

Repetibilidade de produção por diferentes métodos em genótipos de café conilon no Espírito Santo

Romário Gava Ferrão¹, Maria Amélia Gava Ferrão², Paulo Sérgio Volpi³, Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca², Abraão Carlos Verdin Filho⁴, Marcone Comério⁵, Joao Felipe de Brites Senra⁶

Submissão: 01/06/2021 Aprovação: 01/09/2021

Resumo – O programa de pesquisa contínuo desenvolvido no Espírito Santo por mais de 35 anos pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) em parceria com outras instituições, contribuiu de forma significativa para o aumento da produtividade e qualidade do café conilon do estado. Por ser uma cultura perene, para obtenção de resultados confiáveis nas pesquisas de campo com café conilon, os genótipos deverão ser avaliados por vários anos. Quantas colheitas serão suficientes para adequada acurácia nos resultados experimentais? O objetivo geral do trabalho foi analisar a repetibilidade de produção por diferentes métodos em genótipos de café conilon no Espírito Santo. Foram definidos os coeficientes de repetibilidade de produção, utilizando diferentes métodos em 40 genótipos de café conilon avaliados em condições não irrigadas no delineamento experimental em blocos casualizados com seis repetições nos municípios capixabas de Marilândia e Sooretama, locais que representam mais de 70% da produção desse café no estado. Os principais resultados nos dois ambientes foram: grande variabilidade entre os materiais genéticos estudados; o método de componentes principais obtidos pela matriz de covariância apresentou os maiores coeficientes de repetibilidade; para se ter adequada acurácia no valor real dos genótipos, na ordem de 80%, são necessárias de quatro colheitas em Sooretama e cinco em Marilândia, locais que representam os ambientes das regiões nordeste e noroeste do Espírito Santo. Os resultados contribuem para maior eficácia em trabalhos futuros de melhoramento genético de café conilon.

Palavras-chave: Café conilon. Genética e melhoramento. Repetibilidade.

Production repeatability by different methods in conilon coffee genotypes in Espírito Santo

Abstract – The continuous research program for over 35 years developed in Espírito Santo by the Capixaba Institute for Research, Technical Assistance and Rural Extension (Incaper) in partnership with other institutions, has significantly contributed to increasing the productivity and quality of Conilon coffee of State. As it is a perennial crop, in order to obtain reliable results in field research with conilon coffee, the genotypes must be evaluated for several years. How many harvests will be enough for adequate accuracy in the experimental results? The general objective of this work was to analyze the repeatability of production by different methods in conilon coffee genotypes in Espírito Santo. Yield repeatability coefficients were defined using different methods in 40 Conilon coffee genotypes evaluated under non-irrigated conditions, in a randomized block experimental design with six replications in the municipalities and Marilândia and Sooretama, ES, locations that represent more than 70% of the production of this coffee in the State. The main results in both environments were: great

1 Eng. Agrônomo, D.Sc Pesquisador Multivix/Incaper, Vitória, ES, romario.ferrao@gmail.com

2 Eng. Agrônoma, D.Sc Pesquisadores Incaper/Embrapa Café, Vitória, ES.

3 Administração Rural, B.Sc Pesquisador Incaper, Marilândia, ES

4 Administração Rural, D.Sc Pesquisador Incaper, Marilândia, ES

5 Eng. Agrônomo, Mestrando Produção Vegetal, Pesquisador Incaper, Marilândia, ES

6 Eng. Agrônomo, D. Sc Genética e Melhoramento, Pesquisador Incaper, C. Itapemirim, ES

variability among the studied genetic materials; the principal components method obtained by the covariance matrix presented the highest repeatability coefficients; to have adequate accuracy in the real value of the genotypes, in the order of 80%, four harvests are needed in Sooretama and five in Marilândia, locations that represent the environments of the northeast and northwest regions of Espírito Santo. The results contribute to greater effectiveness in future work on genetic improvement of conilon coffee.

Keywords: Coffee conilon. Genetics and breeding. Repeatability.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café do mundo, com uma produção anual na ordem de 60 milhões de sacas por ano. O Espírito Santo tem a segunda colocação na produção brasileira de café arábica e a maior de café conilon, com cerca de 70% do total nacional. O estado é referência no âmbito brasileiro e internacional em tecnologia no conilon. Esse destaque é oriundo de um programa de pesquisa científico contínuo desenvolvido há mais de 35 anos nas diferentes áreas do conhecimento, com destaque para os trabalhos aplicados na área de genética e melhoramento de plantas (FERRÃO et al., 2017, 2019ab, 2020).

Para desenvolver o melhoramento genético de uma planta perene como a do café conilon via estratégias sexuada e assexuada, dentre as dificuldades está o custo elevado e o tempo de pesquisa, uma vez que necessita-se de grandes áreas experimentais e várias colheitas. Então, para definir o número de colheitas adequadas para se ter acurácia nas pesquisas dessa cultura e no melhoramento genético, faz-se os estudos de estimativa de repetibilidade (FERRÃO et al., 2019b).

A repetibilidade é um coeficiente que mede a capacidade de os indivíduos repetirem a expressão do caráter ao longo de vários períodos de tempo e no decorrer do seu ciclo de vida. Do ponto de vista prático, suas maiores importâncias são: possibilitar a determinação do número de medições necessárias para avaliar, com precisão, os valores genéticos aditivos, genotípicos ou fenotípicos permanentes dos indivíduos; possibilitar o uso de suas estimativas nos procedimentos de predição de valores genéticos; determinar o número de colheitas a serem adotadas para se ter informação consistente e com acurácia na seleção de um indivíduo visando diminuir o tempo, os esforços e o custo no melhoramento da espécie trabalhada; e efetuar seleção precoce visando a obtenção de maiores ganhos genéticos por ano.

Para Cruz, Regazzi, Carneiro (2012) espera-se que selecionando um determinado genótipo por meio do seu desempenho ou da sua constituição genética esse desempenho perdure durante todo o seu ciclo de vida. A veracidade dessa expectativa poderá ser comprovada pelo coeficiente de repetibilidade da característica estudada, que é possível de ser estimada quando a medição de um caráter for feita num mesmo indivíduo repetida vezes, no tempo ou no espaço. Dessa forma, a correlação entre as referidas medições repetidas denomina-se repetibilidade.

Estatisticamente, o coeficiente de repetibilidade de uma característica pode ser conceituado como sendo a correlação entre as medidas consecutivas em um mesmo indivíduo. Conhecendo o coeficiente de repetibilidade, é possível determinar o número de medições necessárias em cada indivíduo, para que a seleção fenotípica entre os genótipos seja realizada para se obter o nível de acurácia adequado, considerando-se a redução de custo, de mão de obra e de tempo (RESENDE, 2002).

O coeficiente de repetibilidade tem sido estimado por meio de vários métodos, como o da análise de variância e os dos componentes principais e o da análise estrutural. Cruz et al. (2004) fazem explanações detalhadas desses métodos. Por intermédio do programa computacional Genes, é possível realizar as análises utilizando os diferentes métodos.

Resende (2001) apresentou estimativas dos coeficientes de repetibilidade para várias espécies perenes, como o eucalipto, a seringueira, o cacaueteiro, o coqueiro, o cupuaçuzeiro, o guaranzeiro, envolvendo diferentes caracteres. A magnitude do coeficiente depende da herdabilidade do caráter estudado, da população e do método utilizado para estimação. O referido autor classificou o coeficiente de repetibili-

dade em três classes: repetibilidade alta, $\rho > 0,60$; repetibilidade média, $0,30 < \rho < 0,60$; e repetibilidade baixa, $\rho < 0,30$.

Fonseca et al. (2003, 2004) estimaram o coeficiente de repetibilidade para produtividade de grãos de diferentes clones de café conilon utilizando diferentes métodos que proporcionaram diferentes estimativas. O método de componentes principais obtidos da matriz de covariância foi o mais adequado. Quando aumentou de quatro para seis colheitas a precisão dos valores de R^2 passara de 73,84 para 86,92%. A partir da sexta colheita, contudo, esse aumento tornou-se inexpressivo, não sendo mais justificado, tendo em vista o tempo necessário e os custos dispendidos. Resultados semelhantes foram obtidos nos estudos realizados por Ferrão et al. (2003), que estimando o coeficiente de repetibilidade de 50 genótipos de café conilon verificaram que o método de componentes principais, com o uso de matriz de covariâncias, apresentou o maior coeficiente de repetibilidade ($r = 0,662$) e a maior acurácia com $R^2 = 93,19\%$, sendo cinco colheitas suficientes para se ter uma confiabilidade de 90% para a predição do valor real do indivíduo.

Os objetivos deste trabalho foram estimar o coeficiente de repetibilidade envolvendo diferentes métodos e determinar o número de medições necessárias para prever o valor real de genótipos para produtividade de grãos de 40 genótipos de café conilon em dois ambientes representativos do conilon no estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

Trinta e oito clones de café conilon, selecionados com base na ampla variabilidade genética de lavouras do norte do Estado do Espírito Santo, e duas variedades foram avaliados pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e instituições parceiras, em condição não irrigada em experimentos nas Fazendas Experimentais de Sooretama e Marilândia/Incaper, localizadas nesses respectivos municípios. As avaliações foram realizadas por sete colheitas, em experimentos no delineamento em blocos casualizados com seis repetições, em parcelas de cinco plantas. Foram feitas as avaliações de 18 características nesses experimentos, mas nas análises de repetibilidade utilizou-se somente a produtividade média de grãos (kg/ha).

Análise de repetibilidade

De acordo com Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), o conceito estatístico de repetibilidade pode ser enunciado como a correlação entre as medidas repetidas em um mesmo indivíduo, cujas avaliações foram repetidas no tempo ou no espaço.

Em ensaios com delineamentos experimentais, quando sucessivas medições em cada indivíduo de cada unidade experimental (total ou média de parcelas) são tomadas no tempo, diferentes modelos estatísticos podem ser utilizados para descrever o caráter medido no i -ésimo genótipo e no j -ésimo tempo. Assim, podem-se ajustar modelo de parcelas subdivididas, modelo em fatorial e fatorial reduzido, entre outros. As estimativas de repetibilidade com correlação entre medidas sucessivas assumem sempre o mesmo valor, independentemente do modelo estatístico empregado, bem como das restrições, das naturezas e das pressuposições utilizadas quanto aos efeitos dos modelos. As análises para estimativas dos coeficientes de repetibilidade e do número de medições necessárias para se ter acurácia de mais de 80% nas informações dos dois locais foram feitas por meio dos seguintes métodos: análise de variância, componentes principais por meio da matriz de correlação intraclasse, componentes principais por meio da matriz de covariância fenotípica; e a análise estrutural foi realizada por meio da matriz de correlação, seguindo Cruz et al. (2004) e o programa computacional Genes (CRUZ, 2004).

Coeficiente de repetibilidade com base no método da análise de variância

O modelo estatístico que considera dois fatores de variação foi:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \varepsilon_{ij}$$

em que:

Y_{ij} = observação referente ao i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente;

μ = média geral;

g_i = efeito do i -ésimo genótipo confundido com as influências do ambiente permanente ($i = 1, 2, 3, \dots, p$; $p = 40$);

a_j = efeito da colheita na j -ésima medição ($j = 1, 2, 3, \dots, n$; $n = 7$); e

ε_{ij} = erro experimental estabelecido pelos efeitos temporários do ambiente na j -ésima medição do i -ésimo genótipo.

Esse modelo possibilita remover os efeitos de ambientes temporários, contribuindo para uma estimativa mais realista do coeficiente de repetibilidade (CRUZ et al., 2004).

O esquema de análise de variância do modelo em questão é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Esquema de análise de variância com dois fatores de variação para o estudo de repetibilidade.

FV	GL	QM	E(QM)
Colheitas	n - 1 = 6	QMA	
Genótipos	p - 1 = 39	QMG	$\sigma^2 + n\phi_g$
Resíduo	(p - 1)(n - 1) = 234	QMR	σ^2

$$r = \frac{C\hat{O}V(Y_{ij}, Y_{ij'})}{\sqrt{\hat{V}(Y_{ij})\hat{V}(Y_{ij'})}} = \frac{\hat{\phi}_g}{\hat{\sigma}_y^2} = \frac{\hat{\phi}_g}{\hat{\sigma}^2 + \hat{\phi}_g}$$

sendo $\hat{\phi}_g$ a variabilidade genética acrescida da variação proporcionada pelos efeitos permanentes do ambiente, em que:

$$\hat{\phi}_g = \frac{(QMG - QMR)}{n}, \quad \hat{\sigma}^2 = QMR$$

Coefficiente de repetibilidade baseado no método dos componentes principais

Segundo Abeywardena (1972), o coeficiente de repetibilidade estimado com base na técnica dos componentes principais é mais estável e eficiente, sendo principalmente indicado para situações em que os genótipos avaliados exibiram comportamento cíclico em relação ao caráter estudado. Esse fenômeno é normalmente apresentado para o caráter produção de grãos em cafeeiro.

O método consiste na obtenção de uma matriz de correlação entre os genótipos em cada par de medições (colheitas). Determinam-se, nessa matriz, os autovalores e os respectivos autovetores normalizados associados. O autovetor cujos elementos apresentam os mesmos sinais e magnitudes próximas é aquele que expressa a tendência dos genótipos em manter ao longo dos anos, nas colheitas, suas posições relativas em comparação com os demais (ABEYWARDENA, 1972; CRUZ et al., 2004). A pro-

porção do autovalor associado a esse autovetor é o estimador do coeficiente de repetibilidade, ou seja:

$$r = \frac{\hat{\lambda}_k}{\sum_{j=k}^n \hat{\lambda}_j}$$

O coeficiente de repetibilidade estimado como descrito anteriormente, segundo Rutledge (1974), é influenciado, indevidamente, pelo número de medições realizadas. Esse autor considerou que o estimador de r, conforme apresentado a seguir, é mais adequado à estimação do coeficiente de repetibilidade:

$$r = \frac{\hat{\lambda}_k - 1}{n - 1},$$

em que:

η = número de colheitas avaliadas; e

$\hat{\lambda}_k$ = autovalor de R associado ao autovetor, cujos elementos têm o mesmo sinal e magnitudes semelhantes.

O coeficiente de repetibilidade estimado a partir da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas é dado por:

$$r = \frac{\hat{\lambda}_k - \hat{\sigma}_y^2}{\hat{\sigma}_y^2(n-1)}, \quad \hat{\sigma}_y^2 = \hat{\sigma}^2 + \hat{\phi}_g$$

em que:

$\hat{\lambda}_k$ = autovalor da matriz de variância e covariância fenotípica associado ao autovetor, cujos elementos têm mesmo sinal e magnitude semelhantes; e

$\hat{\sigma}_y^2$ variância fenotípica.

Coefficiente de repetibilidade baseado na análise estrutural

O coeficiente de repetibilidade estimado pelo método estrutural apresenta apenas diferenças conceituais em relação ao método baseado nos componentes principais. Esse método foi proposto por Mansour et al. (1981) e considera a matriz R a matriz paramétrica de correlações entre genótipos e cada par de avaliações (colheitas) e R e seu estimador. Um estimador do coeficiente de repetibilidade, baseado nos componentes principais, é dado por:

$$r = \frac{\hat{\lambda}_1 - 1}{n-1} = \frac{\alpha' \hat{R} \alpha - 1}{n-1}$$

em que $\hat{\lambda}_1 - 1 = \alpha' \hat{R} \alpha$ é o maior autovalor de \hat{R} , e $\hat{\alpha}' = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, é o autovetor associado a $\hat{\lambda}_1$, tal que $\hat{\alpha}' \hat{\alpha}' = 1$, ou seja, o autovetor está normalizado.

Para Morrison (1967), o autovetor cujos elementos têm o mesmo sinal e magnitudes semelhantes é que está associado ao maior autovalor (λ_1) de R e é expresso por:

$$\alpha' = \left\{ \frac{1}{\sqrt{n}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{n}} \right\}$$

Para Mansour et al. (1981), utilizando-se o autovetor correspondente ao maior autovalor de R, o estimador do coeficiente de repetibilidade com base na análise estrutural é dado por:

$$r = \frac{\alpha' \hat{R} \alpha - 1}{n-1} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n \sum_{j'=2}^n \hat{p}_{jj'}, \text{ com } j < j'$$

em que $\hat{p}_{jj'}$ é o elemento da j-ésima linha e j'-ésima coluna da matriz \hat{R} .

Estimativa do coeficiente de determinação

Além do coeficiente de repetibilidade, procedeu-se à obtenção da estimativa do coeficiente de determinação (R^2) e do número de medições necessárias para predição do valor real dos indivíduos em função da acurácia desejada, utilizando-se, respectivamente, as seguintes expressões:

$$R^2 = \frac{nr}{1+r(n-1)}$$

$$n = \frac{R^2(1-r)}{(1-R^2)r}$$

em que:

n = número de colheitas necessárias;

R^2 = determinação ou acurácia do procedimento; e

r = coeficiente de repetibilidade estimado.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o uso do programa computacional Genes (CRUZ, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises de variâncias e estimativa de parâmetros genéticos

Os resultados das análises de variância individual, médias, coeficientes de variação e as estimativas de parâmetros genéticos da característica produtividade de média de grãos (PMG), avaliadas em 40 genótipos de café conilon e envolvendo sete colheitas em Sooretama e Marilândia, encontram-se nas Tabela 2 e 3.

Em análise de variância dos locais, verificou-se diferença significativa entre genótipos em todos os anos pelo teste F a 1% de probabilidade. Os coeficientes de variação experimental (CV_e) dos diferentes anos de estudos e locais estiveram entre 14,64 e 31,16%. As médias de produtividades de grãos foram crescentes com o efeito da bienalidade a partir da terceira colheita. Os maiores rendimentos médios de grãos foram de 5.731,78 kg/ha e 4.341,18 kg/ha, obtidos no primeiro e no segundo local, respectivamente, na sétima colheita. As variâncias genotípicas foram altas, e as herdabilidades estiveram entre 79,17 e 95,50%.

Esses resultados são concordantes com Fonseca et

al. (2004) e Ferrão et al. (2003) com relação à mesma característica. A variabilidade genética identificada, o potencial produtivo e os elevados coeficientes de determinação genotípicos são indicativos favoráveis

que possibilitam a identificação de genótipos promissores e que poderão ser utilizados em programas de melhoramento.

Tabela 2. Análise de variância, médias, coeficientes de variação e estimativas de parâmetros genéticos da característica produtividade de grãos (kg/ha) de 40 genótipos de café Conilon avaliados por sete colheitas em condições não irrigadas em Sooretama, ES

F. V.	GL	Quadrados Médios						
		Colheita 1	Colheita 2	Colheita 3	Colheita 4	Colheita 5	Colheita 6	Colheita 7
Blocos	5	1106801,60	645260,01	5104093,83	972174,69	25480071,07	776656,51	2227683,74
Genótipos	39	1335345,31**	3139251,63**	9109468,79**	8566664,22**	8370027,36**	9651644,18**	15869726,01**
Resíduos	195	100124,52	175220,10	680150,76	389010,48	426878,74	1093441,79	2046043,97
Médias		1524,81	1917,65	4114,73	3141,56	4463,57	3355,64	5731,78
C.V. (%)		20,75	21,82	20,00	19,85	14,64	31,6	24,95
Φ_g		205870,13	494005,25	1404886,34	1362942,29	1323858,10	1426367,06	2303947,00
H ²		0,925	0,944	0,925	0,955	0,949	0,887	0,871

** , significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 3. Análise de variância, médias, coeficientes de variação e estimativas de parâmetros genéticos da característica produtividade de grãos (kg/ha) de 40 genótipos de café Conilon avaliados em sete colheitas em condição não irrigada, em Marilândia, ES

F. V.	GL	Quadrados Médios						
		Colheita 1	Colheita 2	Colheita 3	Colheita 4	Colheita 5	Colheita 6	Colheita 7
Blocos	5	400177,84	919756,99	474127,85	307004,12	123643,45	3727386,18	175983,13
Genótipos	39	756643,20**	4435555,56**	4407974,68**	3187381,27**	5748208,01**	2244622,62**	7261955,41**
Resíduos	195	69074,85	220623,29	291104,31	288624,36	162545,06	270499,37	1010553,48
Médias		932,26	3098,33	3390,83	3227,42	2219,43	2002,07	4341,18
C.V. (%)		28,19	15,16	15,91	16,64	18,17	25,98	23,16
Φ_g		114594,73	702488,71	686145,06	483126,15	930943,83	329020,54	1041900,32
H ²		0,909	0,950	0,934	0,909	0,7917	0,879	0,861

** , significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Estimativas dos coeficientes de repetibilidade

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentadas as estimativas dos coeficientes de repetibilidade ($\hat{\tau}$) e os coeficientes de determinação (R^2) da produtividade de grãos pelos seguintes métodos: análise de variância com efeito de ambiente removido do erro; componentes principais, obtidos da matriz de correlação; componentes principais com uso da matriz de covariância; análise estrutural, obtida pela matriz de correlações; e análise estrutural, com o uso da matriz de covariância. Foi estimado também o número de medidas (n) para obtenção do R^2 de 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; e 0,99 pelos quatro primeiros métodos em Sooretama e Marilândia, respectivamente, com base em sete colheitas.

Verificou-se que os cinco métodos utilizados proporcionaram diferentes estimativas do coeficiente de repetibilidade nos dois locais. Tais resultados indicam a necessidade de empregar os vários métodos disponíveis para a obtenção da estimativa desse coeficiente,

no intuito de se obter um intervalo preciso, dentro do qual se encontrará, com maior probabilidade, o valor real desse parâmetro (FONSECA et al, 2004).

Em Sooretama (Tabela 4), observou-se as menores estimativas dos coeficientes de repetibilidade e determinação, por meio dos métodos da análise de variância e análise estrutural com o uso da matriz de covariância, em que em ambos os métodos o $\hat{\tau}$ e R^2 foram de 0,386 e 81,48%, respectivamente. No entanto, as maiores estimativas foram de $\hat{\tau}$ = 0,501 e R^2 = 87,56%, pelo método dos componentes principais, obtidos pela matriz de covariância.

Em Marilândia (Tabela 5), verificou-se que os resultados foram semelhantes aos de Sooretama. As menores estimativas dos coeficientes de repetibilidade e determinação foram obtidas por meio dos métodos da análise de variância e análise estrutural com o uso da matriz de covariância, quando em ambos os métodos $\hat{\tau}$ e R^2 foram de 0,352 e 79,19%, respecti-

vamente. No entanto, as maiores estimativas foram de $\hat{\tau} = 0,432$ e $R^2 = 84,19\%$ pelo método dos componentes principais obtidos pela matriz de covariância.

Os coeficientes de repetibilidade obtidos pelos diferentes métodos, em Sooretama e Marilândia, são considerados médios, de acordo com a classificação de Resende (2001). Como o coeficiente de determi-

nação expressa a acurácia na predição do valor real do indivíduo, a confiabilidade na seleção dos melhores clones de café conilon pelo método de componentes principais com o uso da matriz de covariância, baseado no valor fenotípico, é de 87,56%, em Sooretama, e 84,19%, em Marilândia, confiabilidade essa que pode ser considerada razoável.

Tabela 4. Coeficiente de repetibilidade ($\hat{\tau}$) e de determinação (R^2) e estimativas do número de medidas (n) necessárias para a obtenção de diferentes R^2 nos cinco métodos, em Sooretama, ES

Métodos de estimação	$\hat{\tau}$	R^2	Número de medidas (n) para diferentes R^2				
			0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
1) ANOVA	0,386	81,48	6,36(6)	9,01(9)	14,32(14)	30,20(30)	157,50(157)
2) Componentes principais – correlações	0,425	83,79	5,42(5)	7,67(8)	12,19(12)	25,73(26)	134,05(134)
3) Componentes principais – covariância	0,501	87,56	3,98(4)	5,64(6)	8,95(9)	18,90(19)	98,49(98)
4) Análise estrutural – correlações	0,407	82,81	5,81(6)	8,23(8)	13,08(13)	27,61 (28)	143,84(144)
5) Análise estrutural – covariância	0,386	81,48	-	-	-	-	-

Tabela 5. Coeficiente de repetibilidade ($\hat{\tau}$) e de determinação (R^2) e estimativas do número de medidas (n) necessárias para a obtenção de diferentes R^2 nos cinco métodos, em Marilândia, ES

Métodos de estimação	$\hat{\tau}$	R^2	Número de medidas (n) para diferentes R^2				
			0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
1) ANOVA	0,352	79,19	7,36(7)	10,43(10)	16,56(17)	34,96(35)	182,16(183)
2) Componentes principais – correlações	0,395	82,07	6,12(6)	8,67(9)	13,76(14)	29,05(29)	151,38(151)
3) Componentes principais – covariância	0,432	84,19	5,26(5)	7,45(7)	11,83(12)	24,97(25)	130,09(130)
4) Análise estrutural – correlações	0,379	81,06	6,54(7)	9,27(9)	14,72(15)	31,07(31)	161,89(162)
5) Análise estrutural – covariância	0,352	79,19	-	-	-	-	-

O estimador de ANOVA é afetado por qualquer mudança regular (efeitos bienais), irregular (flutuação devido ao tempo) ou sistemática (efeito da poda) ocorrida durante o tempo de avaliação. Essas influências periódicas aumentam a variabilidade entre as observações repetidas de um mesmo genótipo e são consideradas distúrbios aleatórios que provocam subestimações desse coeficiente (ABEYWARDENA, 1972). Contudo, a remoção do efeito do ano do resíduo no modelo estatístico diminui a influência das mudanças irregulares na estimação da repetibilidade.

Os métodos de estimação por meio de técnicas de componentes principais levam em consideração,

respectivamente, as matrizes de correlações e de variâncias e covariâncias fenotípicas estimadas para cada par de medições realizadas (CRUZ et al., 2004). Segundo Abeywardena (1972), o uso dessa metodologia é enfatizado nas situações em que os genótipos avaliados apresentam comportamento cíclico em relação à característica estudada. O café é uma espécie que exhibe ciclo com efeito de bianualidade, conforme verificado nas Tabela 2 e 3, mais especificamente em Sooretama, sobretudo após a terceira colheita. Assim, os referidos métodos podem estimar, de forma mais eficiente, o coeficiente de repetibilidade. O efeito bianual de produção não é constante em todos os genótipos de café conilon,

pois uns apresentam efeito mais pronunciado e, outros, menos intenso. Os fatores que podem levar ao efeito cíclico dos genótipos são: tolerância à seca, à nutrição, à poda, à arquitetura e ao porte da planta.

Nas Tabelas 6 e 7, encontram-se os autovalores (λ_j) e as suas porcentagens acumuladas, as matrizes com as estimativas das correlações intraclases entre os genótipos, em cada par de medições, e os elementos dos autovetores (α_i) da matriz de correlação para produtividade de grãos em Sooretama e Marilândia, respectivamente.

Pode-se observar nesses quadros que todos os coeficientes de correlação intraclasse entre os pares de colheitas dos dois locais, exceto o ano da colheita 1 com a 7 em Marilândia, foram positivos, indicando que, de modo geral, com relação à característica estudada, os genótipos que apresentaram valor superior num ano devem ter tido desempenho semelhante nos outros anos. Nota-se também que os coeficientes de correlações positivas em Sooretama e Marilândia variaram de 0,1234 a 0,6393 e de 0,0745 a 0,6840, respectivamente;

Em Sooretama (Quadro 6), os maiores coeficientes de correlações foram as seguintes colheitas: 1 com 2 (0,4776); 2 com 4 (0,5902) e 6 (0,6393); 3 com 7 (0,6455); 4 com 2 (0,5902) e 6 (0,6249); 5 com 6 (0,6249); 6 com 2 (0,6393) e com 4 (0,6249); e 7 com 2 (0,5390), 3 (0,6455), 4 (0,5142) e 6 (0,5259). Os baixos coeficientes de correlações, por exemplo, entre as colheitas 1 e 5 (0,1234), 4 com 5 (0,1875) e 5 com 6 (0,266), demonstram que

os genótipos apresentam desempenhos relativos diferentes entre anos, necessitando de avaliações de mais de uma colheita. As correlações positivas e suas magnitudes, principalmente envolvendo a última colheita com as intermediárias, são indicativos da possibilidade de reduzir o número de avaliações da característica analisada para se predizer o valor real dos genótipos. Verificou-se, por meio das estimativas de variâncias (autovalores λ_j) e de variância acumulada ($\lambda_j\%$) do primeiro autovalor (50,70%) até o terceiro (79,18%), que os autovetores correspondentes associados apresentaram elementos com sinal e magnitudes diferentes, principalmente a partir do segundo autovetor.

Tabela 6. Matriz de correlações intraclases, autovalores (λ_j), porcentagem acumulada dos autovalores ($\lambda_j\%$) e elementos dos autovetores da matriz de correlação (α_i) da produtividade de grãos (kg/ha) em sete colheitas em Sooretama, ES

Matriz de Correlação Intraclasse									
Colheitas		1	2	3	4	5	6	7	
1		-	0,4776	0,3008	0,2555	0,1234	0,2568	0,2318	
2			-	0,4583	0,5902	0,3853	0,6393	0,5390	
3				-	0,4014	0,4924	0,4794	0,6455	
4					-	0,1875	0,6249	0,5142	
5						-	0,0266	0,4051	
6							-	0,5259	
7								-	
Autovalores (λ_j)	% λ_j Acumulado	Autovetores (α_i)		Elementos dos Autovetores da Matriz de Correlação (α_i)					
3,549	50,70	α_1	0,2629	0,4445	0,4070	0,3969	0,2596	0,4023	0,4253
1,117	66,66	α_2	-0,1730	-0,1223	0,3174	-0,2983	0,7129	-0,4318	0,1646
0,877	79,18	α_3	0,8773	0,1861	-0,0762	-0,2345	0,0794	-0,2570	-0,2502
0,554	87,09	α_4	-0,1912	0,4197	-0,5649	0,4148	0,4289	-0,1247	-0,3108
0,383	92,56	α_5	0,2153	-0,4683	-0,0208	0,6679	-0,0779	-0,47016	0,2446
0,344	97,47	α_6	0,0149	0,2059	-0,5219	-0,2793	-0,1116	-0,1593	0,7544
0,177	100,00	α_7	0,2196	-0,5612	-0,3687	-0,0479	0,4148	0,5685	0,0574

Tabela 7. Matriz de correlações intraclases, autovalores (λ_j), porcentagem acumulada dos autovalores ($\% \lambda_j$) e elementos dos autovetores da matriz de correlação (α_i) da produtividade de grãos (kg/ha) em sete colheitas em Marilândia, ES

		Matriz de Correlação Intraclasse							
Colheitas		1	2	3	4	5	6	7	
1		-	0,4119	0,5104	0,0745	0,5246	0,5381	-0,0604	
2			-	0,6840	0,5565	0,5933	0,3000	0,3058	
3				-	0,5358	0,4717	0,3801	0,3284	
4					-	0,3189	0,1743	0,7165	
5						-	0,2939	0,2156	
6							-	0,0148	
7								-	
Autovalores (λ_j)	$\% \lambda_j$ Acumulado	Autovetores (α_i)	Elementos dos Autovetores da Matriz de Correlação (α_i)						
3,372	48,18	α_1	0,3524	0,4629	0,4563	0,3774	0,3953	0,2900	0,2656
1,571	70,62	α_2	0,4927	-0,0072	0,0070	-0,4863	0,1488	0,3780	-0,5964
0,722	80,93	α_3	-0,0249	-0,2932	0,0107	0,1806	-0,5094	0,7641	0,1931
0,510	88,21	α_4	0,0222	-0,3126	-0,5655	-0,0438	0,6327	0,2310	0,3555
0,351	93,23	α_5	0,6268	-0,4151	0,2175	-0,2156	-0,1814	-0,3255	0,4496
0,279	97,21	α_6	-0,4163	-0,5011	0,6476	-0,1508	0,3503	0,0719	-0,0738
0,196	100,00	α_7	-0,2664	0,4226	0,7090	-0,7193	-0,0787	0,1567	0,4500

Em Marilândia (Tabela 6), os maiores coeficientes de correlação foram nas seguintes colheitas: 1 com 3 (0,5104) e 5 (0,5246); 2 com 4 (0,6840), 4 (0,5565) e 5 (0,5933); 3 com 2 (0,5565) e 4 (0,5358); 4 com 2 (0,5565) e 7 (0,7165); 5 com 1 (0,5246) e 2 (0,5933); 6 com 1 (0,5381); e 7 com 4 (0,7165). Os baixos coeficientes de correlações, por exemplo, entre os anos de 1 com 4 (0,0745) e 7 (-0,0604) e 6 com 7 (0,0148), indicam que os genótipos, como em Sooretama, apresentaram desempenhos relativos diferentes entre anos. Notou-se, por meio das estimativas de variâncias (autovalores λ_j) e de variância acumulada ($\lambda_j\%$) do primeiro autovalor (48,18%) até o terceiro (80,93%), que os autovetores correspondentes estão associados e apresentam elementos com sinal e magnitudes diferentes, principalmente a partir do segundo autovetor.

Pode-se, ainda, mencionar que os elementos dos autovetores associados ao primeiro autovalor das matrizes de correlações amostrais (Tabelas 6 e 7) apresentaram os mesmos sinais e magnitudes semelhantes nos dois locais. Segundo Abeywardena (1972), o autovetor cujos elementos têm os mesmos sinais e magnitudes semelhantes reflete a tendência de os genótipos manterem suas posições relativas, em relação aos demais, durante o período de avaliação, e a sua associação com o primeiro autovalor é uma indicação da existência moderada da bianalidade nos dados amostrais.

As correlações inferiores a 0,4776 entre a primeira

colheita e as demais em Sooretama, e a correlação de -0,0604 entre a primeira e sétima colheitas em Marilândia, agregadas aos vetores dos autovetores, associados aos autovalores com sinais e magnitudes diferentes, principalmente a partir do segundo autovalor, em Sooretama e Marilândia, evidenciaram a tendência de os genótipos não manterem definidas as suas posições relativas em comparação com a primeira colheita, necessitando-se, assim, de várias medições para predição do valor real do genótipo. Resultados semelhantes foram obtidos em café arábica, por Sera (1987) e Bonomo (2002), e em café conilon por Ferrão et al. (2003) e Fonseca et al. (2004). Esses resultados podem evidenciar que a primeira colheita não deve servir como indicador do valor genético dos materiais genéticos, mostrando mais uma vez a necessidade de se utilizarem dados de várias colheitas na avaliação e determinação do comportamento real de clones de café.

Visando determinar o número de colheitas (n) necessárias para a obtenção de diferentes coeficientes de determinação, verificou-se que o aumento de n não contribui de forma expressiva para a maior precisão na predição do valor real (Tabelas 3 e 4), sendo necessário expressivo aumento no número de colheitas para a obtenção de pouco ganho na precisão.

Ao se estabelecer o número de medidas necessárias, é de fundamental importância considerar o tempo necessário e o custo despendido para que se alcance determinado nível de confiabilidade. Nas ta-

belas 4 e 5 representa-se o número necessário de medidas pelos diferentes métodos de estimação do coeficiente de repetibilidade (\hat{r}) e determinação (R^2) em Sooretama e Marilândia, respetivamente.

Quanto à característica estudada, as metodologias foram similares na determinação do número de anos para os diferentes R^2 nos dois locais. Em Sooretama, pelo método de componentes principais com a utilização da matriz de covariância, quatro e seis anos foram suficientes para predizer o valor dos genótipos com 80 e 85% de confiabilidade, respetivamente. Já em Marilândia, por meio do mesmo método, foram necessários de cinco a sete colheitas para se obter as mesmas confiabilidades de Sooretama.

Para a obtenção de uma confiabilidade de 90% seriam necessárias de nove e 12 colheitas em Sooretama e Marilândia, respetivamente. O aumento da precisão nos dois locais para 95% implica a necessidade de realizar grande número de colheitas adicionais, o que é inviável, em consequência do alto custo e por demandar de muito tempo e mão de obra (Tabelas 5 e 6).

De modo geral, neste trabalho as estimativas de repetibilidade obtidas pelos vários métodos e a determinação do número de medições dos diferentes R^2 apresentaram boa concordância com as obtidas em café arábica, por Bonomo (2002), e café Conilon, por Ferrão et al. (2003) e Fonseca et al. (2004), mostrando, assim, a consistência e confiabilidade dos resultados.

Esses resultados foram importantes na gestão do programa de melhoramento genético de café conilon do Incaper para o estado do Espírito Santo via estratégias sexuada e assexuada, que desenvolveu e lançou 12 cultivares que têm sido a base das plantações e renovações de lavouras do estado (FERRÃO et al, 2019; 2020).

CONCLUSÕES

As diferenças significativas entre genótipos nas análises de variâncias de todos os anos e locais evidenciaram variabilidade genética dos genótipos quanto à característica produtividade de grãos. A alta variabilidade genética, associada ao elevado coeficiente de determinação genotípico (H^2) e as altas produtividades expressadas pelos materiais genéticos do caráter nos diferentes anos, são indicativos de sucesso

em programas de melhoramento com os genótipos estudados em Sooretama e Marilândia, municípios do Espírito Santo.

O método de componentes principais obtidos pela matriz de covariância apresentou os maiores coeficientes de repetibilidade em Sooretama ($\hat{r} = 0,501$) e Marilândia ($\hat{r} = 0,432$), com coeficientes de determinação de $R^2 = 87,56\%$ e $R^2 = 84,19\%$, respetivamente. Tais resultados indicaram que o citado método é mais adequado para estimar o coeficiente de repetibilidade, pois proporciona maior acurácia na expressão do valor real do genótipo, uma vez que leva em consideração o comportamento dos genótipos no que concerne à bianualidade do caráter estudado.

Para se ter elevada acurácia no valor real dos genótipos, na ordem de 80 a 85%, serão necessárias de quatro a seis colheitas em Sooretama, e de cinco a sete em Marilândia, locais que representam bem os ambientes das regiões nordeste e noroeste do Espírito Santo, utilizando-se o método dos componentes principais com o emprego da matriz de covariância. Para obtenção de maiores confiabilidades, seria necessário aumentar muito o número de colheitas, levando, assim, a aumentos no tempo do melhoramento, esforços e custo.

REFERÊNCIAS

- ABEYWARDENA, V. Na application of principal component analysis in genetics. *Journal Genetics*, v. 61, n. 1, p. 27-51, 1972.
- BONOMO, P. *Metodologias biométricas para seleção de progênies no melhoramento genético do cafeeiro*. Viçosa, MG: DFT/UFV, 2002. 124 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 2, 514p.
- CRUZ, C. D. *Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística*. Viçosa, MG: UFV, 2004. 648 p.
- FERRÃO, R.; FERRÃO, M. A. G.; VOLPI, P. S.; FONSECA, A. F. A. da.; VERDIN FILHO, A. C.; COMÉRIO, M. Cultivares de café conilon e robusta. *Informe*

- agropecuário*: Cafés conilon e robusta, potencialidades e desafios. Belo Horizonte, MG: Epamig v. 41, n. 309, p. 17 – 25, 2020.
- FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, L. F. V.; PACOVA, B. E. *Conilon Coffee: the Coffea canephora produced in Brazil*. IN: FERRÃO, R. G. et al. 3. rd. Updated na expanded. Vitória, ES: Incaper. 2019a, 974 p.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H (Eds) *Coffea canephora breeding*. In: FERRÃO, R. G et al. 3. rd. Updated na expanded. *Conilon Coffee*. Vitória, ES: Incaper. 2019b, p. 147 – 201, 974 p.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H (Eds). *Café Conilon*. 2.ed. Atualizada e ampliada. Vitória, ES: Incaper. 2017, 784p.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, M. A. G.; CARNEIRO, P. S. CRUZ, C. D. Estimativa do coeficiente de repetibilidade por diferentes métodos em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3, 2003, Porto Seguro. *Anais...* Brasília, DF: EMBRAPA CAFÉ – Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2003. p. 236.
- FONSECA, A. F. A. da; SEDIYANA, T.; SAKAYAMA, N.S; CRUZ, C. D.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G. Estimativa do coeficiente de repetibilidade em café Conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3. 2003, Porto Seguro. *Anais...* Brasília, DF: EMBRAPA CAFÉ – Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2003. p. 214.
- FONSECA, A. F. A. da.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; SAKIYAMA, N. S.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M. Repeatability and number of harvests required for selection in Robusta coffee. *Crop breeding and applied biotechnology*. Viçosa, MG: v. 4, p. 298-304, 2004.
- MANSOUR, H.; NORDHEIM, E. V.; RUTLEDGE, J. J. Estimators for repeatability. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 60, p.151-156, 1981.
- MORRINSON, D. F. *Multivariate statistical methods*. New York: McGraw-Hill Book, 1967. 415 p.
- RESENDE, M. D. V. *Melhoramento de espécies perenes*. In: NESS, L. L.; VELOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLES, M. C. (Eds.). *Recursos genéticos e melhoramento de plantas*. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. p. 357-422.
- RESENDE, M. D. V. de. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- RUTLEDGE, J. J. A scaling which removes bias of Abeywardenas estimator of repeatability. *Journal of Genetics*, v. 61, p. 247-250, 1974.
- SERA, T. *Possibilidade de emprego de seleção nas colheitas iniciais de café (Coffea arabica L. cv. Acaia)*. Piracicaba, SP: ESALQ, 1987. 147 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura” Luiz de Queiroz”, Piracicaba.