

DESEMPENHO DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA NA REGIÃO DO CERRADO MINEIRO¹

Dyanna Rangel Pereira²; João Paulo Felicori³; Larissa de Oliveira Fassio³; Juliano Tarabal Gonçalves³; Antônio Carlos Baião de Oliveira⁴; André Dominghetti Ferreira⁴; Arley José Fonseca⁵; Jaime Aparecido Silva⁵; Antônio Alves Pereira⁶; Diego Martins Vilela⁶; Marcelo Ribeiro Malta⁶; Juliana Costa de Rezende Abrahão⁶; César Elias Botelho⁶; Gladyston Rodrigues Carvalho⁶

¹Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café

²Doutoranda em Agronomia/Fitotecnia – UFLA, CNPq, dyannarangel@hotmail.com

³Federação dos Cafeicultores do Cerrado, joao.paulo@cerradomineiro.org; larissa.fassio@cerradomineiro.org; juliano.tarabal@cerradomineiro.org

⁴Pesquisador, Embrapa Café, baiao.embrapa@gmail.com; andre.dominghetti@embrapa.br

⁵Gerente, Campo Experimental da EPAMIG, arley.fonseca@epamig.br, jaime.epamig@gmail.com

⁶Pesquisador, Epamig, pereira@epamig.br; diego.vilela@epamig.br; marcelomalta@epamig.ufla.br; julianacosta@epamig.br; cesarbotelho@epamig.br; carvalho@epamig.ufla.br

RESUMO: O efeito da interação genótipos por ambientes (GA) pode dificultar a recomendação de cultivares a diferentes regiões e condições de cultivo, uma vez que há uma resposta diferencial dos genótipos às mudanças de ambiente. Uma alternativa para atenuar o efeito da interação GA é a identificação de genótipos com maior estabilidade fenotípica, que se refere à capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais. Dentre as metodologias para estimação de parâmetros relacionados à adaptabilidade e estabilidade, o método proposto por Lin e Binns (1988) permite identificar quais cultivares se aproximam do máximo na maioria dos ambientes, bem como incluir genótipos de baixa estabilidade geral com o objetivo de detectar genótipos de adaptabilidade específica. Já o método *Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (AMMI) é uma análise de estabilidade multivariada utilizada para explicar a interação GA, auxiliando na identificação de genótipos com alta produtividade e amplamente adaptados, possuindo a vantagem de poder ser utilizado em ensaios multiambientais não repetidos, como frequentemente acontece nos ensaios em unidades demonstrativas. Objetivou-se descrever a adaptabilidade e estabilidade de 12 cultivares de *Coffea arabica* L. a partir de dados de produtividade obtidos na primeira colheita de ensaios não repetidos em 12 unidades demonstrativas, localizadas na Região do Cerrado Mineiro, utilizando a abordagem AMMI e o método proposto por Lin e Binns (1988). Os resultados indicaram a cultivar 12 (IAC 125 RN) como sendo a mais estável considerando-se tanto todos os ambientes, como apenas ambientes favoráveis ou desfavoráveis. A cultivar 4 (MGS EPAMIG 1194) se destacou como a segunda mais estável tanto em condições gerais de cultivo quanto em ambientes favoráveis. Também se destacaram em condições favoráveis as cultivares 10 (MGS Aranãs) e 3 (Topázio MG 1190). Em ambientes desfavoráveis destacaram-se, além da cultivar 12, as cultivares 5 (Catiguá MG2) e 11 (Sarchimor MG 8840).

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea arabica* L., AMMI, adaptabilidade e estabilidade, interação genótipos por ambientes.

PERFORMANCE OF ARABICA COFFEE CULTIVARS IN THE CERRADO MINEIRO REGION

ABSTRACT: The effect of GE interaction may hinder the recommendation of cultivars for different regions and cultivation conditions, since there is a differential response of genotypes to environmental changes. An alternative to attenuate the effect of GE interaction is the identification of genotypes with greater phenotypic stability, which refers to the ability of the genotypes to present highly predictable behavior as a function of environmental variations. Among the methodologies used to estimate parameters related to adaptability and stability, the method proposed by Lin and Binns (1988) allows to identify which cultivars approach the maximum in most environments, as well as to include genotypes of general low stability with the objective to detect genotypes of specific adaptability. The Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI) method is a multivariate stability analysis used to explain the GE interaction, which helps to identify genotypes with high productivity and widely adapted, with the advantage that it can be used in unreplicated multi-environmental trials, which is commonly observed in demonstration units trials. The aim of this work was to describe the adaptability and stability of 12 cultivars of *Coffea arabica* L. from productivity data obtained in the first harvest of non-replicated trials conducted in 12 demonstration units, located in the Cerrado Mineiro region with AMMI and Lin and Binns (1988) approaches. Considering all environments evaluated, as well as only the favorable or unfavorable environments, the results indicated the cultivar 12 (IAC 125 RN) as the most stable. Cultivar 4 (MGS EPAMIG 1194) stood out as the second most stable both under general growing conditions and in favorable environments. The cultivars 10 (MGS Aranãs) and 3 (Topázio MG 1190) were also highlighted in favorable conditions. In unfavorable environments, besides cultivar 12, the cultivars 5 (Catiguá MG2) and 11 (Sarchimor MG 8840) stood out.

KEY WORDS: *Coffea arabica* L., AMMI, adaptability and stability, genotype by environment interaction.

INTRODUÇÃO

Considerando a grande variabilidade ambiental e de condições de cultivo de café no Brasil, sabe-se que o sucesso da lavoura depende da capacidade de adaptação dos genótipos às diferentes regiões cafeeiras (Moura et al., 2000). Isso porque o máximo potencial produtivo de uma cultivar só é expresso quando esta é submetida a condições de cultivo ideais para esse material genético, já que há uma resposta diferencial dos genótipos às mudanças de ambiente, ou seja, quando genótipos são avaliados em mais de um ambiente, sua manifestação fenotípica será influenciada por um novo componente, resultante da interação genótipos por ambientes (GA) (Ramalho et. al., 2012).

Assim, a adaptação de genótipos a ambientes específicos pode fazer a diferença entre uma boa e uma excelente cultivar (Cargnin et al., 2006). Por outro lado, a interação GA pode dificultar a recomendação de cultivares a diferentes ambientes (Ramalho et. al., 2012).

Uma alternativa muito utilizada para atenuar o efeito da interação GA e, com isso, facilitar a recomendação de cultivares em uma determinada região, é a identificação daquelas com maior estabilidade fenotípica. Enquanto a adaptabilidade de um genótipo pode ser conceituada como a sua capacidade potencial para assimilar vantajosamente um estímulo ambiental (Mariotti et al., 1976), a estabilidade se refere à capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais., que podem ser decorrentes de locais, safras ou qualquer outro fator (Ramalho et. al., 2012).

Visando minimizar os riscos de recomendação de cultivares frente às diferentes condições de cultivo e flutuações observadas entre safras, a adoção de unidades demonstrativas do desempenho de cultivares em diferentes locais de uma determinada região é oportuna, uma vez que, além de permitir que os produtores verifiquem o potencial *in loco* destes genótipos, possibilita o estudo da interação GA e, conseqüentemente, melhor descrição das cultivares com base na adaptabilidade e estabilidade (Santos et al., 2019).

Diversas metodologias são descritas na literatura para estimação de parâmetros relacionados à adaptabilidade e estabilidade. Dentre elas, o método proposto por Lin e Binns (1988) permite identificar quais cultivares se aproximam do máximo na maioria dos ambientes, bem como incluir genótipos de baixa estabilidade geral com o objetivo de detectar genótipos de adaptabilidade específica.

Já o método AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*) (Gauch; Zobel, 1988) é uma análise de estabilidade multivariada que associa um modelo aditivo e multiplicativo para explicar a interação GA (Ramalho et. al., 2012), auxiliando na identificação de genótipos com alta produtividade e amplamente adaptados. Uma vantagem deste método é que ele pode ser utilizado em ensaios multiambientais não repetidos (Santos et al., 2019), como freqüentemente acontece nos ensaios em unidades demonstrativas. Assim, a aplicação do método AMMI em ensaios multiambientais viabiliza, em conjunto com outros métodos complementares de estudo de adaptabilidade e estabilidade, como o de Lin e Binns (1988), uma inferência acurada das propriedades das cultivares sob avaliação.

Diante do exposto, objetivou-se descrever a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de *Coffea arabica* L. a partir de ensaios não repetidos em unidades demonstrativas, localizadas na Região do Cerrado Mineiro, utilizando a abordagem AMMI e o método proposto por Lin e Binns (1988).

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de avaliação do desempenho de cultivares de café arábica foram implantados no ano agrícola de 2016/17, em 12 unidades demonstrativas, caracterizadas na tabela 1. Esses ambientes estão distribuídos em municípios representativos das condições de cultivo de café típicas da Região do Cerrado Mineiro.

Tabela 1. Caracterização dos ambientes de avaliação e classificação pelo índice de Lin e Binns em ambientes favoráveis e desfavoráveis, segundo dados de produtividade, em litros por planta, obtidos na safra 2018/19.

Ambiente	Município	Altitude (m)	Sistema de cultivo	Espaçamento (m)	Produtividade média (L/pl.)	Índice Lin e Binns (1988)	Classificação Lin e Binns (1988)
5	Araguari	924	Irrigação por gotejamento	3,8 x 0,6	7,08	2,2199	Favorável
1	Patrocínio	925	Irrigação por gotejamento	3,9 x 0,6	6,39	1,5291	Favorável
10	São Gotardo	1174	Sequeiro	3,5 x 0,7	6,33	1,4616	Favorável
2	Monte Carmelo	1040	Irrigação por gotejamento	3,7 x 0,6	6,15	1,2858	Favorável
4	Varjão de Minas	950	Irrigação por gotejamento	3,8 x 0,75	5,78	0,9158	Favorável
9	Campos Altos	1007	Sequeiro	3,8 x 0,65	5,25	0,3866	Favorável
3	Patrocínio	880	Irrigação por gotejamento	3,8 x 0,5	5,13	0,2699	Favorável
12	Araxá	937	Sequeiro	3,8 x 0,6	4,60	-0,2634	Desfavorável
8	Patrocínio	916	Sequeiro	3,5 x 0,7	3,96	-0,9009	Desfavorável
11	Carmo do Paranaíba	1126	Sequeiro	3,6 x 0,6	3,13	-1,7384	Desfavorável
7	Patrocínio	880	Sequeiro	3,8 x 0,7	2,51	-2,3492	Desfavorável
6	Rio Paranaíba	1150	Sequeiro	3,8 x 0,5	2,05	-2,8167	Desfavorável

Foram considerados os dados de produtividade, em litros por planta, provenientes da primeira colheita de café, na safra de 2018/19, cerca de 2,5 anos após o plantio. Doze cultivares de café arábica (Tabela 2) foram avaliadas em cada ambiente, em ensaios sem repetições, sendo avaliadas de 170 a 532 plantas por cultivar, dependendo da unidade demonstrativa considerada. Os tratamentos culturais foram realizados conforme recomendação técnica baseada na análise de solo e monitoramento de pragas e doenças em cada propriedade.

Tabela 2. Média das cultivares e índice de estabilidade de Lin e Binns (1988) (Pi) considerando todos os ambientes (Geral), ambientes favoráveis (+) e desfavoráveis (-), a partir de dados de produtividade em litros por planta obtidos na safra 2018/19.

	Cultivares	Média (Geral)	Pi (Geral)	Média (+)	Pi (+)	Média (-)	Pi(-)
1	Catuaf Vermelho IAC 144	4,77	3,03	5,90	2,97	3,19	3,12
2	Bourbon Ama. IAC J10	4,22	4,96	5,63	4,67	2,25	5,37
3	Topázio MG 1190	4,84	2,77	6,31	1,88	2,78	4,00
4	MGS Epamig 1194	5,70	1,76	7,43	0,74	3,28	3,19
5	Catiguá MG2	4,44	4,15	5,11	5,78	3,51	1,87
6	MGS Catiguá 3	4,41	3,88	5,40	4,21	3,02	3,42
7	MGS Ametista	4,42	4,22	5,15	5,01	3,39	3,10
8	Pau Brasil MG1	4,46	4,14	5,50	4,50	3,01	3,65
9	MGS Paraíso 2	4,86	3,39	6,06	3,22	3,18	3,62
10	MGS Aranãs	5,14	2,94	6,82	1,68	2,78	4,70
11	Sarchimor MG 8840	4,88	2,82	5,80	3,36	3,59	2,07
12	IAC 125 RN	6,23	0,46	7,10	0,69	5,01	0,14

Os dados médios de produtividade obtidos foram analisados pelo método AMMI, utilizando-se a variação atribuída ao ruído para fazer inferência sobre os efeitos principais e da interação GA. Por fim, realizou-se a análise de adaptabilidade e estabilidade das cultivares pelo método proposto por Lin e Binns (1988). Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do *software* Genes (Cruz, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se, a partir da análise conjunta dos ensaios (Tabela 3), diferença significativa entre cultivares a 5% de probabilidade no conjunto dos 12 ambientes. Alta significância também foi observada para ambientes, demonstrando diversidade macroambiental.

Tabela 3. Resumo da análise de variância conjunta e decomposição pelo método AMMI para o caráter produtividade referente à avaliação de cultivares em 12 ambientes na safra 2018/19.

FV	GL	QM	% SQ
Cultivares	11	4,1516 *	
Ambientes	11	32,1519 *	
C x A	121	1,2203 *	
C x A CP1:3	57	1,9155 *	73,95
Resíduo AMMI3	64	0,6011	26,05

*Significativo a 5% de probabilidade.

No caso de ensaios sem repetições, como no presente trabalho, a variação atribuída aos desvios dos efeitos principais de cultivares e ambientes engloba a variação atribuída ao efeito da interação cultivares x ambientes, bem como a variação microambiental média (erro experimental) (Santos, et al., 2019). O método AMMI permite separar a variação inerente ao padrão da interação entre fatores, no caso, cultivares x ambientes, o chamado *signal*, da variação atribuída ao ruído (*noise*) (Gauch, 2013).

A decomposição da interação GA captou com os três primeiros componentes principais 73,95% do padrão de variação causada pela interação GA. Segundo Duarte e Vencovsky (1999) a metodologia AMMI é particularmente interessante quando os dois primeiros componentes principais explicam a maior parte da variação, valor esse que deve ser pelo menos 70%. Caso contrário, permanecem muitos componentes principais, dificultando a explicação em termos de eixos cartesianos. No presente trabalho foram necessários três componentes principais para atingir esse percentual.

Porém, observa-se na tabela 3 que o efeito da interação cultivares por ambientes é significativo, justificando, portanto a utilização de metodologias que classifiquem as progênes de acordo com a adaptabilidade e estabilidade das mesmas. Santos et al. (2019) também encontrou interação GA significativa ao avaliar a produtividade de milho em ensaios sem

repetições em multiambientes, verificando que o método AMMI pode ser utilizado para estudar a interação GA nesse tipo de experimento.

O método de avaliação da adaptabilidade e estabilidade proposto por Lin e Binns (1988) permite identificar as cultivares que melhor se aproximaram do máximo da maioria dos ambientes. Na tabela 1 observa-se a produtividade média das 12 cultivares em cada local, bem como a classificação dos ambientes em favoráveis, ou seja, aqueles em que, na média, as cultivares apresentaram melhor desempenho, e desfavoráveis, locais onde as cultivares apresentaram menor desempenho médio. Os locais classificados como favoráveis foram 5, 1, 10, 2, 4, 9 e 3, em ordem decrescente. Com exceção dos ambientes 9 e 10, todos os ambientes favoráveis apresentam em comum o sistema de cultivo irrigado. Os ambientes 9 e 10, apesar de apresentarem cultivo em sequeiro, se destacaram como favoráveis, possivelmente por características específicas de clima e manejo adotado pelo produtor responsável pela unidade demonstrativa em questão. Todos os ambientes desfavoráveis (12, 8, 11, 7, 6) possuem sistema de cultivo em sequeiro, sendo o ambiente 6 aquele em que as cultivares apresentaram menor desempenho produtivo (TABELA 1).

Na tabela 2 são observados os índices de estabilidade de Lin e Binns (1988) para cada cultivar (P_i), bem como a média em produtividade considerando todos os ambientes (Geral), ambientes favoráveis (+) e desfavoráveis (-). De acordo com este método, para identificar qual(is) cultivar(es) se aproxima(m) do máximo na maioria dos ambientes, é determinada para cada cultivar a variância ou quadrado médio (P_i) tendo como referência o valor máximo em cada ambiente. Sendo P_i um desvio do máximo, quanto menor seu valor, melhor a cultivar.

Verifica-se na tabela 2 e na figura 1 que, considerando tanto todos os ambientes avaliados (Geral), quanto apenas ambientes favoráveis (+) ou desfavoráveis (-), a cultivar 12 (IAC 125 RN) se destaca como a mais recomendada, apresentando menor valor de P_i (0,46; 0,69 e 0,14, respectivamente), o que indica que esta cultivar é a que mais se aproxima do desempenho produtivo máximo em todas as condições de ambientes.

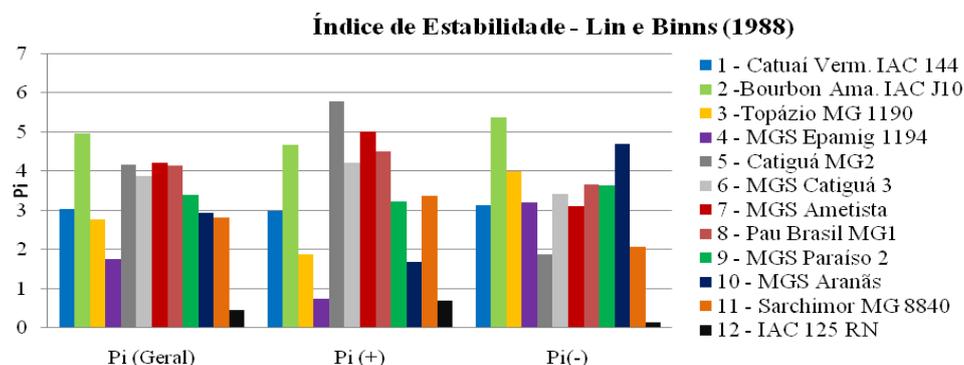


Figura1. Índice de estabilidade obtido pelo método proposto por Lin e Binns (1988) para cultivares considerando todos os ambientes (Geral), ambientes favoráveis (+) e desfavoráveis (-), a partir de dados de produtividade em litros por planta obtidos na safra 2018/19.

Considerando uma abordagem ampla de condições de cultivo, outra cultivar que se destaca é a 4 (MGS EPAMIG 1194), que apresentou o segundo menor P_i na avaliação geral (1,76). Essa cultivar também se destacou como uma das mais promissoras em ambientes favoráveis, com o segundo menor valor de P_i nessa condição (0,74). Nesse tipo de ambiente, destacam-se também as cultivares 10 (MGS Aranãs) e 3 (Topázio MG 1190) com valores de P_i de 1,68 e 1,88, respectivamente. Esses genótipos correspondem àqueles que respondem favoravelmente a melhorias no ambiente. Já para condições específicas de cultivo em ambientes desfavoráveis, além da cultivar 12, destacam-se as cultivares 5 (Catiguá MG2) e 11 (Sarchimor MG 8840), com valores de P_i de 1,87 e 2,07, respectivamente, indicando que, mesmo quando não cultivados em condições ótimas, esses genótipos conseguem manter um nível de produtividade próximo da média esperada.

Segundo Farias et al. (1997) a metodologia proposta por Lin e Binns é uma boa alternativa na avaliação da estabilidade, pois não apresenta limitações relacionadas ao uso da regressão e possibilita a identificação de uma ou mais cultivares com desempenho próximo do máximo nos vários ambientes testados.

CONCLUSÕES

1. O método AMMI possibilitou o estudo da interação GA em ensaios multiambientes sem repetições, situação comum em unidades demonstrativas do desempenho de cultivares;
2. Considerando tanto todos os ambientes avaliados, quanto apenas ambientes favoráveis ou desfavoráveis, a cultivar 12 (IAC 125 RN) se destacou com a maior estabilidade, podendo ser recomendada em todos os casos por apresentar adaptabilidade ampla;
3. A cultivar 4 (MGS EPAMIG 1194) se destacou como a segunda mais estável tanto em condições gerais de cultivo quando em ambientes favoráveis. Também se destacaram em condições favoráveis as cultivares 10 (MGS Aranãs) e 3 (Topázio MG 1190);

4. Em ambientes desfavoráveis destacaram-se, além da cultivar 12, as cultivares 5 (Catiguá MG2) e 11 (Sarchimor MG 8840);
5. Os resultados apresentados nesse trabalho se referem à avaliação da primeira colheita das plantas, safra de 2018/19, se tratando, portanto, de um trabalho em andamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Federação dos Cafeicultores do Cerrado, à FUNDACCER, à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), à Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Consórcio Pesquisa Café, ao CNPq, à FAPEMIG, ao INCTCafé e aos proprietários e colaboradores das fazendas envolvidas no projeto Unidades Demonstrativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARGNIN, A. et al. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 987-993, jun. 2006.
- CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**. v. 38, n.4, p. 547-552, 2016.
- DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução a análise "AMMI"**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p.
- FARIAS, F. J. C. et al. Parâmetros de estabilidade propostos por Lin e Binns (1988) comparados com o método da regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, abr. 1997.
- GAUCH, H. G. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 5, p. 1860-1869, Apr. 2013.
- GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Predictive and postpredictive success of statistical analysis of yield trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, n. 1, p. 1-10, 1988.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, n. 1, p. 193-198, 1988.
- SANTOS, D. C. et al. Adaptability and stability of maize hybrids in unreplicated multi-environment trials. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 1, p. 83-89, jan-mar, 2019.
- MARIOTTI, J. A. et al. Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de caña de azúcar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, Tuculman, v. 13, n. 1/4, p. 105-127, jan.1976.
- MOURA, W. M. et al. Ensaio regional de linhagens de café arábica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. Poços de Caldas, MG. **Resumos...** Brasília: Embrapa/Minasplan, v. 2, p. 484-487, 2000.
- RAMALHO, M. A. P. et al. A interação genótipos por ambientes. In: **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012. p. 365-456.