

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAFEIEIRO CONILON COM MENOR INCIDÊNCIA DE FRUTOS BOIA

Thalita Sousa Silva¹, Idalina Sturião Milheiros², Isabela Bolari Ramos¹, Tafarel Victor Colodetti², Wagner Nunes Rodrigues², João Felipe de Brites Senra².

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós graduação em Genética e Melhoramento, Alto Universitário, 29500-000- Alegre-ES, Brasil, talitassilva72@hotmail.com, Isabelabolari@outlook.com.

² Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural, Rodovia João Domingo Zago Km 2,5, Pacotuba – 29.323-000 – Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil, idalina.milheiros@incaper.es.gov.br, tafarel.colodetti@incaper.es.gov.br, wagner.rodrigues@incaper.es.gov.br, joao.senra@incaper.es.gov.br.

Resumo

A incidência de frutos flutuantes, ou boia, no café é decorrente da má formação do fruto e, ou ataque do inseto praga *Hypothenemus hampei*, comumente conhecido como broca do cafeeiro. Este trabalho objetivou selecionar genótipos de cafeeiros conilon com menor incidência de frutos boia em uma população de genótipos da variedade seminal Conquista 'ES8152'. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Bananal do Norte do Incaper (Cachoeiro de Itapemirim-ES), utilizando um delineamento em blocos aumentados de Federer com três repetições, 216 tratamentos regulares e quatro tratamentos comuns. Os tratamentos regulares constituem o *pool* gênico da cultivar de propagação seminal Conquista 'ES8152'. As testemunhas foram os clones 8V e 12V da cultivar 'Vitória Incaper 8142', o clone 1 da 'ES8122' (LB1) e o clone 8 da 'ES8112' (A1). A análise de dados foi por meio da metodologia de modelos mistos utilizando o pacote *sommer* no aplicativo computacional Rstudio. Os resultados demonstram que a população de genótipos da variedade Conquista 'ES8152' possui uma elevada variabilidade genética à ser explorada. Os 44 genótipos selecionados podem ser utilizados em cruzamentos controlados ou testes de competição visando ganhos para essa característica.

Palavras-chave: Biometria. Parâmetros genéticos. Modelos mistos. Variedade.

Área do Conhecimento: 5.01.03.05-9 Melhoramento Vegetal

Introdução

Dentre as 130 espécies do gênero *Coffea* (Davis; Rakotonasolo, 2021), a produção de cafés é centrada em apenas duas, a *C. canephora* (cafeeiro conilon/robusta), com 40% do mercado global e a *C. arabica* (cafeeiro arábica) com 60% do mercado (ICO, 2018). Os principais produtores são o Brasil, Vietnã, Colômbia e Indonésia, que juntos respondem por cerca de 70% de todo o café produzido no mundo (USDA 2022). Os maiores consumidores são a União Europeia e os Estados Unidos (Neves, 2021; USDA, 2022). A cafeicultura do conilon é uma atividade geradora de renda e divisas no Brasil e no Estado do Espírito Santo. A produção brasileira esperada para o ano de 2025 é de 18,7 milhões de sacas de café conilon, um aumento de 27,9% em relação ao ano de 2024 e deste total espera-se que a produção capixaba atinja 13,1 milhões de sacas, um crescimento estadual de 33,1% em relação à safra anterior (CONAB, 2025).

O cafeeiro conilon é uma espécie alógama e diplóide ($2n=2x=22$ cromossomos) com autoincompatibilidade gametofítica (Tran *et al.*, 2017; Moraes *et al.*, 2018). A alogamia e a polinização cruzada garantem que as variedades propagadas por sementes criem novas combinações genotípicas por geração (Senra *et al.*, 2025), evitando o estreitamento da base genética e o aumento da endogamia. A produção de mudas a partir de sementes resulta na formação de populações com indivíduos que se diferenciam quanto a arquitetura, formato e tamanho dos grãos e folhas, padrão de maturação e suscetibilidade a estresses bióticos e abióticos (Dubberstein *et al.*, 2020). Identificar e explorar a

variabilidade genética dos materiais de propagação seminal é essencial para manter a viabilidade do programa de melhoramento genético do cafeeiro conilon (Silva *et al.*, 2022). A avaliação do potencial dos materiais seminais foi relatada por Carvalho *et al.* (2019), Akperterey *et al.* (2022), Moura *et al.* (2022) e Senra *et al.* (2025). A principal variedade de cafeeiro conilon propagada por sementes atualmente é a Conquista 'ES8152', lançada em 2019 pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Ferrão *et al.*, 2019b).

Um parâmetro importante no programa de melhoramento de cafeeiros, tanto arábica quanto conilon, é a avaliação dos frutos flutuantes, popularmente conhecidos como frutos boia. Frutos boia representam aqueles mal formados ou brocados devido ao ataque da broca do cafeeiro. A broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867), é o inseto praga mais prejudicial a cafeicultura no mundo, afetando a produtividade e a qualidade dos cafés em quase todas as regiões produtoras (Johnson *et al.*, 2020; Fotso *et al.*, 2023). A broca provoca prejuízos globais de mais de US\$ 500 milhões anualmente (Vega; Infante; Johnson, 2015) e os custos de manejo de pragas chegam a 10% do custo total de produção (Aristizábal; Bustillo; Arthurs, 2016). Considerando a importância da broca do cafeeiro para a cafeicultura e a capacidade de selecionar indiretamente genótipos resistentes ou susceptíveis pela avaliação dos frutos boia, esse trabalho objetivou selecionar genótipos de cafeeiros conilon com menor incidência de frutos boia em uma população de indivíduos da variedade seminal Conquista 'ES8152'.

Metodologia

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Bananal do Norte (FEBN), pertencente ao Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Sul (CPDI Sul) do Incaper, em Pacotuba, distrito do município de Cachoeiro de Itapemirim, Estado do Espírito Santo, Brasil, na latitude 20°45'16,38" S, longitude 41°17'29,32" W e altitude de 140 metros. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, clima C_{wa} com verão chuvoso e inverno seco e quente, segundo a classificação de Köpen (Alvares *et al.*, 2013), precipitação média anual de 1.200 mm, temperatura média anual de 23°C e topografia ondulada. Foi utilizado o delineamento em blocos aumentados (Federer, 1956) com três repetições, 216 tratamentos regulares (genótipos) e quatro tratamentos comuns (testemunhas clonais). Os tratamentos regulares constituem o pool gênico da cultivar de propagação seminal 'ES8152', popularmente conhecida como 'Conquista'. As testemunhas foram os clones comerciais clones 8V e 12V da cultivar 'Vitória Incaper 8142', o clone 1 da 'ES8122' (LB1) e o clone 8 da 'ES8112' (A1).

O plantio foi realizado em 2019 no espaçamento de três metros entre linhas e um metro entre plantas, com densidade de 3.333 plantas por hectare e cada planta sendo conduzida com três hastes ortotrópicas. O manejo da fertilidade do solo para o plantio, formação e produção seguiram o as recomendações estaduais vigentes para a cultura (Prezotti *et al.*, 2007). O manejo cultural e fitossanitário foi realizado de acordo com as exigências da cultura, seguindo as recomendações para o cafeeiro conilon (Ferrão *et al.*, 2019a). Nas safras de 2022 a 2024, foi avaliada a porcentagem de frutos boia. Esses frutos possuem uma densidade menor, reflexo de defeitos de formação ou do estágio de maturação, dessa forma, sua separação foi realizada gravimetricamente pela deposição de amostras de 100 frutos em um recipiente contendo água limpa e pela separação daqueles que acabam boiando.

A análise de dados utilizou a metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) aplicando o modelo descrito pela Equação 1:

$$Y_{ijk} + \mu + G_i + A_j + B_{k(j)} + P_l + GA_{ij} + e_{ijkl} \quad \text{Equação 1}$$

Onde μ é a média genética geral; G é o efeito do genótipo i ; A o efeito do ano j ; B o efeito do bloco k aninhado no ano j ; P efeito do ambiente permanente l ; GA efeito da interação genótipo i com ano j ; e e o erro associado ao genótipo i , no ano j , no bloco k para o efeito de ambiente permanente l . Os efeitos da média geral, ano e bloco foram considerados fixos e os demais aleatórios. Foram estimados os componentes de variância: variância genética (σ_g^2); variância de ambiente permanente (σ_p^2); variância da interação genótipo com ano (σ_{ga}^2); variância residual (σ_e^2); variância fenotípica (σ_F^2); herdabilidade no sentido amplo (h^2); acurácia seletiva ($\bar{r}_{gg}$); e correlação do desempenho genotípico pelos anos (r). A herdabilidade foi estimada pela Equação 2:

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_F^2} = \frac{\sigma_g^2}{(\sigma_g^2 + \sigma_p^2 + \sigma_{ga}^2 + \sigma_e^2)}$$

Equação 2

A significância dos efeitos do modelo foi testada pela análise de *deviance* (LRT), conforme a Equação 3:

$$LRT = -2(\text{Log}L - \text{Log}L_R)$$

Equação 3

Onde LogL é o logaritmo da função de máxima verossimilhança restrita (L) do modelo completo, e LogL_R é o logaritmo da função de máxima verossimilhança restrita (LR) do modelo reduzido (sem o efeito avaliado) pela distribuição de Qui-quadrado a 1 grau de liberdade.

Para seleção dos genótipos com menor porcentagem de frutos boia, utilizou-se um índice de seleção composto por 30% da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos preditos e 70% da porcentagem de frutos boia do genótipo. A intensidade de seleção aplicada foi de 20% selecionando 44 genótipos, incluído as testemunhas. Os dados foram analisados no aplicativo RStudio (R Core Team, 2025) utilizando o pacote sommer (Giovanny, 2016).

Resultados

Os parâmetros genéticos apontam uma baixa $\bar{r}_{\hat{g}g}$ para a porcentagem de frutos boia (Tabela 1). A h^2 foi de 2,21% e o parâmetro com maior impacto na composição da σ_F^2 foi a σ_{ga}^2 (Tabela 2) que representou 61,32% da σ_F^2 . A correlação do desempenho genotípico foi de 3,47% demonstrando uma forte influência da interação genótipo com o ano na expressão da característica. A média genética geral foi 8,86%, com valores anuais oscilando de 5,06% a 15,15% (Tabela 1). O ano de 2024 foi o que apresentou a maior porcentagem de frutos boia, ao passo que 2023 os menores valores. As testemunhas apresentaram valores genéticos de 9,07; 8,97; 8,49 e 10,09 para os clones A1, LB1, 12V e 8V, respectivamente.

Tabela 1 – Estimativa de parâmetros genéticos para a característica porcentagem de frutos boia em *Coffea canephora* avaliada na Fazenda Experimental Bananal do Norte, Cachoeiro de Itapemirim – ES.

Parâmetros genéticos	Valor
Variância genética	3,0006
Variância de ambiente permanente	5,6025
Variância da interação genótipo com ano	83,4488
Variância residual	44,0259
Variância fenotípica	136,0778
Herdabilidade no sentido amplo	0,0221
Acurácia seletiva	0,2194
Correlação do desempenho genotípico	0,0347
Média geral	8,8564
Média do ano 2022	6,7109
Média do ano 2023	4,7088
Média do ano 2024	14,7500

Fonte: os autores.

A variabilidade genética e o efeito de ambiente permanente foram baixos e não significativos pela análise de *deviance* (Tabela 2). Contudo a interação genótipo com ano foi significativa, a 0,1% de probabilidade, demonstrando uma forte influência do ano agrícola na incidência de frutos boia. Os 44 indivíduos selecionados apresentam valores genéticos inferiores à testemunha, demonstrando êxito na seleção. A média da porcentagem de frutos boia nos indivíduos selecionados é de 8,49%, uma redução de 0,37% em comparação da população original. Estima-se que a média da população melhorada poderá atingir 8,84% de frutos boia.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Tabela 2: Análise de *deviance* da porcentagem de frutos boa em *Coffea canephora* avaliada na Fazenda Experimental Bananal do Norte, Cachoeiro de Itapemirim – ES.

Efeito	logLik	LRT	Componente de variância	Coefficiente de determinação	p-value
Genético	-219,4633	0,0693	3,0006	0,0221	0,7924
Permanente	-219,6248	0,3923	5,6025	0,0412	0,5311
Interaction	-230,2902	21,7230	83,4488	0,6132	3,1498.10 ^{-6***}
Modelo Completo	-219,4287	---	---	---	---

*** Significativo a 0,1% pela distribuição de qui-quadrado. Fonte: os autores.

Discussão

Os dados demonstram uma forte influência da interação do efeito genotípico com o ano na expressão da característica avaliada, o que foi evidenciado pelo alto valor da σ_{ga}^2 (Tabela 1) e o coeficiente de determinação (Tabela 2). A σ_g^2 estimada foi baixa, contudo, essa população já foi caracterizada em estudos anteriores e observou-se que existe a possibilidade de seleção de genótipos superiores (Senra *et al.*, 2022). Segundo Resende e Alves (2020), o valor estimado de acurácia é classificado como baixo, o que pode ser devido a aplicação de um delineamento não ortogonal e a avaliação durante apenas três anos. Desta forma a seleção de genótipos com valores inferiores de frutos boa não é invalidada nesta etapa do programa de melhoramento.

No trabalho realizado por Senra *et al.* (2025), com uma população da variedade Conquista 'ES8152', observou-se uma variabilidade genética e acurácia seletiva superiores às do presente trabalho, contudo os autores não analisaram a interação do efeito genético com o ambiente. As diferenças na análise de dados podem explicar as discrepâncias nos valores estimados, contudo em ambas as pesquisas é possível selecionar genótipos melhores que as testemunhas.

Como a formação dos frutos e dos grãos de café é resultado da interação complexa entre fatores genéticos e as condições ambientais nas quais as plantas se desenvolvem, sendo, portanto, influenciada por fatores extrínsecos como clima, manejo agrícola, solo, disponibilidade hídrica, além de eventos bióticos e abióticos. Assim, mesmo genótipos considerados agronomicamente desejáveis podem apresentar variações expressivas conforme as mudanças ambientais que ocorrem ao longo das safras (DaMatta *et al.*, 2007).

Com base no índice de seleção os cinco melhores genótipos para a característica em estudo são o 194, 174, 81, 128 e 170, com valores de porcentagem de frutos boa de 8,32%, 8,38%, 8,39%, 8,40% e 8,41% respectivamente.

Conclusão

A população de genótipos da variedade Conquista 'ES8152' possui uma elevada variabilidade genética a ser explorada para a melhoria da característica porcentagem de frutos boa. Os 44 genótipos selecionados nesta etapa do programa de melhoramento podem ser utilizados em cruzamentos controlados para a melhoria da característica em estudo ou utilizados diretamente em testes de competição para formação de novas variedades de cafeeiro conilon.

Referências

- AKPERTEY, A. *et al.* Genetic variability for vigor and yield of robusta coffee (*Coffea canephora*) clones in Ghana. **Heliyon**, Amsterdam, v. 8, n. 8, p. 1-10, 2022.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Karlsruhe, p. 711-728, 2013.
- ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. F.; ARTHURS, S. P. Integrated pest management of coffee berry borer: strategies from Latin America that could be useful for coffee farmers in Hawaii. **Insects**, Basel, v. 7, n. 6, 2016.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

CARVALHO, H. F. *et al.* Selection and genetic parameters for interpopulation hybrids between koulou and robusta coffee. **Bragantia**, Campinas, v. 78, n. 1, p. 52-59, 2019.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**: segundo levantamento de safra. Brasília-DF: CONAB, 2025.

DAMATTA, F. M. *et al.* Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400008>

DAVIS, A. P.; RAKOTONASOLO, F. Six new species of coffee (*Coffea*) from northern Madagascar. **Kew Bulletin**, Richmond, v. 76, n. 3, p. 497-511, 2021.

DUBBERSTEIN, D. *et al.* Research Article Biometric traits as a tool for the identification and breeding of *Coffea canephora* genotypes. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 19, n. 2, p. 1-17, 2020.

FERRÃO, R. G. *et al.* **Conilon coffee**. 3. ed. Vitória: Incaper, 2019a.

FERRÃO, R. G. *et al.* ES 8152 – Conquista: cultivar de café conilon propagada por sementes para os produtores de base familiar e sua utilização no melhoramento genético para o estado do Espírito Santo. **Multi-Science Research**, Vitoria, v. 2, n. 2, p. 1-18, 2019b.

FERRARI, J. A. G. **Die forst-und baumzuchtschädlichen borkenkäfer**. Viena: Carl Gerold's Sohn, 1867.

FEDERER, W. T. **Augmented (or hoonuiaku) designs**. **Hawaiian Planters' Record**, Honolulu, v. 55, n. 2, p. 191-208, 1956.

FOTSO, Y. *et al.* Optimal control of coffee berry borers: synergy between bio-insecticide and traps. **Journal of Optimization Theory and Applications**, New York, n. 196, p. 882-899, 2023.

GIOVANNY, C. Genome assisted prediction of quantitative traits using the R package “sommer”. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 11, p. 1-15, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0156744.

ICO – INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Trade Statistics**. 2018. Disponível em: https://www.ico.org/trade_statistics.asp. Acesso em: 15 jul. 2025.

JOHNSON, M. A. *et al.* Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*), a global pest of coffee: perspectives from historical and recent invasions, and future priorities. **Insects**, Basel, v. 11, p. e882, 2020.

MORAES, M. S. *et al.* Characterization of gametophytic self-incompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 17, n. 1, p. 1-11, 2018.

MOURA, W. M. *et al.* Selection of *Conilon coffee* clones for the Zona da Mata region of Minas Gerais, Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v. 17, p. e171995, 2022.

NEVES, M. F. O potencial das exportações do agronegócio. **Revista de Política Agrícola**, Brasília-DF, v. 30, n. 3, p. 123-126, 2021.

R Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. R Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 jul. 2025.

RESENDE, M. D. V.; ALVES, R. S. Linear, generalized, hierarchical, bayesian and random regression mixed models in genetics/genomics in plant breeding. **Functional Plant Breeding Journal**, Viços-MG, n. 2, v. 2, p. 1-31, 2020.

SENRA, J. F. B. *et al.* Selection of differentiated maturity genotypes of *Coffea canephora*. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 47, n.1, p. e70812, 2025.

SENRA, J. F. B. *et al.* Genetic variability of conilon coffee population from cultivar 'ES8152' based on morphoagronomic variables. **Coffee Science**, Lavras, n. 17, p. 1-9, 2022.

SILVA, J. A. *et al.* Caracterização do vigor vegetativo, leituras SPAD e índice de vegetação em população de *Coffea canephora*. **Research, Society and Development**, Mossoró, v. 11, n. 15, p. 1-13, 2022.

TRAN, H. T. M. *et al.* Variation in bean morphology and biochemical composition measured in different genetic groups of arabica coffee (*Coffea arabica* L.). **Tree Genetics and Genomes**, New York, v. 13, n. 3, p. 1-14, 2017.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Coffee**. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/commodities/coffee>. Acesso em: 20 jul. 2025.

VEGA, F. E.; INFANTE, F.; JOHNSON, A. J. The genus *Hypothenemus*, with emphasis on *H. hampei*, the coffee berry borer. In: VEJA, F. E; HOFSTETTER, R. W. (eds). **Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species**. Arizona: Academic Press, 2015. p. 427-494.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), o Programa e Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e o Consórcio Pesquisa Café (ConCafé).