

ESTIMAÇÃO DE COMPONENTES DE VARIÂNCIA E PREDIÇÃO DE VALORES GENÉTICOS EM CLONES DE *Coffea arabica* POR MEIO DE MODELOS LINEARES MISTOS

Tiago Teruel Rezende¹; Samuel Pereira de Carvalho²; Julio Sílvio de Sousa Bueno Filho³; José Roberto Marques Filho⁴; Ronaldo Alves Libânio⁵; Leonardo Luiz Oliveira⁶; Dalysse Castanheira Toledo⁷

¹ Doutorando em Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, tiago.teruel@yahoo.com.br

² Professor DSc, Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, samuelpc@dag.ufla.br

³ Professor DSc, Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, jssbueno@dex.ufla.br

⁴ Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, jrnf-mais@hotmail.com

⁵ Pós-doutorando, Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, ronaldo@posgrad.ufla.br

⁶ Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, agronleonardo@yahoo.com.br

⁷ Mestranda em Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, dalyssecastanheira@hotmail.com

RESUMO: Com a possível identificação de cafeeiros portadores de vigor híbridos e com o domínio de tecnologia para a propagação vegetativa torna-se importante a obtenção de híbridos produtivos que sejam superiores às cultivares existentes. Na avaliação de novos genótipos, as estimativas de parâmetros genéticos permitem conhecer a estrutura genética desses materiais, o que proporciona subsídios para prever os ganhos genéticos e o possível sucesso no programa de melhoramento. O objetivo deste trabalho foi identificar híbridos de *Coffea arabica* por meio das estimativas dos componentes de variância e pela predição dos efeitos genotípicos obtidos por um modelo linear misto. Foi avaliada a produção em litros por planta do primeiro quadriênio de oito híbridos e três cultivares. O experimento foi instalado em 2006 no campo experimental da Universidade Federal de Lavras, sendo as avaliações realizadas no período de 2009 a 2012. Utilizou-se um modelo linear misto para a estimação dos componentes de variância e predição dos valores genéticos dos híbridos e das cultivares e pelo ordenamento dos efeitos genéticos foi feita a seleção dos três melhores híbridos que apresentaram um desempenho superior à média geral da produção de café no primeiro quadriênio. As três cultivares apresentaram um desempenho inferior à média geral.

PALAVRAS-CHAVE: Híbridos, produção, clone.

VARIANCE COMPONENTS STIMATION AND PREDICTION OF GENETIC VALUES IN *Coffea arabica* CLONES BY LINEAR MIXED MODELS

ABSTRACT: With the possible identification of coffee carrying hybrid vigor and with the field of technology for vegetative propagation it becomes important to obtaining productive hybrids that are higher than the existing cultivars. In the evaluation of new genotypes, the estimates of genetic parameters allow to know the genetic structure of these materials, which provides subsidies to predict the genetic gains and the possible success in the breeding program. The aim of this work was to identify hybrids of *Coffea arabica* by the estimates of variance components and prediction of genotypic effects obtained by a mixed linear model. Production in liters per plant were evaluated of the first four years of eight hybrids and three cultivars. The experiment was installed in 2006 at the Universidade Federal de Lavras, being the evaluations carried out in the period from 2009 to 2012. It was used a mixed linear model for the estimation of variance components and prediction of genetic values of hybrids and cultivars and by ordering of genetic effects was made the selection of the best three hybrids that presented a performance higher than the general average of coffee production in the first four years. The three cultivars showed a performance lower than the general average.

KEYWORDS: Hybrid, production, clone.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, tendo este uma grande importância na economia brasileira, gerando muitos empregos diretos e indiretos. Dada essa importância, os programas de melhoramento genético do cafeeiro têm um papel importante para tornar o café cultivado em todo o Brasil mais competitivo economicamente, com a obtenção de novas cultivares cada vez mais produtivas. Com a possível existência de vigor híbrido no cafeeiro e com o domínio de tecnologia para a propagação vegetativa tornou-se importante a obtenção de híbridos produtivos que sejam superiores às cultivares existentes, pois a clonagem possibilita capitalizar todos os efeitos de dominância, alélicos, epistáticos e outros efeitos de um alelo. As estimativas de parâmetros genéticos permitem conhecer a estrutura genética da população, a inferência da variabilidade genética presente na população e proporcionam subsídios para prever os ganhos genéticos e o possível sucesso no programa de melhoramento. Essas estimativas também são importantes na redefinição dos métodos de melhoramento a serem utilizados, na identificação da natureza da ação dos genes

envolvidos no controle dos caracteres quantitativos, na definição com eficiência de diferentes estratégias de melhoramento para obtenção de ganhos genéticos com a manutenção da base genética adequada na população (Cruz e Carneiro, 2006). Entre os parâmetros genéticos e fenotípicos que podem auxiliar o direcionamento da seleção de cafeeiros mais promissores, destacam-se as herdabilidades, as variâncias genéticas e fenotípicas (Ferrão et al., 2008). A herdabilidade de uma característica é a proporção da variação fenotípica resultante da variância genética existente na população. É um parâmetro essencial em programas de melhoramento genético, pois indica quanto das diferenças existentes no desempenho para uma característica são determinadas por fatores genéticos ou ambientais, tendo assim papel fundamental na predição dos valores genéticos (Bourdon, 2000). Desta forma, pela sua importância, a herdabilidade deve ser conhecida para a condução de um programa de melhoramento, e muitas das decisões práticas são tomadas em função de sua magnitude (Ramalho et al., 2012). Na avaliação dos genótipos obtidos nos programas de melhoramento genético vegetal tem sido comum a análise baseada em modelo fixo, no entanto, se estes forem obtidos por amostragem de uma população, a análise baseada em modelo fixo não é a mais correta, sendo correta a abordagem por modelos mistos, no qual inclui os efeitos fixos e os efeitos aleatórios. Embora se a abordagem por modelo fixo for utilizada, os efeitos prejudiciais são tidos como mínimos e a ordem de classificação dos genótipos (tratamentos), em geral, não se altera, desde que o ensaio esteja em delineamento ortogonal e balanceado. No caso de ensaio com muitos genótipos sendo avaliados, ou no caso de ensaio com delineamento desbalanceado não planejado, devido à perda de parcela durante a condução do experimento, a abordagem por modelo fixo, quando o modelo na verdade é misto, pode conduzir a equívocos na seleção dos melhores genótipos, pois a ordem de classificação dos genótipos pode ser diferente entre as duas abordagens (Bueno Filho e Vencovsky, 2000; Duarte e Vencovsky, 2001). A abordagem inadequada para a avaliação de uma característica para a seleção de genótipos superiores pode levar ao insucesso o programa de melhoramento, por não conseguir isolar de forma eficiente o efeito genético do efeito ambiental. Neste contexto, o procedimento ótimo consiste na estimação da variância e na predição dos valores genotípicos. O procedimento para estimar a variância, no caso de modelos fixos envolve os procedimentos ANOVA baseado no método dos momentos (Fisher, 1918; Henderson, 1953) e no método de quadrados mínimos ordinários para estimar as médias. Nos modelos mistos, o método de quadrados mínimos ordinário não é válido, sendo então utilizados os métodos de estimação de máxima verossimilhança (ML) (Hartley e Rao, 1967) ou máxima verossimilhança restrita (REML) (Patterson e Thompson, 1971) para a variância e para a predição dos efeitos aleatórios e estimação dos efeitos fixos, são utilizados os métodos de melhor preditor linear não viesado (BLUP) e melhor estimador linear não viesado (BLUE), respectivamente. Desta forma, a abordagem por modelos misto considerando o efeito de tratamentos (genótipos) como aleatório, estes então representam uma amostra de uma população de genótipos, cujas respostas avaliadas são distribuídas normalmente, em torno de uma média comum e com uma variância genética e residual, ou seja, os efeitos genéticos são variáveis aleatórias não observáveis, as quais correspondem aos desvios aleatórios em relação à média. Conhecendo-se a variância genética e residual o próximo procedimento consiste em prever os efeitos genéticos de cada genótipo, e assim proceder ao ordenamento dos valores genéticos de cada um e então fazer a seleção dos melhores genótipos com base na classificação ordenada dos referidos efeitos. O objetivo deste trabalho foi identificar híbridos por meio das estimativas dos componentes de variância e pela predição dos efeitos genotípicos obtidos por um modelo linear misto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Departamento de Agricultura/Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras – UFLA. A área experimental está localizada a 21°14' de latitude sul; 45°00'00'' de longitude oeste e a uma altitude de 910 m. O solo é classificado como Latossolo vermelho amarelo distroférrico típico, textura média, com relevo suave ondulado. As mudas dos híbridos foram obtidas por meio do enraizamento de estacas caulinares de ramos ortotrópicos, obtidos após recepa de plantas matrizes. Como tratamento para indução do enraizamento das estacas utilizou-se o fitohormônio ácido indol-3-butírico (AIB), veiculado em talco inerte. O enraizamento das estacas foi realizado em casa de vegetação, com controle de umidade e temperatura, equipada com sistema automático de irrigação por micro-aspersão. O substrato utilizado no leito de enraizamento foi uma mistura de areia lavada e vermiculita, na proporção de V/V 1:1. Após o enraizamento as estacas foram repicadas para sacolinhas convencionais de polietileno para mudas de meio ano com 10 x 20cm, contendo o substrato comercial Plantmax® e substrato padrão na proporção V/V 1:1. As mesmas foram transferidas para viveiro com 50% de sombreamento, onde permaneceram até atingirem o tamanho de muda recomendado para plantio no campo. As mudas das três cultivares foram obtidas via sementes conforme o recomendado para a formação de mudas de cafeeiros de meio-ano. O plantio das mudas, após aclimatação, foi realizado em março de 2006, seguindo as recomendações de plantio e formação da lavoura (tratos culturais) usuais da região. Foi avaliada a produção média do primeiro quadriênio (safra 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012) dos oito híbridos (propagados assexuadamente) e das três cultivares (propagados via semente), identificados na Tabela 1.

Tabela 1. Identificação e descrição das três cultivares e oito híbridos em Lavras - MG. 2013

Identificação	Descrição
Icatu IAC-2942	Icatu Vermelho IAC 2942
Catuai IAC-62	Catuai Amarelo IAC 62
Catuai IAC-99	Catuai Vermelho IAC 99
142.2	Híbrido 142; Planta 2 (Icatu IAC 2942 x Catuai IAC 62)
136.1	Híbrido 136; Planta 1 (Icatu IAC 4040-179 x Catuai IAC 99)
136.2	Híbrido 136; Planta 2 (Icatu IAC 4040-179 x Catuai IAC 99)
130.2	Híbrido 130; Planta 2 (Icatu IAC 2942 x Icatu IAC 5002)
142.3	Híbrido 142; Planta 3 (Icatu IAC 2942 x Catuai IAC 62)
131.1	Híbrido 131; Planta 1 (Icatu IAC 4040-179 x Catuai IAC 17)
130.2	Híbrido 130; Planta 2 (Icatu IAC 2942 x Icatu IAC 5002)
131.2	Híbrido 131; Planta 2 (Icatu IAC 4040-179 x Catuai IAC 17)

Foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijr} = m + b_j + g_i + e_{ijr} ; \quad \text{com: } \begin{aligned} e_{ijr} &\sim (0, \sigma_e^2); \\ g_i &\sim (0, \sigma_g^2); \\ E(Y_{ijr}) &= m + b_j; \\ \text{Var}(Y_{ijk}) &= \sigma_g^2 + \sigma_e^2. \end{aligned}$$

Em que Y_{ijr} são os valores da produção média do primeiro quadriênio do tratamento i no bloco j da parcela r ; m uma constante inerente a todas as observações; b_j é o efeito do j -ésimo bloco ($j = 1, 2, 3$) (efeito fixo); g_i o efeito do i -ésimo tratamento ($i = 1, 2, 3, \dots, 11$) (efeito aleatório) e e_{ijr} uma variável aleatória não observável. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R versão 3.0.1 (R Development Core Team, 2013) utilizando as funções *lmer* () e *ranef* () da biblioteca *lme4* (Bates; Maechler; Bolker, 2012) para a estimação e predição do modelo misto (pelo método da máxima verossimilhança restrita) e a função *dotplot* () da biblioteca *Lattice* (Sarkar, 2008) para a criação do gráfico dos efeitos genotípicos com seus respectivos intervalos de confiança . A partir das estimativas $\hat{\sigma}_g^2$ e $\hat{\sigma}_e^2$ foram estimados os seguintes coeficientes:

- Coeficiente de herdabilidade no sentido amplo:

$$\hat{h}^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2}$$

- Coeficiente de variação experimental:

$$CV_e = \left(\frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{\bar{m}} \right) \times 100$$

- Coeficiente de variação genético

$$CV_g = \left(\frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\bar{m}} \right) \times 100$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos para o caráter produção de café “da roça” (litros/planta) de oito híbridos e três cultivares são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Variância genotípica ($\hat{\sigma}_g^2$), variância fenotípica ($\hat{\sigma}_f^2$), variância residual ($\hat{\sigma}_e^2$), herdabilidade no sentido amplo, coeficiente de variação experimental (CV_e), coeficiente de variação genotípica (CV_g) e média geral (\hat{m}) para o caráter produção de café “da roça” (litros/planta) do primeiro quadriênio de produção de híbridos e cultivares de *Coffea arabica*. Lavras – MG. 2013

Parâmetros	Estimativa
$\hat{\sigma}_g^2$	2,04
$\hat{\sigma}_f^2$	2,72
$\hat{\sigma}_e^2$	0,68
\hat{h}^2	0,75
CV_e	19,76
CV_g	34,22
\hat{m}	4,17

Segundo Bourdon (2000) são consideradas pouco herdáveis estimativas de herdabilidades com valores abaixo de 0,20, moderadamente herdáveis estimativas com valores entre 0,20 e 0,40 e altamente herdáveis estimativas com valores superiores a 0,40. A estimativa de herdabilidade no sentido amplo (\hat{h}^2) para o caráter em estudo foi superior a 0,40, ou seja, altamente herdável, o que indica uma maior chance de sucesso com a seleção (Vasconcelos et al., 2012), pois a maior porção da variabilidade para este caráter se deve ao genótipo (2,04) e pouco ao ambiente (0,68).

O coeficiente de variância genética (CV_g) demonstra a heterogeneidade dos genótipos, quanto maior o seu valor, mais heterogêneos são os genótipos avaliados (Shimoya, 2000; Rodrigues et al., 2012), o que é desejável para a seleção de genótipos em um programa de melhoramento, tornando possível a seleção de genótipos superiores. Neste estudo o coeficiente de variância genética foi alto (34,22 %) indicando que existe heterogeneidade entre os genótipos estudados, sendo possível a identificação de genótipos superiores. Na Tabela 3 os híbridos estão ordenados, de acordo com os seus efeitos genotípicos, do maior para o menor. Observando-se os efeitos genotípicos, nota-se uma superioridade dos híbridos 131.1, 142.3 e 136.1 em relação às cultivares, que tiveram efeitos negativos. Os efeitos genotípicos representam os desvios do desempenho de cada genótipo em relação à média geral. Desta forma, pode-se agrupar os híbridos e as cultivares em três grupos, os que apresentam um desempenho inferior à média geral (as três cultivares), os que apresentam um desempenho médio (os híbridos 130.1, 142.2, 131.1, 136.2 e 130.2) e os que apresentaram um desempenho superior à média geral (os híbridos 136.1, 142.3 e 131.2). Essa classificação pode ser confirmada observando-se a Figura 1, que apresenta os efeitos genotípicos com seus respectivos intervalo de confiança (95% de confiança). Para os efeitos genotípicos em que o valor zero não está contido no intervalo de confiança, indica que esse efeito é significativo e para os que contem o valor zero, indica que esses efeitos não são significativos, ou seja, estatisticamente não são diferentes de zero.

Tabela 3. Efeitos genotípicos preditos das três cultivares e dos oito híbridos para o caráter produção de café “da roça” no primeiro quadriênio de produção. Lavras – MG. 2013.

Identificação	Efeito genotípico
Híbrido 131.2	2,05
Híbrido 142.3	1,02
Híbrido 136.1	0,94
Híbrido 130.2	0,74
Híbrido 136.2	0,62
Híbrido 131.1	0,61
Híbrido 142.2	0,19
Híbrido 130.1	-0,62
Catuaf IAC-62	-1,76
Icatu IAC-2942	-1,80
Catuaf IAC-99	-2,00

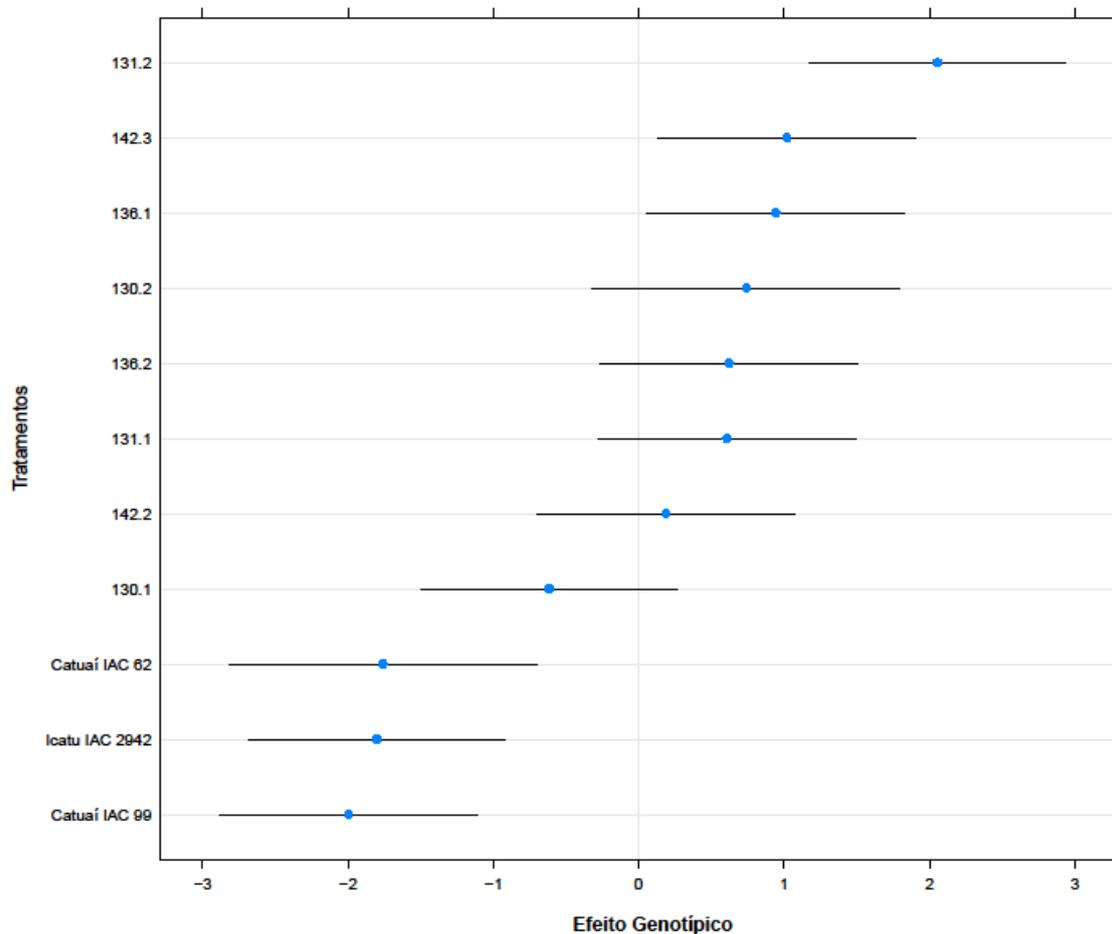


Figura 1. Efeitos genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança de híbridos e das cultivares de café, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.

Os híbridos 131.2, 142.3 e 136.1 foram superiores aos demais híbridos e cultivares no primeiro quadriênio de produção, tendo potencial para se tornarem clones comerciais. No entanto é necessário o estudo por mais ciclos reprodutivos e em outros locais.

CONCLUSÕES

Foi possível a identificação de três híbridos superiores por meio das estimativas dos componentes de variância e pela predição dos efeitos genotípicos obtidos pelo modelo linear misto.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de doutorado e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de bolsa Pesquisador Mineiro (PPM).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B. Lme4: linear mixed-effects models using S4 classes. R Package Version 0.999999-0. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=lme4>>. Acesso em: 10 dez. 2012.
- BOURDON, G. E. P. Understanding animal breeding. Upper Saddle River: Prendice-Hall, 2000. 538 p.
- BUENO FILHO, J.S. de S; VENCOSKY, R. Alternativas de análise de ensaios em látice no melhoramento vegetal. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.35, n.2, p.259-269, fev. 2000
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.S.C. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2 ed. Viçosa: UFV, 2006. v.2. 586p.

- DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. Estimação e predição por modelo linear misto com ênfase na ordenação de médias de tratamentos genéticos. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 1, p. 109-117, 2001.
- FERRÃO, R. G.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, A.; CECOM, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da; CARNEIRO, P. C. S. de; SILVA, M. F. de. Parâmetros genéticos em café Conilon. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 43, n. 1, p. 61-69, 2008.
- FISHER, R.A. The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. *Trans. Royal Society*, v.52, p.399-433, 1918.
- HARTLEY, H. O.; RAO, J. N. K. Maximum-likelihood estimation for the mixed analysis of variance model. *Biometrika*, v. 54, n. 1-2, p. 93-108, 1967.
- HENDERSON, C. R. Estimation of variance and covariance components. *Biometrics*, v. 9, n. 2, p. 226-252, 1953.
- PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika*, v. 58, n. 3, p. 545-554, 1971.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 mar. 2013.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A.; Souza, E. A.; Gonçalves, F. M. A.; Souza, J. C. Genética na agropecuária. 5 ed. Lavras: UFLA, 2012. 566 p.
- RODRIGUES, W. N.; TOMAZ, M. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; MIRANDA, F. D. Estimativa de parâmetros genéticos de grupos de clones de café conilon. *Coffee Science*, Lavras, v.7,n.2,p.177-186, maio/ago. 2012.
- SARKAR D. Lattice: multivariate data visualization with R. New York: Springer-Verlag; 2008, 280 p.
- SHIMOYA, A. Comportamento per se, divergência genética e repetibilidade em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher). 2000. 147 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- VASCONCELOS, E. S. de; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Estimativas de parâmetros genéticos da qualidade fisiológica de sementes de genótipos de soja produzidas em diferentes regiões de Minas Gerais. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 1, p. 65-76, 2012.