

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CAFÉ

² Vinícius T. Andrade; ³ César Elias Botelho; ⁴ Alex Mendonça de Carvalho; ⁵ Thamiris Baldoni Pereira; ⁶ Cristiano de Andrade Gomes; ⁷ Evandro Andrade de Souza Júnior

¹ Trabalho financiado pela FAPEMIG e Consórcio Pesquisa Café.

² Mestrando em Genética e Melhoramento de Plantas- DBI/ UFLA, viniciusandrade84@yahoo.com.br

³ Pesquisador Dr. EPAMIG-URESM, cesarbotelho@epamig.br

⁴ Doutorando em Fitotecnia-DAG/UFLA, carvalho.am@hotmail.com

⁵ Mestranda em Fitotecnia-DAG/UFLA, thamisbandoni@hotmail.com

⁶ Mestrando em Fitotecnia-DAG/UFLA, cristianoagricultura@yahoo.com.br

⁷ Graduando em Engenharia Agrônoma-UFLA, evandro_asj@yahoo.com.br

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi identificar genótipos de café com alta estabilidade e adaptabilidade, pelo método de Toler (1990). Avaliou-se a produtividade em sacas beneficiados/ha durante seis colheitas em três locais representativos do estado de Minas Gerais. As colheitas foram agrupadas em três biênios nos três locais totalizando nove ambientes, os quais foram submetidos à análise. Os tratamentos constituem-se de 33 genótipos do grupo Mundo Novo oriundos do programa de melhoramento do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC. A média dos genótipos avaliados nos diferentes ambientes variou de 37,6 a 25,6 sacas/ha, com - média geral de 30,2 sacas/ha. Dentre os genótipos avaliados 90% apresentaram padrão unissegmentado, sendo classificados como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (B), adaptabilidade geral (C) e com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (D), os quais quatorze deles com média de produtividade acima da média geral. Apenas 10 % dos genótipos apresentaram padrão de resposta bissegmentado duplamente desejável (A) e duplamente indesejável (E). No padrão (A) o destaque é para o genótipo 12 que apresentou a maior produtividade na média dos ambientes. No grupo (E) destaca-se o comportamento do genótipo 8 cuja produtividade foi inferior apenas ao genótipo 12. Concluiu-se que o método possibilitou classificar os genótipos de café segundo suas produtividades e seus padrões de resposta, o que contribuiu para um melhor entendimento de seus comportamentos. Existem genótipos com alta produtividade tanto em ambientes favoráveis, médios e desfavoráveis. Os genótipos recomendados nessas condições seriam o 12, 24 o 7 e 8. Destacou-se quanto a adaptabilidade geral o genótipo 24 e para adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis o 7, sendo o genótipo 12 considerado como o ideal de acordo com o método.

Palavras-chave: Regressão não linear, interação genótipos x ambientes, produtividade.

ADAPTABILITY AND STABILITY OF GENOTYPES COFFEE

ABSTRACT: The aim of this paper is to apply the method of Toler (1990) to study the interaction and discrimination of genotypes for adaptability and stability in all environments and identify the ideal genotype according to the method. We evaluated the productivity bags/ha for six samples at three sites representing the state of Minas Gerais. Crops were grouped into three biennia at the three sites totaling nine rooms, which were subjected to analysis. The treatments are made up of 33 genotypes of the Mundo Novo Group from the breeding program of the Agronomic Institute of Campinas. The average of genotypes in different environments ranged from 37.6 to 25.6 bags / ha, with an overall average of 30.2 bags / ha. Among the genotypes evaluated 90% had single-segment pattern, classified as having adaptability to specific environments (B), adaptability (C) and with specific adaptability to unfavorable environments (D), which fourteen of them with average productivity above the general average. Only 10% of genotypes response pattern bissegmented doubly desirable (A) and doubly undesirable (E). In standard (A) is the highlight for the 12 genotype with the highest average productivity in any environment. In the group (E) highlight the behavior of genotype 8 whose productivity was below only genotype 12. It was concluded that the method allowed to classify the genotypes according to their yield of coffee and their response patterns, which contributed to a better understanding of their behaviors. There are genotypes with high yield in both environments, average and bad. Genotypes recommended under these conditions would be, respectively, numbers 12, 24, 7 and 8. Stood out as the general adaptability of the genotype number 24 and for specific adaptability to unfavorable environments the 7th, being the ideal genotype according to the method of the number 12.

Key words: Nonlinear regression, genotype x environment interaction, yield

INTRODUÇÃO

A seleção e recomendação de genótipos mais produtivos é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético de qualquer espécie cultivada. O processo de seleção é frequentemente realizado avaliando-se o desempenho dos genótipos em diferentes ambientes. Contudo, a decisão de lançamento de novas cultivares em geral é

dificultada pela ocorrência da interação genótipos x ambientes. Detectar apenas que está ocorrendo interação não basta deve-se também considerar sua natureza, que pode ser simples ou complexa. Se ela for simples, a classificação dos genótipos não se altera nos ambientes nos quais os mesmos são avaliados. Já no caso dela ser complexa ocorre mudança na classificação dos genótipos, isto é, há genótipos que apresentam desempenho superior em alguns ambientes, mas não em outros (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992)

De acordo com Bernardo (2002), existem três modos de se trabalhar com a interação, são eles: ignorá-la, reduzi-la e explorá-la. Obviamente, as duas últimas são as preferíveis, pois, quando se ignora a interação e seleciona-se somente com base na média dos ambientes a taxa de erro tipo II se eleva. Essa taxa de erro é decorrente da aceitação da hipótese nula (H_0) quando ela é falsa. Ela pode referir-se à produtividade e estabilidade de um genótipo, como uma cultivar ou progênie. A H_0 para produtividade é: $H_0: \mu_1 \geq \mu_0$ onde μ_1 é a média do genótipo e μ_0 é a média geral de todos os genótipos. Já a H_0 para estabilidade indica que a diferença entre a média de dois genótipos é a mesma em todos os ambientes, ou seja, indica que a estimativa do parâmetro que mede a estabilidade é igual a zero. Dessa forma, em ambos os casos, elevadas taxas de erro são prejudiciais, pois pode selecionar genótipos considerados mais produtivos e estáveis quando na verdade não o são (KANG E MAGARI 1996). Para reduzir a interação, uma alternativa é agrupar ambientes com características semelhantes onde será realizada a seleção. Porém, essa opção pode ser dificultada devido à heterogeneidade ambiental mesmo em regiões próximas ou aparentemente semelhantes (OLIVEIRA et al 2010). Diante do exposto a alternativa que melhor se adéqua à rotina do melhoramento é a de explorar a interação através de metodologias apropriadas que consigam capitalizá-la em favor do genótipo.

Quando se deseja explorar a interação surgem algumas dificuldades que necessitam ser comentadas. A primeira delas refere-se à conceituação de dois conceitos importantes que surgem para auxiliar na seleção dos genótipos, são eles: estabilidade e adaptabilidade (CRUZ & CARNEIRO 2006). Existem diversas classificações e definições desses dois conceitos. Segundo (RAMALHO et al 2011) a estabilidade que os melhoristas desejam refere-se à responsividade e previsibilidade do comportamento genotípico e adaptabilidade é a capacidade do genótipo em captar as variações ambientais a seu favor convertendo-as em maior produção. A segunda dificuldade surge na escolha do método de análise da estabilidade e adaptabilidade (FREEMAN,1973). Vencovsky e Barriga (1992) comentam que eles diferem basicamente nos conceitos utilizados para estabilidade e nos procedimentos biométricos utilizados em sua mensuração.

A metodologia mais antiga para avaliar a performance genotípica é a análise conjunta de experimentos, que utiliza a variação ambiental dentro dos genótipos como estimador do parâmetro de estabilidade (BONATO, 1978). A partir disso diversos métodos surgiram, tais como os que utilizam regressões lineares uni e bissegmentadas, os quais são criticados pela comunidade científica apesar de serem amplamente utilizados. A principal crítica refere-se a não independência da variável que mede o índice ambiental e a produtividade do genótipo, pois esse índice é obtido da observação fenotípica (CROSSA, 1990). Com o intuito de contornar o problema Toler (1990) propôs o método de regressão não linear bissegmentado em que o índice ambiental é um parâmetro a ser estimado iterativamente.

O método de Toler (1990) procura identificar genótipos que mantenham a produtividade em níveis aceitáveis apesar do estresse nos ambientes desfavoráveis e que sejam responsivos quando as condições ambientais melhoram. Assim o genótipo avaliado pode apresentar dois padrões de resposta, os quais são chamados de convexo e côncavo. Esses padrões se referem ao comportamento do genótipo em ambientes favoráveis e desfavoráveis. O primeiro designa o genótipo duplamente favorável, ou seja, performance consistente em condições desfavoráveis e consegue explorar a melhoria do ambiente. Já o genótipo caracterizado como duplamente desfavorável é sensível em ambientes desfavoráveis e não responde à sua melhoria (RAMALHO et al.,2011).

Existem poucos trabalhos que utilizaram essa metodologia. Alguns recomendam seu uso e outros não em função de sua eficiência na discriminação de genótipos. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi identificar genótipos de café com alta estabilidade e adaptabilidade, pelo método de Toler (1990).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados 33 genótipos do grupo Mundo Novo obtidos no Programa de Melhoramento Genético do Cafeeiro conduzido pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (Tabela 1). Os experimentos foram instalados em novembro de 2000 na Fazenda Experimental da Epamig, situada no município de Três Pontas, na Fazenda Ouro Verde localizada em Campos Altos e na Fazenda Resplendor, em Capelinha. Estes locais representam algumas das principais regiões cafeeiras do Estado: Sul de Minas, Alto Paranaíba e Vale do Jequitinhonha, respectivamente. As regiões escolhidas têm características ambientais definidas e distintas que influenciam sobremaneira no comportamento do cafeeiro (MENDES, 1994). Fato importante na recomendação de genótipos, uma vez que quanto mais distintos forem os ambientes, melhor será a discriminação dos genótipos quanto a sua estabilidade e adaptabilidade de comportamento (MORAES et al., 2008)

Tabela 1: Relação dos genótipos avaliados e teste de agrupamento de médias Scott Knott a 5%.

Nº	Progênie	SK	Nº	Progênie	SK	Nº	Progênie	SK	Nº	Progênie	SK
1	IAC 382-7	E	10	IAC 501 12	G	19	IAC 388-6-16-2	G	28	IAC 388-6-13	F
2	IAC 471-11	G	11	IAC 475	G	20	IAC 464-1 E12-59	F	29	IAC 502-11	D

3	IAC 2897	C	12	IAC 379-19	A	21	IAC 500-15 C 722	D	30	IAC 501-5-801	D
4	IAC 447	F	13	IAC 376-14	E	22	IAC 500-11 P 1	D	31	IAC 501	F
5	IAC 387 14-11	H	14	IAC 500-11	E	23	IAC 388-6 14	G	32	IAC 376-4-36	H
6	IAC 502-9	E	15	IAC 464 15	E	24	IAC 388-6-16	C	33	IAC 376-4-22	C
7	IAC 403-1	B	16	IAC 379-19-1	E	25	IAC 379-19-2	C			
8	IAC 2931	B	17	IAC 480	C	26	IAC 464-2	D			

O delineamento adotado foi de blocos casualizados, com quatro repetições e seis plantas por parcela. O espaçamento adotado para plantio foi de 3,8 m entre linhas por 0,8 m entre plantas. Os tratos culturais e condução do experimento foram feitos de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro, tendo a adubação realizada conforme Guimarães et al. (1999). O controle de pragas e doenças foi realizado seguindo manejo integrado, o qual foi variável para cada região, acompanhando a sazonalidade da ocorrência das pragas e doenças.

As avaliações de produção foram efetuadas em seis colheitas, safras 2001/2002 a 2006/2007. As parcelas foram colhidas e a produção de litros de “café da roça” por parcela foi avaliada anualmente, sendo a colheita realizada entre os meses de maio e julho de cada ano. Posteriormente, realizou-se a conversão do volume para sacas de 60 kg de café beneficiado/ha por aproximação de valores. Considerou-se um rendimento médio de 480 litros de “café da roça” para cada saca de 60 kg de café beneficiado, que corresponde ao rendimento médio adotado em todas as regiões.

Realizou-se análise de variância conjunta dos três locais e subdividida no tempo (Steel & Torrie, 1980) tendo o conjunto de duas colheitas (biênio) considerado a subparcela. A análise foi realizada após a constatação da homogeneidade das variâncias, por meio do teste de Hartley, como sugerido por Ramalho et al. (2000). Para comparar o desempenho produtivo das progênies foi aplicado o teste de agrupamento de Scott e Knott a 5% de significância.

Para análise de estabilidade e adaptabilidade utilizou-se a metodologia proposta por Toler (1990), análise de regressão bissegmentada não-linear, adota-se o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \alpha_i [Z_j \beta_{1i} + (1 - Z_j) \beta_{2i}] \mu_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} : resposta média do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente j ($i = 1$ a 33; e $j = 1$ a 9 ambientes);

α_i : parâmetro que reflete o valor da resposta do i-ésimo genótipo no ambiente de produtividade média ($\mu_i = 0$);

β_{1i} e β_{2i} : parâmetros que refletem a sensibilidade de resposta do i-ésimo genótipo nos ambientes de baixa ($\mu_j \leq 0$) e de alta ($\mu_j > 0$) produtividade média respectivamente;

μ_j : parâmetro que reflete o efeito do j-ésimo ambiente;

δ_{ij} : desvio da regressão não-linear (originalmente confundido no erro aleatório);

$\bar{\epsilon}_{ij}$: erro experimental médio;

Z_j : variável indicadora *dummy*, sendo $Z_j = 1$ quando $\mu_j \leq 0$, e $Z_j = 0$ quando $\mu_j > 0$.

Com base nos teste de hipótese $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i}$ e $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i} = \beta_i = 1$, os genótipos são enquadrados em cinco grupos conforme descrito a seguir:

Grupo	Critério
A	Rejeita $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i}$, sendo $\beta_{1i} < 1 < \beta_{2i}$
B	Não se rejeita $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i}$ e rejeita $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i} = 1$, com o β_i comum maior que a unidade
C	Não se rejeita $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i}$ e não rejeita $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i} = 1$, com o β_i comum maior que a unidade
D	Não se rejeita $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i}$ e rejeita $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i} = 1$, com o β_i comum menor que a unidade
E	Rejeita $H_0: \beta_{1i} = \beta_{2i}$, sendo $\beta_{1i} > 1 > \beta_{2i}$

Os significados práticos dos cinco grupos são:

A: resposta convexa e duplo desejável;

B: resposta linear simples e desejável somente em ambientes de alta qualidade (adaptabilidade específica a ambientes favoráveis);

C: resposta linear não desviando da resposta média (adaptabilidade geral);
D: resposta linear simples e desejável somente em ambientes de baixa qualidade (adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis);
E: resposta côncava e duplo indesejável.

Utilizou-se para realizar a análise o programa Estabilidade (FERREIRA E ZAMBALDE, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo a 5% pelo teste F para as fontes de variação genótipos, local, biênios e interações genótipos x local, local x biênio, genótipo x biênio e genótipo x biênio x local. A existência da interação tripla evidencia diferença no desempenho dos genótipos em relação à produtividade ao longo dos anos nos diferentes locais estudados. Tal fato justifica a avaliação de estabilidade e adaptabilidade desses genótipos.

A média dos genótipos nos diferentes ambientes variou de 37,6 sacas/ha para o genótipo 12 a 25,6 sacas/ha para o genótipo 5, ficando a média geral em torno de 30,2 sacas/ha.

Os genótipos se enquadraram nos cinco grupos estabelecidos pela metodologia. De acordo com (TOLER, 1990) existem três requisitos necessários para que essa classificação ocorra, são eles: alta diversidade ambiental, precisão experimental e a real diversidade quanto aos padrões de resposta definidos pelo método.

Dos nove ambientes avaliados cinco foram considerados desfavoráveis, com destaque para Três pontas no biênio 3. Com relação aos ambientes favoráveis Capelinha no biênio 2 foi considerado o melhor pelo índice ambiental calculado pelo método de Toler (1990) como pode-se observar na tabela 2.

Tabela 2: Resultados médios de produtividade de grãos (sacas de café beneficiado/ha) de café, por ambiente e índice de qualidade ambiental estimados pelo método de Toler (1990), em ensaios de competição de genótipos em três regiões de Minas Gerais.

Identificação	Ambiente	Média Ambiental	Índice de Qual. Amb.
TP 01	Três Pontas (biênio 01)	22,66	-7,59
TP 02	Três Pontas (biênio 02)	32,27	2,12
TP 03	Três Pontas (biênio 03)	14,60	-15,64
CA 01	Campos Altos (biênio 01)	27,48	-2,76
CA 02	Campos Altos (biênio 02)	39,46	9,21
CA 03	Campos Altos (biênio 03)	28,34	-1,90
CP 01	Capelinha (biênio 01)	38,80	8,55
CP 02	Capelinha (biênio 02)	49,00	18,76
CP 03	Capelinha (biênio 03)	19,60	-10,65

Na tabela 3 pode-se observar que dentre os 33 genótipos avaliados 90% se enquadram no padrão de resposta unissegmentado (grupos B, C, D), sendo 5% desses com resposta desejável em ambientes favoráveis (grupo B), 76 % com resposta não desviando da média (grupo C) e 9% cuja resposta é favorável em ambientes de pobre qualidade (grupo D). Dentre esses 30 genótipos, 14 apresentaram produtividade acima da média geral sendo classificados, pelo teste agrupamento de médias Scott e Knott, nos quatro primeiros grupos. Nesse agrupamento destaca-se, quanto a adaptabilidade geral o genótipo 24 e para adaptabilidade específica em ambientes desfavoráveis o 7, que situaram-se no grupo B pelo teste de agrupamento de médias realizado. Esses dois genótipos são de interesse, em especial o genótipo 24, em função da heterogeneidade de ambientes em que o café é cultivado.

Apenas 10% dos genótipos apresentaram padrão de resposta bissegmentado. Quanto ao padrão duplamente desejável (grupo A) o destaque é para o genótipo 12, sendo o único classificado como duplamente favorável e ainda apresentou a maior produtividade na média dos ambientes. Devido a essas características esse genótipo é considerado o mais próximo ao ideótipo preconizado por Toler (1990). Resultados divergentes foram encontrados por Rosse e Vencovsky (2000). Esses autores analisaram dados produtivos de feijão e constataram que os genótipos classificados com padrão A não estavam associados com médias elevadas. Concluíram ainda sobre a dificuldade de se encontrar indivíduos duplamente desejáveis com alta produtividade e previsibilidade de comportamento. No grupo E destacou-se

o comportamento do genótipo 8 cuja produtividade foi inferior a apenas o genótipo 12. Vale ressaltar que nem sempre os genótipos do grupo A são os ideais em quaisquer condições. Para agricultores que empregam baixo nível tecnológico um padrão E de resposta pode ser mais adequado quando associado à alta produtividade (MORAES et al,2008). Dessa forma o genótipo 8 pode ser indicado para essas condições.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos em outros trabalhos, onde a maioria dos genótipos são classificados nos grupos unissegmentados e apenas alguns nos grupos A e E (TOLER,1990; ROSSE & VENCOVSKY 2000;MORAES et al. 2008). De acordo com Toler (1990) essa característica pode estar relacionada com o nível de melhoramento de uma espécie. Assim, quanto maior o grau de melhoramento menos divergente será o comportamento de cada indivíduo dentro da população. O que está de acordo com os genótipos avaliados, uma vez que foram obtidos do programa do IAC onde provavelmente foram obtidos em programas de melhoramento.

Tabela 3: Classificação dos genótipos em função do teste de agrupamento de médias Scott e Knott a 5% de significância e padrão de resposta definidos pelo método de Toler (1990).

Classificação SK	Padrão de classificação genotípica de resposta					Porcentagem
	A	B	C	D	E	
a	12					3%
b			24	7	8	10%
c			9;17;25;33	18	3	18%
d			21;22;29;30	26		16%
e		13	1;6;14;15;16;27			22%
f			4;20;28;31			9%
G			2;10;11;19;23			15%
H			5;32			6%
Porcentagem	3%	5%	76%	9%	7%	

CONCLUSÕES

Concluiu-se que o método possibilitou classificar os genótipos de café segundo suas produtividades e seus padrões de resposta, o que contribuiu para um melhor entendimento de seus comportamentos.

Existem genótipos com alta produtividade tanto em ambientes favoráveis, médios e desfavoráveis. Os genótipos recomendados nessas condições seriam, os 12, 24, 7 e 8.

Destacou-se quanto a adaptabilidade geral o genótipo 24 e para adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis o 7, no qual o genótipo 12 pode ser considerado o mais próximo ao ideótipo preconizado por Toler (1990).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, R. Breeding for Quantitative Traits in Plants. Stemma Press, Woodbury, MN, 2002
- BONATO, E.R. Estabilidade fenotípica da produção de grãos de dez cultivares de soja (*Glycine max* L. Merrill) nas condições do Rio Grande do Sul. 1978.75 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- CROSSA, J. Statistical analysis of multilocations trials. Advances in Agronomy, New York, v.44, p.55-85, 1990.
- CRUZ, C.D. & CARNEIRO, P.C.S. 2006. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético vol.2. UFV, Viçosa. 585 p
- FREEMAN,G.H.,1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. Heredity, v.31,339—354.
- HÜHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part I: theory. Euphytica, v.47, p.195-201, 1990
- KANG, M. S.; MAGARI, R. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. In: KANG, M. S.; GAUCH JR., H. G. (Ed.) Genotype by environment interaction. [S.l.: s.n.],1996.p. 1-14.
- MENDES, A. N. G. 1994. Avaliação de metodologias empregadas na seleção de progênies do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no estado de Minas Gerais. 167 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- MORAES,L.K.de; MOURA,M.F.; VENCOVSKY,R.; PINHEIRO,J.B. Adaptabilidade e Estabilidade Fenotípica em Soja Avaliada pelo método de Toler. Bragantia, Campinas, v.67, n.2, p.275-284, 2008.
- OLIVEIRA,R.L.de.; VON PINHO, R.G.; BALESTRE, M.; FERREIRA,D.V. Evaluation of maize hybrids and environmental stratification by the methods AMMI and GGE biplot. Crop Breeding and Applied Biotechnology 10: 247-253, 2010
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.dos.; ABREU, A.F.B.de.; NUNES,J.A.R. 2011. Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas. UFLA, Lavras. (NO PRELO)

- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de. 2000. A experimentação em genética e melhoramento de plantas. Lavras: Editora UFLA. 326 p.
- ROSSE, L.N.; VENCOVSKY, R. Modelos de regressão não linear aplicados ao estudo da estabilidade fenotípica de genótipos de feijão no estado do Paraná. *Bragantia*, Campinas, 59(1), 99-107, 2000.
- STEEL, R. G.; TORRIE, J. K. (1980); Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2. ed. Tokyo: McGraw-Hill, 633 p.
- TOLER, J.E. Patterns of genotypic performance over environmental arrays. Clemson, 1990. 154p. Thesis (PhD.) – Clemson University.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica aplicada no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- YAN W, KANG MS (2003) GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.