem separa a significância dos efeitos de genótipos e ambientes, uma vez que utiliza um modelo completamente multiplicativo, sem nenhuma descrição de efeitos principais; e a Regressão Linear, por utilizar somente uma estatística, o coeficiente de regressão, participa com pequena porção da soma de quadrados da interação, perdendo-se a maioria da informação. A análise AMMI, por outro lado, revela um componente de interação altamente significativo, apresentando claramente um significado agrônomo. Os autores argumentam ainda que as análises tradicionais (ANAVA, PCA e Regressão Linear) são componentes da análise AMMI e podem ser detectadas por esta análise.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais, detalhes experimentais, condução e progênies avaliadas

Os experimentos foram instalados em Fazendas Experimentais da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), em dois locais no município de Machado e em um local no município de São Sebastião do Paraíso, ambos os municípios localizados no sul de Minas Gerais. O primeiro local é o Campo Experimental de Machado – EPAMIG, denominado neste estudo de “Aeroporto”, a 840 metros de altitude, em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico, sob vegetação de cerrado e relevo plano. O segundo local é a Fazenda Experimental de Machado – EPAMIG, denominada neste estudo de “Sede”, a 960 metros de altitude em solo Argissolo Vermelho eutroférico, de alta fertilidade natural e relevo fortemente ondulado. O terceiro é a Fazenda Experimental de São Sebastião do Paraíso - EPAMIG, localizada a 940 metros de altitude, em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico, sob vegetação de floresta subcaducifólia transicional para cerrado e relevo suave ondulado. Apesar de dois locais se encontrarem no mesmo município, as particularidades dos mesmos permitem que sejam tomados como locais distintos.

O delineamento experimental utilizado foi o DBC (Delineamento em Blocos Casualizados), sendo os tratamentos compostos por 14 progênies de cafeeiros das cultivares Icatu (11), Mundo Novo (2) e Catuaí (1), com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por seis plantas. Na Tabela 1 encontra-se a relação das progênies utilizadas.

Utilizou-se o espaçamento 4x1m no Campo Experimental de Machado e na Fazenda Experimental de São Sebastião do Paraíso e o espaçamento 3x1m na Fazenda Experimental de Machado.

A instalação dos experimentos foi feita de acordo com as recomendações técnicas apropriadas para a cultura do cafeeiro nas fases de plantio e formação da lavoura. Quanto às adubações de solo e foliares, estas foram realizadas de acordo com a 4ª Aproximação (CFSEMG, 1989). Não foi realizado o controle de ferrugem, sendo que a aplicação de cobre, utilizada em pequenas doses, visou apenas o aspecto nutricional.

Avaliou-se a produção de grãos das progênies (Tabela 1) na época da colheita, no estádio de café cereja, pesando-se a produção de cada planta em separado e obtendo-se a média por parcela, em quilograma. Posteriormente procedeu-se à conversão para a produtividade (sacas de 60 kg de café beneficiado/ ha). Para realizar a conversão utilizou-se a seguinte fórmula (Produtividade = $[(\text{kg/planta} * 0,2) * \text{n}^\circ \text{ plantas/ha}] / 60 \text{ kg}$), onde se considera que 10 quilogramas de café da “roça” equivale a 2 quilogramas de café beneficiado, ou seja um rendimento em peso de 20% (Mendes, 1941 citado por Mendes, 1994).

Foram realizadas oito colheitas em cada local, sendo que a primeira colheita dos locais em Machado foi na safra 1993/1994 e em São Sebastião do Paraíso a primeira colheita foi na safra de 1994/1995. A última colheita (oitava) ocorreu na safra de 2000/2001 em Machado e em São Sebastião do Paraíso na safra de 2001/2002.

TABELA 1. Relação das progênies avaliadas em experimentos instalados em Machado e São Sebastião do Paraíso – MG. UFLA, 2004.

Nº	Progênie
1	Icatu IAC – 2942
2	Icatu IAC - 2944
3	Icatu IAC - 3282
4	Icatu IAC – 4040 –179
5	Icatu IAC – 4040 – 181
6	Icatu IAC – 4040 - 315
7	Icatu IAC – 4042 – 114
8	Icatu IAC – 4042 - 222
9	Icatu IAC – 4045 – 47
10	Icatu IAC – 4228 – 101
11	Icatu IAC – 4782
12	Catuaí IAC – 44
13	Mundo Novo IAC – 379 - 19
14	Mundo Novo IAC – 388 –17

3.2 Análises Estatísticas

A análise de variância foi realizada para cada colheita em cada local, separadamente. Posteriormente realizou-se a análise em biênios em cada local. Cada biênio foi considerado uma subparcela no tempo, utilizando o esquema de parcelas subdivididas no tempo para a análise dos dados, proposto por Steel & Torrie (1980). Finalmente realizou-se a análise conjunta progênies por locais, considerando cada biênio uma subparcela, também no esquema de parcelas subdivididas no tempo. As médias das progênies foram comparadas pelo teste proposto por Scott & Knott (1974).

Utilizou-se o agrupamento das colheitas em biênios baseando-se em trabalhos anteriores nos quais foram testados outros agrupamentos e verificou-se que o mesmo feito em biênios propiciou uma redução dos efeitos da bienalidade, aumentando a precisão (Carvalho, 1989; Mendes, 1994).

Considerou-se como fixo o efeito de progênies e de biênios e os demais efeitos aleatórios. Seguem-se os modelos a partir dos quais as análises foram realizadas, bem como os esquemas de análise de variância (Tabelas 2 e 3), baseados em Mendes (1994).

Modelo para análise no esquema de parcelas subdivididas no tempo, em cada local:

$$Y_{ijk} = m + p_i + b_j + (pb)_{ij} + c_k + (pc)_{ik} + (bc)_{jk} + e_{(ijk)}$$

em que:

Y_{ijk} : valor médio observado na parcela que recebeu a progênie i, da colheita ou biênio k, no bloco j;

m : média geral;

p_i : efeito da progênie i, sendo $i = 1, 2, \dots, I$;

b_j : efeito do bloco j, sendo $j = 1, 2, \dots, J$;

$(pb)_{ij}$: efeito da interação da progênie i com o bloco j (erro experimental ao nível de parcelas);

c_k : efeito da colheita ou biênio k, sendo $k = 1, 2, \dots, K$;

$(pc)_{ik}$: efeito da interação da progênie i com a colheita ou biênio k;

$(bc)_{jk}$: efeito da interação do bloco j com a colheita ou biênio k;

$e_{(ijk)}$: erro experimental ao nível de subparcelas, considerado independente e normalmente distribuído, com média zero e variância constante.

TABELA 2. Esquema da análise de variância, esperança dos quadrados médios, E(QM), e expressões utilizadas para o teste F e estimadores dos componentes de variância das análises de variância, no esquema de parcelas subdivididas no tempo, em cada local.

FV	QM	E(QM)	F
Blocos (B)	Q1	$\sigma_e^2 + I \sigma_{bc}^2 + IK \sigma_b^2$	Q1/Q3
Progênieis (P)	Q2	$\sigma_e^2 + J(I/I-1) \sigma_{pc}^2 + K(I/I-1) \sigma_{pb}^2 + JK V_p$	Q2/(Q3+Q6-Q7)
Erro (a)	Q3	$\sigma_e^2 + K(I/I-1) \sigma_{pb}^2$	-
Biênios (C)	Q4	$\sigma_e^2 + I \sigma_{bc}^2 + IJ \sigma_c^2$	Q4/Q7
B x C	Q5	$\sigma_e^2 + I \sigma_{bc}^2$	Q5/Q7
P x C	Q6	$\sigma_e^2 + J(I/I-1) \sigma_{pc}^2$	Q6/Q7
Erro (b)	Q7	σ_e^2	-

$V_p = (Q2 + Q7 - Q3 - Q6) / JK$
 $\sigma_{pc}^2 = (Q6 - Q7) / J (I / I-1)$
 $\sigma_F^2 = Q2 / JK$

em que:

I, J e K : número de progênieis, de blocos e de biênios, respectivamente;

$V_p : \sigma_p = (\sum_{i=1}^I p_i^2) / (I-1)$: forma quadrática referente à variação dos efeitos fixos de progênieis;

σ_{pc}^2 : variância da interação progênieis x biênios;

σ_F^2 : variância fenotípica média.

Modelo para análise conjunta no esquema de parcelas subdivididas no tempo de progênieis por locais.

$$Y_{ijkl} = m + p_i + a_l + (pa)_{il} + b_{j(l)} + (bp)_{ji(l)} + c_k + (ac)_{lk} + (bc)_{jk(l)} + (pc)_{ik} + (pca)_{ikl} + e_{(ijkl)}$$

em que:

Y_{ijkl} : valor médio observado na parcela que recebeu a progênie i, do bloco j, da colheita ou biênio k, no local l;
 m: média geral;
 p_i : efeito da progênie i, sendo $i = 1, 2, \dots, I$;
 a_l : efeito do local l, sendo $l = 1, 2, \dots, L$;
 $(pa)_{il}$: efeito da interação da progênie i com o local l;
 $b_{j(l)}$: efeito do bloco j dentro do local l;
 $(bp)_{j(i)l}$: efeito da interação do bloco j com a progênie i, dentro do local l (erro experimental ao nível de parcelas);
 c_k : efeito da colheita ou biênio k, sendo $k = 1, 2, \dots, K$;
 $(ac)_{lk}$: efeito da interação do local l com a colheita ou biênio k;
 $(bc)_{j(k)l}$: efeito da interação do bloco j com a colheita ou biênio k, dentro do local l;
 $(pc)_{ik}$: efeito da interação da progênie i com a colheita ou biênio k;
 $(pca)_{ikl}$: efeito da interação da progênie i com a colheita ou biênio k e com o local l;
 $e_{(ijkl)}$: erro experimental ao nível de subparcelas, considerado independente e normalmente distribuído, com média zero e variância constante.

Quando se tem uma combinação de quadrados médios no numerador ou no denominador, para utilizar a tabela da distribuição de F, aplica-se a expressão de Satterthwaite, visando à obtenção dos graus de liberdade associados ao numerador e ao denominador (Ramalho et al., 2000). A aplicação dessa expressão se fez necessária nas análises segundo o esquema de parcelas subdivididas no tempo.

TABELA 3. Esquema da análise de variância, esperança dos quadrados médios, E(QM), e expressões utilizadas para o teste F e estimadores dos componentes de variância das análises de variância conjunta de progênes x locais, no esquema de parcelas subdivididas no tempo.

FV	QM	E(QM)	F
Blocos(B) / Locais	Q1	$\sigma_e^2 + I \sigma_{bc}^2 + IK \sigma_b^2$	Q1/Q5
Progênes (P)	Q2	$\sigma_e^2 + J(I/I-1) \sigma_{pca}^2 + JL(I/I-1) \sigma_{pc}^2 + K(I/I-1) \sigma_{pb}^2 + JK(I/I-1) \sigma_{pa}^2 + JKL V_p$	Q2/(Q4+Q9-Q10)
Locais (L)	Q3	$\sigma_e^2 + I \sigma_{bc}^2 + IJ \sigma_{ac}^2 + IK \sigma_b^2 + IJK \sigma_a^2$	Q3/(Q1+Q7-Q8)
P x L	Q4	$\sigma_e^2 + J(I/I-1) \sigma_{pca}^2 + K(I/I-1) \sigma_{pb}^2 + JK(I/I-1) \sigma_{pa}^2$	Q4/(Q5+Q10-Q11)
Erro (a)	Q5	$\sigma_e^2 + K(I/I-1) \sigma_{pb}^2$	-
Biênios (C)	Q6	$\sigma_e^2 + I \sigma_{bc}^2 + IJ \sigma_{ac}^2 + IJL \sigma_c^2$	Q6/Q11
L x C	Q7	$\sigma_e^2 + I \sigma_{bc}^2 + IJ \sigma_{ac}^2$	Q7/Q11
B x C / (L)	Q8	$\sigma_e^2 + I \sigma_{bc}^2$	Q8/Q11
P x C	Q9	$\sigma_e^2 + J(I/I-1) \sigma_{pca}^2 + JL(I/I-1) \sigma_{pc}^2$	Q9/Q11
P x C x L	Q10	$\sigma_e^2 + J(I/I-1) \sigma_{pca}^2$	Q10/Q11
Erro (b)	Q11	σ_e^2	-

$$V_p = (Q2 + Q10 - Q4 - Q9) / JKL$$

$$\sigma_{pa}^2 = (Q4 + Q11 - Q5 - Q10) / JK (I/I-1)$$

$$\sigma_{pc}^2 = (Q9 - Q10) / JL (I/I-1)$$

$$\sigma_{pca}^2 = (Q10 - Q11) / J (I/I-1)$$

$$\sigma_F^2 = Q2 / JKL$$

em que:

I, J, K e L correspondem ao número de progênes, de blocos, de biênios e de locais, respectivamente;

$V_p : \phi_p = (\sum_{i=1}^I p_i^2) / (I-1)$: forma quadrática referente à variação dos efeitos fixos de progênes;

σ_{pa}^2 , σ_{pc}^2 , σ_{pca}^2 correspondem às variâncias das interações progênes x locais, progênes x biênios, progênes x biênios x locais;

σ_F^2 : variância fenotípica média.

Coeficiente de determinação genotípica

Como o efeito de progênies neste estudo é considerado fixo, não se pode estimar a herdabilidade (h^2). Por isso, estima-se o coeficiente de determinação genotípica, que tem função semelhante à herdabilidade no sentido amplo. Sua estimativa se dá através da razão entre V_p (variação dos efeitos fixos de progênies) e σ_F^2 (variância fenotípica média), ambas estimadas a partir da análise de variância.

$$b^2 = V_p / \sigma_F^2$$

3.3 Análise de estabilidade e adaptabilidade

Para se avaliar a estabilidade das progênies, as seguintes metodologias foram utilizadas: Eberhart & Russel (1966), Lin & Binns (1988), Annicchiarico (1992) e a metodologia AMMI. Conforme Mendes (1994), Oliveira et al. (2003), e Wamatu et al. (2003), definiu-se como ambiente cada biênio em cada local, ou seja, 12 ambientes, como mostra a Tabela 4.

TABELA 4. Relação dos ambientes utilizados para a avaliação da estabilidade de acordo com a combinação de locais e biênios. UFLA, 2004.

LOCAIS	BIÊNIOS			
	I	II	III	IV
Machado/Aeroporto	1	2	3	4
Machado/Sede	5	6	7	8
S. S. Paraíso	9	10	11	12

3.3.1 Metodologia de Eberhart & Russel (1966)

Inicialmente empregou-se a metodologia proposta por Cruz et al. (1989), baseada em regressão linear bi segmentada. Para as progênes em estudo, não se rejeitou a hipótese de nulidade ($H_0: B_{2i} = 0$), indicando que o comportamento das progênes pode ser predito por uma única reta (Cruz et al., 1989). Assim, conforme indicação destes próprios autores, utilizou-se a metodologia de Eberhart & Russel (1966). Esta metodologia apresenta o seguinte modelo para se estimar os parâmetros de estabilidade:

$$Y_{ij} = m_i + b_i I_j + \delta_{ij} + e_{ij}$$

em que:

Y_{ij} : produtividade média da progênie i no ambiente j;

m_i : média do genótipo i em todos os ambientes;

b_i : coeficiente de regressão linear da progênie i;

I_j : índice ambiental;

δ_{ij} : desvio de regressão da progênie i no ambiente j;

e_{ij} : erro experimental médio associado à observação Y_{ij} , considerado independente e normalmente distribuído, com média zero e variância constante.

Esse método é baseado na análise de regressão linear e tem como parâmetros de adaptabilidade a produtividade média de cada progênie. O coeficiente de regressão linear (b_i) é utilizado como padrão de resposta da progênie aos diferentes ambientes, e a estabilidade de cada progênie é avaliada pela variância dos desvios de regressão (s^2_d) ou pelo coeficiente de determinação (R^2).

3.3.2 Metodologia de Lin & Binns (1988)

O modelo para estimação dos parâmetros de estabilidade é:

$$P_i = \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2 / 2n$$

em que:

P_i : índice de estabilidade do genótipo i ;

Y_{ij} : produtividade do genótipo i no ambiente j ;

M_j : produtividade do genótipo com resposta máxima entre todos os genótipos no ambiente j ;

n : número de ambientes.

Desdobramento da equação:

$$P_i = [n (\bar{Y}_i - \bar{M})^2 + \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i - M_j + \bar{M})^2] / 2n$$

Considerando que M_j representa uma progênie hipotética, então o primeiro termo da equação representa a soma de quadrados para o efeito genético e o segundo termo é a soma de quadrados para o efeito da interação genótipos por ambientes. P_i é definido como uma medida de superioridade, sendo a distância entre o quadrado médio do genótipo i e o genótipo com resposta máxima (M_j).

3.3.3 Metodologia de Annicchiarico (1992)

Por esta metodologia estima-se o índice de confiança (I_i) de uma determinada progênie apresentar desempenho abaixo da média do ambiente.

Será considerada ideal a progênie que apresentar o menor risco de ser adotada, isto é, deve apresentar o maior índice de confiança. O modelo é o seguinte:

$$I_i = \bar{Y}_i - Z_{(1-\alpha)} \cdot S_i$$

em que:

I_i : índice de confiança (%);

\bar{Y}_i : média do genótipo i em percentagem;

Z : percentil $(1 - \alpha)$ da função de distribuição normal acumulada;

S_i : desvio padrão dos valores percentuais.

3.3.4 Metodologia AMMI

Esta metodologia baseia-se na estimativa dos efeitos principais aditivos para genótipos e ambientes pela análise de variância (ANAVA) e dos efeitos da interação pela análise dos componentes principais (ACP).

$$Y_{ij} = m + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + e_{ij}$$

em que:

Y_{ij} : produtividade da progênie i no ambiente j ;

m : média geral;

g_i : desvio médio da progênie i ;

e_j : desvio médio do ambiente j ;

λ_k : autovalor “ k ” do eixo da ACP;

γ_{ik} : score do ambiente j no eixo “ k ” da ACP;

α_{jk} : score da progênie i no eixo “ k ” da ACP;

n : número de eixos da ACP retidos no modelo;

ρ_{ij} : resíduo da ACP;

e_{ij} : erro experimental considerado independente e normalmente distribuído, com média zero e variância constante.

As análises dos dados foram realizadas pelos programas estatísticos Sisvar 4.3 e Estabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foi avaliada a característica produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 quilogramas por hectare, acumuladas em biênios de produção. Os resumos das análises de variância realizadas estão dispostos nas Tabelas 5 e 6.

Mendes (1994) realizou análises considerando as colheitas em vários agrupamentos e detectou uma redução no coeficiente de variação (CV) à medida que se aumentava o agrupamento. Porém, a redução mais acentuada no CV ocorreu quando se passou da análise de colheita para o agrupamento em biênios, sendo menor a redução desse agrupamento em diante. Essa constatação reforça a idéia de que o agrupamento das colheitas em biênios contribui para reduzir os efeitos da bialidade da produção, característica marcante no cafeeiro. Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho (1989).

Como mostra a Tabela 5, observa-se efeito significativo pelo teste de F para as fontes de variação biênios e para a interação progênes x biênios, nos três locais avaliados, sendo a fonte de variação biênios considerada subparcela, no esquema de parcela subdivida no tempo. Os CV's obtidos estão coerentes com outros trabalhos onde se utilizou o mesmo tipo de dado (produção em biênios), indicando boa precisão experimental. O coeficiente de determinação genotípica (b^2), que tem função semelhante à herdabilidade no sentido amplo, foi estimado porque o efeito de progênes é considerado fixo. As estimativas de σ_{pc}^2 foram 56,2399; 81,7580 e 14,1183 e dos coeficientes de determinação foram de 0,2493; 0,2014 e 0,3206 para os locais Aeroporto, Sede e São Sebastião do Paraíso, respectivamente.

Na análise conjunta (Tabela 6), as fontes de variação biênios, e as interações progênes x biênios e progênes x biênios x locais tiveram efeito significativo. Também nesta análise os CV's mostraram-se coerentes com outros

estudos. As estimativas das variâncias σ_{pa}^2 , σ_{pc}^2 e σ_{pca}^2 foram 4,7468; 28,4611 e 20,8515, respectivamente. Quando se realiza a análise conjunta em mais de um local, estima-se a variância de progênies (Vp) livre dos componentes devidos às interações progênies x locais, progênies x biênios e progênies x biênios x locais, permitindo mais eficiência na seleção de progênies nos programas de melhoramento do cafeeiro (Mendes, 1994). A estimativa do coeficiente de determinação genotípica foi de 0,2055. Esta estimativa e as anteriores obtidas para b^2 são também comparáveis com outras obtidas na literatura.

TABELA 5. Resumo da análise de variância no esquema de parcelas subdivididas no tempo para produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha/biênio, nos locais Machado/Aeroporto; Machado/Sede e São Sebastião do Paraíso – MG. UFLA, 2004.

FV	GL	QM		
		Machado/Aeroporto	Machado/Sede	S.S. Paraíso
Blocos (B)	3	67,14	1678,22	746,50
Progênies (P)	13	628,15 NS	1085,91 NS	267,49 NS
Erro (a)	39	247,38	515,03	120,93
Biênios (C)	3	59346,07 **	127299,32 **	10163,05 **
B x C	9	93,38 NS	253,01 NS	447,12 **
P x C	39	278,85 **	552,63 **	141,16 *
Erro (b)	117	54,58	200,44	80,34
CV a (%)		33,30	29,90	34,23
CV b (%)		15,65	18,65	27,90
Vp		9,7871	13,6682	5,3592
σ_{pc}^2		56,2399	81,7580	14,1183
b^2		0,2493	0,2014	0,3206

(NS), (**) e (*) Não significativo, significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste de F.

TABELA 6. Resumo da análise de variância conjunta no esquema de parcelas subdivididas no tempo para produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha/biênio, nos locais Machado/Aeroporto; Machado/Sede e São Sebastião do Paraíso – MG. UFLA, 2004.

FV	GL	QM	
Blocos (B) / (Locais)	9	830,62	
Progênes (P)	13	1049,50	NS
Locais (L)	2	110823,98	NS
P x L	26	466,03	NS
Erro (a)	117	294,42	
Biênios (C)	3	103400,01	**
B x C / (L)	27	264,51	**
L x C	6		**
		46704,22	
P x C	39	569,42	**
P x C x L	78	201,61	**
Erro (b)	351	111,79	
CV a (%)	33,16		
CV b (%)	20,43		
Vp	4,4930		
σ_{pa}^2	4,7468		
σ_{pc}^2	28,4611		
σ_{pca}^2	20,8515		
b^2	0,2055		

(NS) e (**) Não significativo e significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de F.

Na tabela 7 observa-se a produtividade média de cada progênie por biênio, nos três locais, sendo as progênies Icatu IAC-4040-181, Icatu IAC-4040-315, Icatu IAC-4042-114, Icatu IAC-4042-222, Icatu IAC-4045-47 e Icatu IAC-4228-101 as mais produtivas. No entanto, para cada local separadamente (Tabela 8), a ordem das progênies foi alterada, sendo que no local Machado/Sede não houve diferença significativa entre as mesmas. Deve-se ressaltar que, neste estudo, as progênies de Catuaí e de Mundo Novo utilizadas nos experimentos sempre estiveram no grupo das progênies menos produtivas. No entanto, não houve controle de ferrugem nos experimentos avaliados, podendo ser esta a razão do comportamento dessas cultivares. A progênie Icatu IAC-3282 também esteve no grupo das progênies menos produtivas e isto pode ser explicado pelo fato de que as colheitas foram realizadas sempre em uma mesma época para todas as progênies, e esta progênie possui maturação mais precoce. Quando ocorreu a colheita, os frutos já estavam em estágio mais avançado de maturação, contribuindo para o menor peso dos mesmos.

Annicchiarico et al. (1995) comentam que quando a interação genótipos x locais x colheitas é observada, a recomendação dos genótipos se torna mais complexa e a utilização de metodologias de estabilidade fenotípica se torna imprescindível.

Diante da detecção de efeito significativo para a interação progênies x biênios x locais, foram realizadas análises utilizando metodologias de estabilidade para melhor se conhecer o comportamento destas progênies ao longo das oito colheitas (agrupadas em biênios) e nos três locais, considerando cada biênio em cada local como um ambiente.

TABELA 7. Produtividade média por biênio de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha, nos locais Machado/Aeroporto; Machado/Sede e São Sebastião do Paraíso – MG. UFLA, 2004.

Progênes	Média/Biênio
Icatu IAC – 2942	50,32 b
Icatu IAC – 2944	51,16 b
Icatu IAC – 3282	47,17 b
Icatu IAC - 4040 – 179	50,21 b
Icatu IAC - 4040 – 181	57,29 a
Icatu IAC - 4040 – 315	59,35 a
Icatu IAC - 4042 – 114	57,47 a
Icatu IAC - 4042 – 222	53,68 a
Icatu IAC – 4045 – 47	55,96 a
Icatu IAC - 4228 – 101	52,93 a
Icatu IAC – 4782	51,46 b
Catuaí IAC – 44	48,17 b
Mundo Novo IAC – 379 - 19	43,89 b
Mundo Novo IAC – 388 -17	45,45 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

A produtividade de plantas perenes é usualmente medida nas mesmas parcelas durante várias colheitas e esse fato pode acarretar problemas quanto às análises de estabilidade, que geralmente não ocorrem com plantas anuais (Hill & Baylor, 1983). Um problema em particular a considerar seria a acentuada oscilação anual da produção, que poderia ou não refletir na média geral do experimento (Piepho, 1994; Resende et al., 2001).

TABELA 8. Produtividade média por biênio de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha, nos locais Machado/Aeroporto, Machado/Sede e São Sebastião do Paraíso. UFLA, 2004.

Progênes	Machado/Aeroporto	Machado/Sede	S.S.Paraíso
Icatu IAC – 2942	50,46 a	71,38 a	29,11 b
Icatu IAC – 2944	47,58 b	75,37 a	30,54 b
Icatu IAC – 3282	45,02 b	69,19 a	27,30 b
Icatu IAC - 4040 – 179	46,10 b	75,53 a	28,98 b
Icatu IAC - 4040 – 181	52,69 a	83,75 a	35,44 a
Icatu IAC - 4040 – 315	53,01 a	91,13 a	33,90 a
Icatu IAC - 4042 – 114	55,96 a	80,20 a	36,26 a
Icatu IAC - 4042 – 222	50,68 a	74,46 a	35,90 a
Icatu IAC – 4045 – 47	45,53 b	80,45 a	41,89 a
Icatu IAC - 4228 – 101	56,27 a	73,01 a	29,52 b
Icatu IAC – 4782	37,53 b	88,55 a	28,28 b
Catuaí IAC – 44	41,29 b	71,57 a	31,63 b
Mundo Novo IAC – 379 - 19	41,32 b	61,37 a	28,98 b
Mundo Novo IAC – 388 -17	37,56 b	66,78 a	32,00 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

As Tabelas 9 e 10 dispõem sobre os resultados relativos à metodologia Eberhart & Russel (1966). Pela Tabela 9 verifica-se haver efeito significativo para as fontes de variação progênes, ambientes e para a interação progênes por ambientes, indicando a existência de diferenças genéticas entre as progênes quanto à resposta às variações de ambiente. De acordo com a Tabela 10, as progênes Icatu IAC-2942, Icatu IAC-2944, Icatu IAC-4228-101, Icatu IAC-4782 e Catuaí IAC-44 apresentaram significância para o desvio da regressão (s^2d). O desvio de regressão é o parâmetro que, por esta metodologia, indica a

maior ou menor estabilidade das progênies. Quando elevado mostra que o desempenho de uma determinada progênie sofre variações em relação à resposta esperada nos diversos ambientes. O coeficiente de determinação (R^2) é o parâmetro que avalia o quanto da variação de cada progênie se deve aos efeitos lineares. Quanto menor o R^2 , pior o ajuste dos dados à reta de regressão. As progênies Icatu IAC-2942 e Catuaí IAC-44 apresentaram os menores coeficientes de determinação, sendo, portanto, as mais instáveis. As progênies Icatu IAC-3282, Icatu IAC-4040-179, Icatu IAC-4042-114 Icatu IAC-4042-222, Icatu IAC-4045-47 e Mundo Novo IAC-379-19 foram classificadas como de adaptabilidade geral ($b=1,0$), apresentando resposta diretamente proporcional à melhoria ambiental. As progênies Icatu IAC-4040-181 e Icatu IAC-4040-315 classificaram-se como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ($b>1,0$), sendo, portanto, progênies exigentes, que se comportam de maneira indesejável em ambientes desfavoráveis, mas, por outro lado, são responsivas à melhoria dos mesmos. A progênie Mundo Novo IAC-388-17 classificou-se como de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis ($b<1,0$), sendo insensível a ambientes favoráveis, mas não decaindo nos desfavoráveis. Destacam-se as progênies Icatu IAC-4042-114, Icatu IAC-4042-222 e Icatu IAC-4045-47, as quais além das características de adaptabilidade geral e alta previsibilidade, estão associadas a médias altas. Por outro lado, as progênies Icatu IAC-4040-181 e Icatu IAC-4040-315 podem ser exploradas em ambientes específicos, possuindo também alta estabilidade e alto desempenho. É válido lembrar que a significância do quadrado médio do desvio de regressão combinado indica a falta de linearidade, sendo uma das limitações dos métodos que envolvem regressão (Cruz & Regazzi, 2001; Crossa, 1990; Wamatu et al., 2003).

TABELA 9. Resumo da análise de variância da estabilidade fenotípica, segundo a metodologia proposta por Eberhart & Russel (1966) para produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha/biênio. UFLA, 2004.

FV	GL	QM
Progênes (P)	13	1050,14 **
Ambientes (A)	11	73826,39 **
P x A	143	350,04 **
Ambientes (Linear)	1	812090,29 **
P x A (Linear)	13	1236,15 **
Desvio de regressão combinado	140	242,76 **
Desvio de regressão das progênes		
Icatu IAC – 2942	10	416,08 **
Icatu IAC – 2944	10	331,96 *
Icatu IAC – 3282	10	94,12 NS
Icatu IAC - 4040 – 179	10	174,20 NS
Icatu IAC - 4040 – 181	10	205,13 NS
Icatu IAC - 4040 – 315	10	155,87 NS
Icatu IAC - 4042 – 114	10	78,41 NS
Icatu IAC - 4042 – 222	10	122,48 NS
Icatu IAC – 4045 – 47	10	245,82 NS
Icatu IAC - 4228 – 101	10	319,81 *
Icatu IAC – 4782	10	404,77 **
Catuaí IAC – 44	10	534,23 **
Mundo Novo IAC - 379 – 19	10	195,98 NS
Mundo Novo IAC - 388 – 17	10	119,72 NS
Resíduo	468	157,447211

(NS), (**) e (*) Não significativo, significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste de F.

TABELA 10. Estimativa dos parâmetros de estabilidade, segundo a metodologia proposta por Eberhart & Russel (1966) para produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha/biênio. UFLA, 2004.

Progênie	Média	b	s ² d	R ² (%)
Icatu IAC - 2942	50,31	0,7825 **	64,76 **	89,52
Icatu IAC - 2944	51,16	0,9674 NS	43,74 *	94,24
Icatu IAC - 3282	47,17	0,9548 NS	-15,71 NS	98,25
Icatu IAC - 4040 - 179	50,20	1,0566 NS	4,29 NS	97,38
Icatu IAC - 4040 - 181	57,29	1,1996 **	12,03 NS	97,60
Icatu IAC - 4040 - 315	59,35	1,2548 **	-0,28 NS	98,32
Icatu IAC - 4042 - 114	57,47	1,0721 NS	-19,64 NS	98,84
Icatu IAC - 4042 - 222	53,68	0,9806 NS	-8,62 NS	97,85
Icatu IAC - 4045 - 47	55,96	1,0730 NS	22,20 NS	96,45
Icatu IAC - 4228 - 101	52,93	0,9763 NS	40,70 NS	94,53
Icatu IAC - 4782	51,45	1,1345 *	61,94 **	94,86
Catuaí IAC - 44	48,16	0,7458 **	94,30 **	85,79
Mundo Novo IAC - 379 - 19	43,89	0,9493 NS	9,74 NS	96,39
Mundo Novo IAC - 388 -17	45,44	0,8520 **	-9,32 NS	97,24

(NS), (**) e (*) Não significativo, significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste de F.

Na Tabela 11, estão dispostos os parâmetros de acordo com a metodologia de Lin & Binns (1988), que avalia o desempenho de cada progênie em relação à produtividade máxima em cada ambiente. Uma grande vantagem deste método é que a medida geral de superioridade consiste de um único parâmetro, simplificando sobremaneira o processo de classificação. Os outros parâmetros estimados por este método são secundários e são utilizados para indicar a adaptabilidade geral dos genótipos (Lin & Binns, 1988). Neste sentido, a progênie Icatu IAC-4040-315 foi a mais estável, apresentando a menor estimativa do parâmetro que avalia estabilidade (P_i) e foi a única que não diferiu

significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, do desempenho máximo obtido, contribuindo com apenas 2,78% da interação. As progênes Icatu IAC-4040-181, Icatu IAC-4042-114 e Icatu IAC-4045-47 apresentaram valores desejáveis de P_i e também foram as que menos contribuíram para a interação, sendo considerados materiais promissores. A progênie Catuaí IAC-44, por outro lado, foi a que obteve maior valor de P_i e a que apresentou maior contribuição para a interação, considerada, portanto, o pior material.

Pela metodologia de Annicchiarico (1992), estima-se o índice de confiança, ou seja, o risco de sucesso na escolha de uma determinada progênie, associado a um nível de significância (α), neste caso de 0,25. De acordo com a Tabela 12 observa-se que as progênes Icatu IAC-4040-181, Icatu IAC-4040-315, Icatu IAC-4042-114, Icatu IAC-4042-222 e Icatu IAC-4045-47 foram as que mais se destacaram, obtendo os maiores valores de I_i , sendo que as progênes Icatu IAC-4040-181, Icatu IAC-4040-315, Icatu IAC-4042-222 e Icatu IAC-4045-47 apresentaram, com 75% de confiança, os menores riscos de possuírem comportamento abaixo da média do ambiente, de 8,13%, 0,89%, 0,74% e 5,66%, respectivamente. A progênie Icatu IAC-4042-114 apresentou, com 75% de confiança, a probabilidade de ter desempenho de 7,63% superior à média ambiental, sendo, portanto, a de melhor comportamento por esta metodologia. A progênie Mundo Novo IAC-379-19, por sua vez, foi a que apresentou menor valor de I_i , apresentando o risco de 27,37% de se comportar abaixo da média dos ambientes.

TABELA 11. Estimativa dos parâmetros de estabilidade, segundo a metodologia proposta por Lin & Binns (1988), para produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha/biênio. UFLA, 2004.

Progenie	P_i^*	Efeito Genético	Desvio da Interação	Interação (%)
Icatu IAC - 2942	1190,87	590,19	600,68	17,39
Icatu IAC - 2944	842,66	533,17	309,49	8,96
Icatu IAC - 3282	1002,70	825,94	176,76	5,12
Icatu IAC - 4040 - 179	751,06	597,83	153,23	4,44
Icatu IAC - 4040 - 181	322,67	208,08	114,59	3,32
Icatu IAC - 4040 - 315	228,74	132,57	96,17	2,78
Icatu IAC - 4042 - 114	286,77	200,60	86,17	2,49
Icatu IAC - 4042 - 222	563,73	381,47	182,25	5,28
Icatu IAC - 4045 - 47	366,89	265,96	100,93	2,92
Icatu IAC - 4228 - 101	714,75	423,70	291,05	8,43
Icatu IAC - 4782	696,33	514,46	181,86	5,26
Catuaí IAC - 44	1366,85	747,23	619,62	17,93
Mundo Novo IAC - 379 -19	1350,68	1114,08	236,61	6,85
Mundo Novo IAC - 388 -17	1277,39	972,26	305,13	8,83

* Ponto de corte (cutoff point) = 284,84. P_i menor que este valor não difere significativamente do máximo ($p < 0,05$)

TABELA 12. Estimativa do índice de confiança, segundo o método proposto por Annicchiarico (1992), para produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha/biênio. UFLA, 2004.

Progênie	Y_i	S_i	I_i^*
Icatu IAC - 2942	105,55	28,04	86,64
Icatu IAC - 2944	94,30	23,85	78,21
Icatu IAC - 3282	89,28	11,11	81,79
Icatu IAC - 4040 - 179	92,58	20,24	78,93
Icatu IAC - 4040 - 181	108,91	25,26	91,87
Icatu IAC - 4040 - 315	111,35	18,15	99,11
Icatu IAC - 4042 - 114	113,46	8,65	107,63
Icatu IAC - 4042 - 222	107,11	11,64	99,26
Icatu IAC - 4045 - 47	109,83	22,96	94,34
Icatu IAC - 4228 - 101	102,62	19,58	89,41
Icatu IAC - 4782	91,69	22,40	76,58
Catuaí IAC - 44	101,80	33,32	79,32
Mundo Novo IAC - 379 - 19	82,48	14,60	72,63
Mundo Novo IAC - 388 -17	89,03	13,72	79,78

* Nível de significância adotado $\alpha=0,25$.

A metodologia AMMI (modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa) é uma técnica multivariada que vem ganhando grande aplicabilidade nos últimos anos (Duarte, 2003). O argumento para se utilizar esse tipo de análise é que os métodos que utilizam regressão, além de serem informativos quando apresentam ausência de linearidade, e de serem muito dependentes do grupo de genótipos e de ambientes utilizados, tendem a simplificar a interação, por considerá-la em uma única dimensão. O comportamento biológico pode ser complexo e conseqüentemente melhor explicado por uma análise multivariada (Crossa, 1990). Consta na Tabela 13, a

porcentagem da interação explicada por cada componente principal, de acordo com a metodologia AMMI, sendo que o primeiro componente principal explicou 39,76% da interação e os três componentes principais juntos explicaram aproximadamente 80% da interação. Esta metodologia analisa os efeitos aditivos de progênies e ambientes através da análise de variância (ANAVA) e o efeito multiplicativo da interação através da análise de componentes principais (ACP), como mostra a Tabela 14. Verifica-se que a interação foi significativa, assim como os três primeiros componentes principais. Os desvios da interação foram não significativos, confirmando o ajuste dos dados ao modelo.

A Figura 1 mostra o gráfico Biplot representando os resultados da metodologia AMMI. Na abscissa estão dispostas as produtividades médias das progênies e dos ambientes e, na ordenada, os escores do primeiro componente principal da interação (ACP 1). De acordo com o gráfico, as progênies não diferiram muito quanto à produtividade, mas apresentaram diferentes contribuições para a interação progênies x ambientes. A progênie Icatu IAC-4042-222 foi a que menos interagiu com os ambientes. As progênies Icatu IAC-4040-181 e Icatu IAC-4040-315 adaptaram-se melhor aos ambientes relacionados com biênios III e IV. A progênie Catuaí IAC-44 foi a que mais contribuiu para a interação. A relação dos números dos ambientes se encontra na Tabela 4. Ainda de acordo com a Figura 1, os ambientes 1, 5, 9 e 12 foram os que apresentaram menor média. A média baixa dos ambientes 1, 5 e 9 se explica pelos mesmos estarem relacionados com o biênio I. O ambiente 12, por sua vez, teve média baixa devido à ausência de produção na sétima colheita em São Sebastião do Paraíso, devido a uma seca ocorrida nesse local. Os ambientes 4 e 8 apresentaram as mais altas produtividades e também foram os que mais contribuíram para a interação. Apontam-se os ambientes 3, 6, 7, 10, 11 e 12 como os mais estáveis.

TABELA 13. Autovalores e porcentagens da explicação da interação progênes por ambientes no modelo AMMI, para produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha/biênio. UFLA, 2004.

CP	Autovalores	% Explicação	% Explicação acumulada
1	4975,3831	39,76	39,76
2	3158,0378	25,24	65,00
3	1800,7434	14,39	79,39

Em comparação com os métodos que utilizam a regressão, a metodologia AMMI tem sido mais eficiente em explicar a interação por permitir que a mesma seja analisada em várias dimensões (Yau, 1995; Pereira & Costa, 1998; Vargas et al., 1999). Esta afirmativa também se confirmou neste estudo onde se verificou que na metodologia AMMI, apenas o primeiro componente principal explicou 39,76% da interação, ao passo que, pelo método de Eberhart & Russel (1966), a soma de quadrados da interação de regressão linear explicou 32,10%, ou seja, uma explicação menor que do primeiro componente principal. Crossa et al. (1990), analisando dados de soja e milho, sugerem que a metodologia AMMI constitui uma ferramenta para a seleção dos melhores genótipos, uma vez que possibilita o aumento da precisão, aumentando conseqüentemente o ganho genético. Piepho (1994) também afirma que esta metodologia, em muitos casos, aumenta a eficiência da estimação por separar o “padrão” do “ruído” no resíduo do modelo aditivo.

TABELA 14. Resumo da análise de variância com decomposição das somas de quadrados da interação progênes x ambientes no modelo AMMI para produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg/ha/biênio. UFLA, 2004.

FV	GL	QM
Progênes (P)	13	150,15 **
Ambientes (A)	11	73826,39 **
P x A	143	350,04 **
CP1	23	865,28 **
CP2	21	601,53 **
CP3	19	379,10 **
Desvio	80	128,99 NS
Erro	468	157,447211

(NS) e (**) Não significativo e significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F.

No entanto, Borges et al. (2000), apesar de detectarem 63,9% da explicação da interação nos três primeiros componentes principais, verificaram também que os desvios foram significativos e por isto concluíram que esta análise não foi eficiente para o estudo da estabilidade em feijão. Resultados parecidos sobre a utilização da metodologia AMMI foram encontrados por Arias (1996), que afirma que quando são necessários mais de um componente principal para explicar a interação, as interpretações se tornam difíceis, não justificando a utilização desta metodologia. Assim, apesar de os três componentes principais explicarem cerca de 80% da interação progênes por ambientes, a porcentagem de explicação do primeiro componente principal é considerada baixa para se adotarem os resultados obtidos neste estudo por essa metodologia.

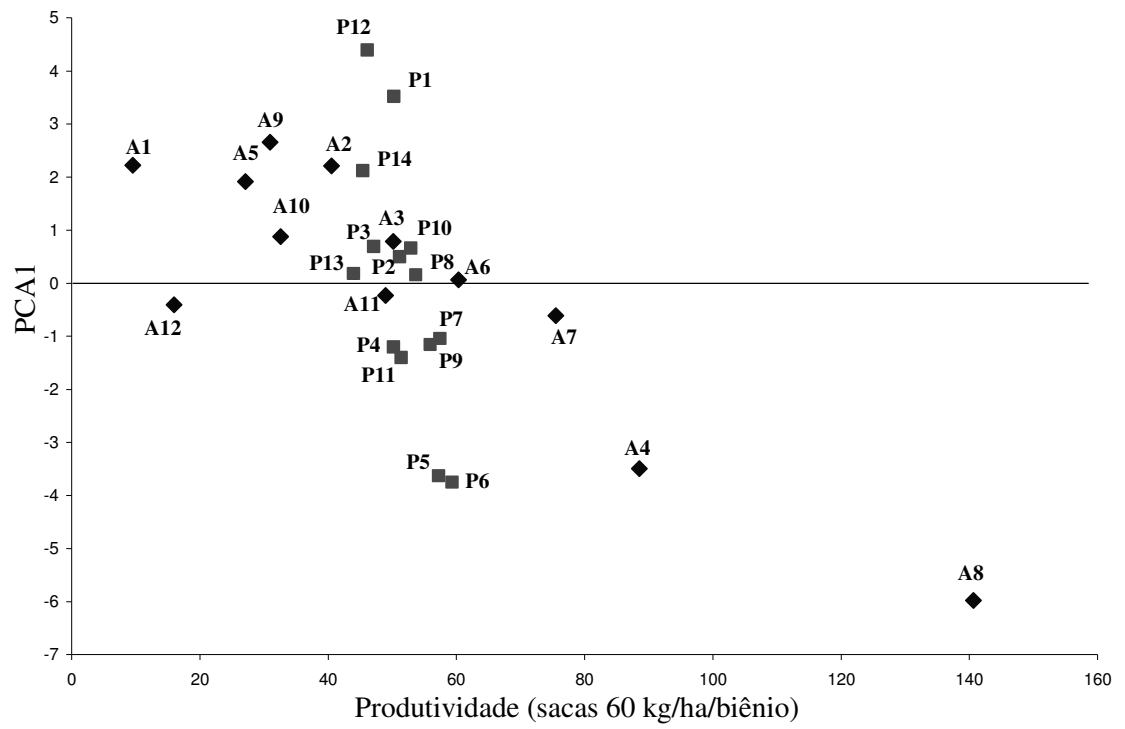


FIGURA 1. Gráfico Biplot AMMI para 14 progênies de cafeeiro (■) e 12 ambientes (◆). UFLA, 2004.

5 CONCLUSÕES

Na determinação da estabilidade de produção das progênes de cafeeiros testados, as metodologias utilizadas (Eberhart & Russel (1966); Lin & Binns (1988); Annicchiarico (1992) e AMMI) evidenciam, no presente estudo, resultados semelhantes entre si, apesar do grande número de eixos necessários para a explicação da interação pela metodologia AMMI, não justificando sua utilização.

As progênes Icatu IAC-4040-181, Icatu IAC-4040-315, Icatu IAC-4042-114, Icatu IAC-4042-222 e Icatu IAC-4045-47 mostram-se como as mais promissoras, tanto em termos de adaptabilidade e estabilidade quanto para potencial produtivo. As progênes Catuaí IAC-44 e Mundo Novo IAC-379-19 classificam-se sempre, no grupo de progênes estudado, como os piores genótipos quanto à estabilidade e associados a uma baixa produtividade.

As melhores progênes apontadas pelos parâmetros estimados em cada metodologia utilizada foram a Icatu IAC-4040-315 de acordo com Lin & Binns (1988) e Eberhart & Russel (1966) e a Icatu IAC-4042-114 de acordo com Annicchiarico (1992) e Eberhart & Russel (1966).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2004 - Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2003. 496 p.

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, Sept./Oct. 1964.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, Rome, v. 46, n. 3, p. 269-278, Sept. 1992.

ANNICCHIARICO, P.; BERTOLINI, M.; MAZZINELLI, G. Analysis of genotype-environment interactions for maize hybrids in Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, Rome, v. 49, n. 1, p. 61-68, Mar. 1995.

ALVARENGA, A. de P.; VALE, F. X. R. do; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, A. A. Produtividade e resistência à ferrugem em progênies de cafeeiro “Icatu”. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 182-187, abr./jun. 1998.

ARIAS, E. R. A. **Adaptabilidade e estabilidade das cultivares de milho avaliadas no estado de Mato Grosso do Sul e avanço genético obtido no período de 1986/87 a 1993/94**. 1996. 118 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BARTHOLO, G. F.; MENDES, A. N. G. **Cultivares de cafeeiros recomendadas para Minas Gerais**. Lavras: EPAMIG, 1998. (EPAMIG. Circular Técnica, 89).

BECKER, H. C. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. **Euphytica**, Wageningen, v. 30, n. 3, p. 835-840, Dec. 1981.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 269, p. 89-102, jan./fev. 2000.

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

CARVALHO, A.; MEDINA FILHO, H. P.; FAZUOLI, L. C.; GUERREIRO FILHO, O. LIMA, M. M. A. Aspectos genéticos do cafeeiro. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 1, p. 135-183, mar. 1991.

CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C. Melhoramento do cafeeiro visando a resistência à ferrugem alaranjada. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 141-146, fev. 1971.

CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C.; VAN der VOSSEN, H. A. M. Café Icatu como fonte de resistência a *Colletotrichum coffeanum*. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 28, p. 343-347, out. 1976.

CARVALHO, S. P. **Metodologias de avaliação do desempenho de progênies do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1989. 68 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CHAVES, L. J.; VENCOVSKY, R.; GERALDI, I. O. Modelo não linear aplicado ao estudo da interação genótipo x ambientes em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 259-269, 1989.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª Aproximação**. Lavras, 1989. 176 p.

COSTA, W. M. Relação entre grau de resistência a *Hemileia vastatrix* e produtividade no café Icatu. **Bragantia**, Campinas, v. 37, n. 1, p. 1-9, jan. 1978.

COSTA, W. M. , CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Estudo de caracteres dentro de progênies do cafeeiro Icatu visando a sua seleção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 9., 1981, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço, 1981. p. 169-173.

CROSSA, J. Statistical analyses of multilocation trials. **Advances in Agronomy**, New York, v. 44, p. 55-85, 1990.

CROSSA, J.; GAUCH JUNIOR, H. G.; ZOBEL, R. W. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trial. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 3, p. 493-500, May/June 1990.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, Voçosa, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2001. 390 p.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. de A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 7, p. 567-580, jun. 1989.

DUARTE, J. B. AMMI: uma abordagem multivariada para interpretação das interações genótipos x ambientes. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 10., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras, 2003. p. 20-23.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Piracicaba: ESALQ/ Departamento de Genética, 1998. 58 p.

DUARTE, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. de O. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de genótipos de feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 25-32, jan. 1994.

EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 3, p. 36-40, May/June 1966.

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

FAZUOLI, L. C. Avaliação da taxa de cruzamento natural no café Icatu In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 17., 1991, Varginha. **Anais...** Varginha, 1991. p. 20-21.

FAZUOLI, L. C.; CARVALHO, A.; COSTA, W. M. da. Avaliação de progênies e seleção no cafeeiro Icatu. **Bragantia**, Campinas, v. 42, n. 16, p. 179-189, 1983.

FAZUOLI, L. C.; CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C. Qualidade da bebida do café Icatu. **Bragantia**, Campinas, v. 36, n. 15, p. 165-172, jun. 1977.

FAZUOLI, L. C.; COSTA, W. M. da; GONÇALVES, W.; LIMA, M M. A. de. Café Icatu como fonte de resistência e/ou tolerância ao nematóide *Meloidogyne incognita*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Anais...** Londrina, 1984. p. 247-248.

FAZUOLI, L. C.; GALLO, P. B.; CARVALHO, A.; COSTA, W. M. da; ROCHA, T. R. da. Seleção do café Icatu em Mococa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 9., 1981, São Lourenço. **Anais....** São Lourenço, 1981. p. 178-181.

FAZUOLI, L. C.; GALLO, P. B.; MARTINS, A. L. M.; GUERREIRO FILHO, O.; MEDINA FILHO, H. P. Seleção antecipada e sua eficiência no café Icatu. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Belo Horizonte: Minasplan, 2000. p. 576-584b.

FAZUOLI, L. C.; GUERREIRO FILHO, O.; MEDINA FILHO, H. P.; SILVAROLLA, M. B. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos em progênies do café Icatu. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Belo Horizonte: Minasplan, 2000. p. 494-499a.

FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Utilização da testemunha na avaliação da estabilidade em ensaios de competição de cultivares. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 394-399, jul./set. 1992.

GAUCH JUNIOR, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH JUNIOR, H. G. **Genotype-by- environment interaction**. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1996. p. 85-122.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. (Ed.). **Cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 317 p.

HILL JR. , R. R.; BAYLOR, J. E. Genotype x environment interaction analysis for yield in alfafa. **Crop Science**, Madison, v. 23, n. 5, p. 811-815, Sept./Oct. 1983.

KANG, M. S. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. **Advances in Agronomy**, New York, v. 62, p. 199-252, 1998.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 1, p. 193-198, Jan./Mar. 1988.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A.; LEFKOVITCH, L. P. Stability analysis: where do we stand? **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 5, p. 894-900, Sept./Oct. 1986.

MANDEL, J. A new analysis of variance model for non-additive data. **Technometrics**, Alexandria, v. 13, n. 1, p. 1-18, Feb. 1971.

MARIOTTI, J. A.; OYARZABAL, E. S.; OSA, J. M.; BULACIO, A. N. R.; ALMADA, G. H. Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de caña de azucar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronomica del Noroeste Argentino**, Tuculman, v. 13, n. 1/4, p. 105-127, jan. 1976.

MENDES, A. N. G. **Avaliação de metodologias empregadas na seleção de progênies do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no estado de Minas Gerais**. 1994. 167 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Genética e melhoramento do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 99 p.

MÔNACO, L. C.; CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Melhoramento da cafeeiro: germoplasma Icatu e seu potencial no melhoramento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2., 1974, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, 1974. p. 103.

OLIVEIRA, A. B. de; DUARTE, J. B.; PINHEIRO, J. B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 357-364, mar. 2003.

PAULINO, A. J.; FAZUOLI, L. C. Produtividade de progênies e linhagens de Icatu no Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 7., 1979, Araxá. **Anais...** Araxá, 1979. p. 108-110.

PEREIRA, A. A.; SAKIYAMA, N. S. Melhoramento genético do cafeeiro visando resistência às doenças. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS: GENÉTICA E MELHORAMENTO DO CAFEEIRO, 3., 1999, Lavras. **Anais...** Lavras, 1999. p. 117-140.

PEREIRA, A. da S.; COSTA, D. M. da. Análise da estabilidade de produção de genótipos de batata no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 405-409, abr. 1998.

PEREIRA, J. B.; NETTO, K. de A. Comportamento de progênies de Icatu em Santo Antonio do Grama, Zona da Mata de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 9., 1981, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço, 1981. p. 28-31.

PIEPHO, H. P. Best linear unbiased prediction (BLUP) for regional trials: a comparison to additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 89, n. 5, p. 647-654, Nov. 1994.

PIEPHO, H. P. Robustness of statistical tests for multiplicative terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trials. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 90, p. 438-443, 1995.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de. **A experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: Editora UFLA, 2000. 326 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: Editora UFG, 1993. 271 p.

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

ROSSE, L. N. **Modelo de regressão não-linear aplicado na avaliação da estabilidade fenotípica em plantas**. 1999. 179 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SILVA, D. G. da. **Levantamento das raças fisiológicas de *Hemileia vastatrix* e resistência de clones de *Coffea canephora* var. Conillon à ferrugem**. 2000. 67 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, MG.

SILVA, J. G. C. da. Análise da adaptabilidade através da regressão linear segmentada. 1. Fundamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 435-448, abr. 1995a.

SILVA, J. G. C. da. Análise da adaptabilidade através da regressão linear segmentada. 2. Aplicação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 449-462, abr. 1995b.

SILVA, J. G. C.; BARRETO, J. N. Aplicação da regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE EXPERIMENTAÇÃO AGRÍCOLA, 1., 1985, Piracicaba. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 49-50.

STEEL, R. G.; TORRIE, J. K. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 2. ed. Tokyo: McGraw-Hill, 1980. 633 p.

VARGAS, M.; CROSSA, J.; EEUWIJK, F. van; RAMIREZ, M. E.; SAYRE, K. Using partial squares regression, factorial regression, and AMMI models for interpreting genotype x environment interaction. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 4, p. 955-967, July/aug. 1999.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B. R. Limitation of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 53, n. 1, p. 89-91, Jan. 1978.

WAMATU, J. N.; THOMAS, E.; PIEPHO, H. P. Responses of different arabica coffee (*Coffea arabica* L.) clones to varied environment conditions. **Euphytica**, Wageningen, v. 129, n. 2, p. 175-182, 2003.

YAU, S. K. Regression and AMMI analyses of genotype x environment interactions: an empirical comparison. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 1, p. 121-126, Jan./Feb. 1995.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH JUNIOR, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 3, p. 388-393, May/June 1988.