EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS DE CARACTERES VEGETATIVOS SOBRE O VIGOR DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA¹

Stefani Moreira da Costa²; Tiago de Oliveira Godinho³; Sarah Ola Moreira⁴

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

² Bolsista Consórcio Pesquisa Café, CPT, stefanimoreira_2013@hotmail.com

³ Engenheiro Florestal, Dr., Vale S.A., Linhares-ES, tiago.godinho@vale.com

⁴ Pesquisadora, Dra., Incaper, Linhares-ES, sarah.moreira@incaper.com.br

RESUMO: O desenvolvimento de novas cultivares de *Coffea arabica* L. é baseado em análises estatísticas que facilitam a seleção, proporcionando melhores resultados. O objetivo desse trabalho foi estimar os parâmetros genéticos de caracteres vegetativos e seus efeitos diretos e indiretos, via análise de trilha, sobre o vigor do café arábica. Foi instalado um experimento, no delineamento de blocos ao acaso, com seis cultivares de café arábica: Arara; Catucaí Amarelo 24/137; Catucaí Vermelho 19/08; Catucaí Amarelo 2SL; Catucaí Amarelo IAC 86; e Acauã. Aos 14 meses após o plantio foi feita a avaliação da altura da planta (AP); diâmetro do caule (DCaule), número de ramos plagiotrópicos (NR); diâmetro da copa (DCopa); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CR); e vigor vegetativo (VG). Os dados foram submetidos a análise de variância, agrupamento das médias e estimação dos parâmetros genéticos. Em seguida, realizou-se o desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos por meio da análise de trilha, onde a variável básica foi o VG e as demais consideradas explicativas. Apenas AP e NR foram significativos e os parâmetros genéticos indicaram baixa variabilidade genética entre as cultivares, além da influência ambiental, sendo necessárias estratégias mais consistentes de seleção. Foi constatada colinearidade severa e para contorná-la foi utilizada a análise de trilha em crista com valor de $k = 0,005$. Apesar da alta correlação entre VG x AP e entre VG x DCaule, esses efeitos não foram diretos. Já para VG x DCopa, o efeito direto foi de 0,87, com pouco efeito indireto. Conclui-se que os materiais genéticos estudados têm pouca variabilidade genética e forte influência ambiental na expressão de suas características vegetativas. A seleção indireta de genótipos mais vigorosos de café arábica deve ser feita por meio do diâmetro da copa.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea arabica* L., análise de trilha, seleção indireta.

DIRECT AND INDIRECT EFFECTS OF VEGETATIVE CHARACTERS ON THE VIGOR OF ARABIC COFFEE CULTIVARS

ABSTRACT: The development of new cultivars of *Coffea arabica* L. is based on statistical analyzes that facilitate selection, providing better results. The objective of this work was to estimate the genetic parameters of vegetative traits and their direct and indirect effects, via path analysis, on arabica coffee vigor. An experiment was carried out in a randomized block design with six arabica coffee cultivars: Arara; Catucaí Amarelo 24/137; Catucaí Vermelho 19/08; Catucaí Amarelo 2SL; Catucaí Amarelo IAC 86; and Acauã. At 14 months after planting was evaluated the plant height (AP); stem diameter (DCaule), number of plagiotropic branches (NR); canopy diameter (DCopa); length of the first plagiotropic branch (CR); and vegetative vigor (VG). Data were subjected to analysis of variance, grouping of means and estimation of genetic parameters. Then, the correlations were unfolded in direct and indirect effects through the path analysis, where the basic variable was the VG and the others considered explanatory. Only AP and NR were significant and genetic parameters indicated low genetic variability among cultivars, besides environmental influence, requiring more consistent selection strategies. Severe collinearity was found and to circumvent it the crest path analysis with a value of $k = 0.005$ was used. Despite the high correlation between VG x AP and between VG x DCaule, these effects were not direct. For VG x DCopa, the direct effect was 0.87, with little indirect effect. It is concluded that the genetic materials studied have little genetic variability and strong environmental influence on the expression of their vegetative characteristics. Indirect selection of more vigorous arabica coffee genotypes should be done by canopy diameter.

KEY WORDS: *Coffea arabica* L., path analysis, indirect selection.

INTRODUÇÃO

O melhoramento genético do cafeeiro, com o desenvolvimento de novos materiais genéticos, pode contribuir para a reduzir as perdas de safras, racionalizar o uso de insumos agrícolas e o incrementar a produtividade. Consequentemente, novos materiais genéticos podem reduzir os custos de produção, assegurando maior competição e sustentabilidade ao café, com aumento da renda dos cafeicultores e criação de empregos (REZENDE et al. 2014). Na obtenção de novas cultivares, diferentes parâmetros genéticos são avaliados para a definição de estratégias de identificação de parentais,

condução da população segregante e seleção. Por isso, a estimativa dos componentes genéticos é uma ferramenta de grande importância no melhoramento genético, pois por meio dela, é possível conhecer a natureza da ação dos genes envolvidos no controle dos caracteres quantitativos e também impulsionar os progressos obtidos durante os ciclos de seleção (PEREIRA et al., 2013).

Por um longo período, a produtividade de grãos foi utilizada como o principal critério de seleção de cultivares de café, mas o efeito de outras características agrônômicas, como as relacionadas ao crescimento vegetativo, tem sido utilizado para a antecipação e aumento da eficiência da seleção indireta. Para isso, Carvalho et al., (2010) analisaram a correlação entre caracteres vegetativos e a produtividade do cafezal e propuseram que, aos 12 meses, o diâmetro do caule, a altura de plantas, o número e o comprimento de ramos plagiotrópicos podem ser utilizados para a seleção indireta e precoce de genótipos de café mais produtivos.

Entretanto, de acordo com Moreira et al. (2013), apesar da utilidade dos coeficientes de correlação para a compreensão de um caráter complexo, essa estimativa não determina a importância relativa dos efeitos diretos e indiretos dos outros caracteres, pois não determina a relação de causa e efeito entre elas. Com o objetivo de melhor compreender as causas envolvidas nestas associações, Wright (1923) propôs um método de desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos das variáveis sobre uma característica básica, denominado análise de trilha. Para o cafeeiro, Martinez et al. (2007) observaram que o diâmetro de caule e o número de ramos plagiotrópicos tem baixo coeficiente de correlação com a produtividade, mas, pela análise de trilha demonstraram efeito direto relativamente alto e favorável à produção do café arábica. Isso indica a necessidade de conhecer melhor as correlações, e os seus efeitos diretos e indiretos sobre a variável de interesse, de modo que esses parâmetros possam ser usados de forma eficiente de seleção de genótipos de café arábica.

O objetivo desse trabalho foi estimar os parâmetros genéticos para o desenvolvimento vegetativo do café arábica aos 14 meses após o plantio e seus efeitos diretos e indiretos, via análise de trilha, sobre o vigor vegetativo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo no Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Serrano (CPDI Serrano) do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), localizado no município de Domingos Martins, ES (20°21'16"S; 41°03'50"W), a 956 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é temperado com verão ameno (Cfb), com temperatura média do ar mensal de 18,2°C e precipitação anual de 1.263 mm (ALVARES et al., 2013).

A caracterização química do solo na camada de 0-20 cm, de acordo com a metodologia de análise da Embrapa (2009) era: pH em água = 6,86 (relação 1:2,5); fósforo = 197,10 mg/dm³; potássio = 89,41 mg/dm³; magnésio = 1,8 cmolc/dm³; alumínio = 0,0 cmolc/dm³; H+Al = 3,10 cmolc/dm³; soma de bases = 7,58 cmolc/dm³; capacidade de troca catiônica efetiva = 7,58 cmolc/dm³; índice de saturação em bases = 70,97 %; matéria orgânica (C_{ogr} x 1,724) = 3,11 dag/dm³. Para o fósforo e potássio foi utilizado o extrator Mehlich-1 e para o magnésio e alumínio, o KCl na concentração de 1 mol/L.

A recomendação de adubação foi realizada de acordo com Prezotti et al. (2007), em que, no plantio, foram aplicados 2 Kg de esterco de galinha, 39 g de calcário e 20 g de FTE BR 12 na cova (40 x 40 x 40 cm). Além disso, aos 30, 60, 90, 120, 150 e 240 dias após o plantio foram aplicados 25; 30; 40; 60; 80 e 100 g/cova de adubo NPK na formulação de 20-00-15, respectivamente. As mudas foram produzidas em tubetes de 120 cm³ preenchidas com substrato comercial e transplantada aos 180 dias após a semeadura para a área previamente preparada. O plantio foi efetuado em 06 de junho de 2018 no espaçamento de 2,5 x 1 m.

Foram utilizadas seis cultivares de café arábica: Arara; Catucaí Amarelo 24/137; Catucaí Vermelho 19/08; Catucaí Amarelo 2SL; Catucaí Amarelo IAC 86; e Acauã. O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com três blocos e oito plantas por parcela, sendo consideradas úteis as quatro plantas centrais.

Aos 14 meses após o plantio foram avaliados: altura da planta (AP), em cm, medida a partir do solo até o meristema apical; diâmetro do caule (D_{Caule}), em mm, a 10 cm do solo; número de ramos plagiotrópicos (NR); diâmetro da copa (D_{Copa}), em cm, medido no sentido transversal à linha de plantio considerando-se o ramo plagiotrópico de maior comprimento; comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CR), em cm; e vigor vegetativo (VG), para qual foi utilizada uma escala de nota de 1 a 10, em que: 1 a 2 (ruim) = corresponde à planta fraca, amarelada e com seca de ramos; 3 a 4 (regular) = planta com aspecto amarelado, poucos nós e ramos produtivos do ano; 5 a 6 (bom) = plantas de cor verde-clara, com poucos nós e ramos produtivos do ano; 7 a 8 (ótimo) = plantas de cor verde normal e quantidade média de ramos e nós produtivos do ano, e de 9 a 10 (excelente) = plantas com cor verde-escura, com quantidade alta de nós e ramos produtivos do ano (CARVALHO et al., 1979).

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparação entre as médias e estimação das variâncias fenotípica, genotípica e ambiental, da herdabilidade, do coeficiente de variação genético e do índice de variação. Em seguida, realizou-se o desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos por meio da análise de trilha (WRIGHT, 1923), onde o vigor vegetativo foi considerado a variável básica e as demais consideradas explicativas. O diagnóstico de multicolinearidade foi estabelecido com base no número de condição (NC), que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz. Se $NC < 100$, a multicolinearidade é considerada fraca e não constitui problema para a análise; se $100 \leq NC \leq 1000$, a multicolinearidade é considerada moderada a forte; e se $NC \geq 1000$, é considerada severa

(MONTGOMERY & PECK, 1981). Na ocorrência de multicolinearidade moderada a severa, adotou-se o procedimento de análise de trilha em crista, em que uma constante (k) é introduzida à diagonal da matriz $X'X$ (CRUZ et al.; 2014). Todas as análises genético-estatísticas foram realizadas com auxílio do programa Genes (CRUZ, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas para a altura de planta e número de ramos plagiotrópicos foram significativos, indicando haver pouca variabilidade entre os genótipos estudados (Tabela 1). Em média, as plantas atingiram 48,60 cm de altura, com diâmetro do caule de 10,77 mm e vigor de 5,89. Carvalho et al. (2010) relataram valor médio de altura de plantas similar ao obtido nesse estudo, de 48,93 cm, porém, o DCaule, NR e CR foram maiores, com 14,01; 14,71 e 30,31 cm, respectivamente. Em seu trabalho, Carvalho et al. (2010) avaliaram 25 cultivares de café em cinco municípios e, para todas essas cultivares, a interação Cultivar x Local foi significativa, indicando que o comportamento dos genótipos se alteram de acordo com o ambiente em que são cultivados, o que pode explicar os dados obtidos.

Os coeficientes de variação ficaram entre 8,68% para NR e 37,84% para CR. Devido à grande variabilidade entre os CV% é preciso identificar métodos de avaliação que diminua o desvio padrão da média, como aumentar o número de repetição ou melhorar o controle local do experimento. De todo modo, grandes variações nos CVs para experimentos de campo com café arábica são relatadas na literatura, como por Pereira et al. (2013) que observaram CVs entre 6,00 e 41,95%, para vigor e produtividade, respectivamente.

Tabela 1. Análise de variância de seis variáveis morfoagronômicas avaliadas 14 meses após o plantio em seis cultivares de café arábica.

FV	GL	Quadrados Médios					
		AP	<u>DCaule</u>	NR	<u>DCopa</u>	CR	VG
Blocos	2	40,32	1,16	3,13	105,15	38,26	1,35
Genótipos	5	561,50*	14,79 ^{ns}	49,19*	256,81 ^{ns}	81,89 ^{ns}	2,25 ^{ns}
Resíduo	10	117,75	6,06	1,08	85,32	44,01	1,71
Média		48,60	10,77	11,95	37,62	17,53	5,89
CV (%)		22,32	22,87	8,68	24,55	37,84	22,24

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

AP: altura de planta (cm); DCaule: diâmetro do caule (mm); NR: número de ramos plagiotrópicos; DCopa: diâmetro da copa (cm); CR: comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm); VG: vigor vegetativo.

A cultivar Catucaí Amarelo 24/137 teve altura de plantas de 72,29 cm, superando em 74,36% os genótipos “Catucaí Vermelho 19/08”, “Catucaí Amarelo 2SL”, “Catucaí Amarelo IAC 86” e “Acauã”, que tiveram AP médio 41,46 cm. Por outro lado, a cultivar Acauã teve maior número de ramos, superando as demais cultivares em 59,31%. De acordo com Teixeira et al. (2013), o NR tem maior correlação com o vigor que a AP e o DCaule. Além disso, os ramos plagiotrópicos são importantes pois são neles que se desenvolvem os frutos do cafeeiro. Por outro lado, Carvalho et al. (2010), relataram que tanto a altura como o diâmetro da planta estão fortemente correlacionados com a produtividade do cafezal. Por essa análise, as cultivares “Arara” e “Catucaí Amarelo 24/137” tem maior expectativa produtiva por estarem nos grupos de maior AP e DCaule.

Tabela 2. Comparação entre as médias de seis variáveis morfoagronômicas avaliadas 14 meses após o plantio em seis cultivares de café arábica.

Genótipos	AP	DCaule	NR	DCopa	CR	VG
Arara	53,39ab	12,30a	13,00b	50,82a	23,33a	6,89a
Catucaí Amarelo 24/137	72,39a	12,71a	14,33b	43,69a	25,18a	6,11a
Catucaí Vermelho 19/08	33,73b	7,42b	6,33c	27,24a	13,19a	5,00a
Catucaí Amarelo 2SL	45,22b	11,38ab	8,17c	35,16a	14,59a	6,22a
Catucaí Amarelo IAC 86	37,90b	8,57ab	12,56b	27,99a	14,36a	4,67a
Acauã	49,01b	12,24a	17,33a	40,84a	14,64a	6,44a

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

AP: altura de planta (cm); DCaule: diâmetro do caule (mm); NR: número de ramos plagiotrópicos; DCopa: diâmetro da copa (cm); CR: comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm); VG: vigor vegetativo.

Não houve diferença entre as cultivares de café arábica para o vigor vegetativo, apesar da diferença entre a menor e maior média ser de 47,54%. Carvalho et al. (2008) avaliando 23 progênies F_4 de café arábica, observaram a formação de apenas dois e três grupos, quando cultivados em Campos Altos e Lavras, ambos no estado de Minas Gerais, respectivamente. Além disso, Teixeira et al (2013) avaliando 36 materiais genéticos por meio da metodologia de modelos mistos observaram que o vigor vegetativo é uma característica com alta variação ambiental, por isso, tem baixa possibilidade de sucesso de seleção. Isso demonstra que os materiais genéticos de café arábica são pouco variáveis para

essa característica, que ela é muito influenciada pelo ambiente, ou ainda, que é preciso estabelecer uma nova forma de avaliação que permita a melhor distinção entre os genótipos. Os parâmetros genéticos avaliados nesse estudo reforçam a interferência ambiental sobre o vigor vegetativo, que teve alta variância ambiental e, por consequência, baixa herdabilidade, além de baixo índice de variação (Tabela 3).

Para o comprimento do primeiro ramo plagiotrópico, também houve influência ambiental mascarando o genótipo das cultivares, o que resultou em herdabilidade inferior a 50%. Para as demais variáveis, a variância genotípica foi maior que a variância ambiental, com herdabilidade superior a 66%.

Os coeficientes de variação genético ficaram entre 7,18 para VG e 33,50 para NR. De acordo com Teixeira et al. (2013), altos valores referentes ao coeficiente de variação genético revelam que a seleção das melhores progênies possibilitará expressivo aumento no valor genético da população, quanto ao caráter em questão. Diante disso, a seleção para NR e AP proporcionará melhores ganhos genéticos. Além disso, o AP e NR tiveram índice de variação superior a unidade, indicando que o coeficiente de variação genotípico é maior que o ambiental, condição favorável a seleção.

Tabela 3. Variância fenotípica (σ_f^2), genotípica (σ_g^2) e ambiental (σ_a^2), herdabilidade (h^2), coeficiente de variação genético (CV_g) e índice de variação (CV_g/CV_e) de seis variáveis morfoagronômicas avaliadas 14 meses após o plantio em seis cultivares de café arábica.

Parâmetros Genéticos	AP	Dcaule	NR	DCopa	CR	VG
σ_f^2	187,16	4,93	16,40	85,60	27,30	0,75
σ_a^2	39,25	2,02	0,36	28,44	14,67	0,57
σ_g^2	147,91	2,91	16,04	51,16	12,62	0,18
h^2	79,03	59,01	97,81	66,78	46,25	23,84
CV_g	25,02	15,84	33,50	20,09	20,26	7,18
CV_g/CV_e	1,12	0,69	3,86	0,82	0,54	0,32

AP: altura de planta (cm); Dcaule: diâmetro do caule (mm); NR: número de ramos plagiotrópicos; DCopa: diâmetro da copa (cm); CR: comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm); VG: vigor vegetativo.

Os resultados do agrupamento das médias e dos parâmetros genéticos indicaram que o vigor vegetativo teve baixa variabilidade entre os genótipos, além de ter sido fortemente influenciado pelo ambiente. Diante disso, é preciso estabelecer estratégias de seleção que permita ganhos consistentes para essa variável. Uma das formas de melhorar o processo seletivo é identificar os efeitos diretos e indiretos de outras variáveis sobre o vigor, que é avaliado pela análise de trilha.

Antes de realizar essa análise é preciso fazer o diagnóstico da multicolinearidade, que resultou em número de condição de 15.006.24, considera severa pela tabela de classificação de Montgomery e Peck (1981). Para contornar os efeitos da multicolinearidade, foi utilizada a análise de trilha em crista, na qual uma constante (k) é adicionada aos elementos da diagonal da matriz $X'X$. O valor de k a ser utilizado deve ser o menor valor capaz de estabilizar a maioria dos estimadores dos coeficientes de trilha (WRIGHT, 1923). Com isto o valor de $k = 0,005$ foi empregado, o que resultou em coeficiente de determinação de 99% (Tabela 4).

Pela análise de trilha, observou-se que as variáveis de maior efeito total sobre o vigor foram a altura de planta, o diâmetro do caule e diâmetro da copa, com correlações totais de 60; 90 e 91%, respectivamente (Tabela 4). No entanto, além do efeito total, é preciso avaliar os efeitos diretos e indiretos.

Para a correlação AP x VG, observa-se pequeno efeito direto (-0,10) e grande efeito indireto, via Dcaule (0,56) e DCopa (0,65). Para o Dcaule, o efeito direto foi de 0,68, porém o efeito indireto via DCopa foi superior ao efeito direto. Por isso, a AP e Dcaule não foram bons caracteres para seleção indireta visando melhorar o vigor das plantas de cafeeiro. Por outro lado, o DCopa teve alto efeito direto sobre VG (0,87), com efeitos indiretos menores, sendo por isso a melhor variável a ser utilizada para a seleção de materiais genéticos de café arábica mais vigorosos.

Quando se avalia os efeitos diretos e indiretos para a produtividade, tanto Severino et al (2002) quanto Martinez et al. (2007), observaram que o diâmetro da copa teve pouco ou nenhum efeito direto. Porém, Severino et al (2002) relataram que o vigor teve o maior efeito direto sobre a produtividade. Diante disso, é preciso realizar mais estudos para que seja possível identificar os efeitos do DCopa sobre o VG, e destes sobre a produtividade do café arábica.

CONCLUSÕES

1. Os materiais genéticos estudados têm pouca variabilidade genética e forte influência ambiental na expressão de suas características vegetativas;
2. É necessário estabelecer formas mais precisas para a avaliação do vigor vegetativo em plantas de cafeeiro, buscando a melhor distinção entre os genótipos;
3. O diâmetro da copa é variável com melhor efeito direto sobre o vigor vegetativo, sendo indicada para a seleção indireta de genótipos mais vigorosos.

Tabela 4. Desdobramento da correlação em efeitos diretos e indiretos sobre o vigor vegetativo de café arábica aos 14 meses após o plantio.

Variável	Estimativa	VIF
Altura de Planta (AP)		
Efeito direto sobre VG	-0,10	8,04
Efeito indireto via DCaule	0,56	5,97
Efeito indireto via NR	-0,17	0,58
Efeito indireto via DCopa	0,65	4,49
Efeito indireto via CR	-0,35	4,90
Total	0,60	
Diâmetro de Caule (DCaule)		
Efeito direto sobre VG	0,68	8,88
Efeito indireto via AP	-0,08	5,41
Efeito indireto via NR	-0,20	0,81
Efeito indireto via DCopa	0,77	6,28
Efeito indireto via CR	-0,28	3,14
Total	0,90	
Número de Ramos Plagiotrópicos (NR)		
Efeito direto sobre VG	-0,31	1,92
Efeito indireto via AP	-0,05	2,45
Efeito indireto via DCaule	0,45	3,74
Efeito indireto via DCopa	0,50	2,63
Efeito indireto via CR	-0,15	0,89
Total	0,43	
Diâmetro da Copa (DCopa)		
Efeito direto sobre VG	0,87	8,07
Efeito indireto via AP	-0,07	4,47
Efeito indireto via DCaule	0,61	6,91
Efeito indireto via NR	-0,18	0,62
Efeito indireto via CR	-0,32	4,11
Total	0,91	
Comprimento do 1º Ramos (CR)		
Efeito direto sobre VG	0,40	6,79
Efeito indireto via AP	0,08	5,80
Efeito indireto via DCaule	-0,47	4,10
Efeito indireto via NR	0,11	0,25
Efeito indireto via DCopa	-0,68	4,89
Total	-0,54	
Coefficiente de Determinação		0,99
Valor de <i>k</i> usado na análise		0,005
Efeito da variável residual		8,11
Determinante da matriz de correlação entre as variáveis explicativas		6,32

AP: altura de planta (cm); DCaule: diâmetro do caule (mm); NR: número de ramos plagiotrópicos; DCopa: diâmetro da copa (cm); CR: comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm); VG: vigor vegetativo.

AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café pelo financiamento do projeto e concessão de bolsa à primeira autora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A. ; STAPE, J. L. ; SENTELHAS, P. C. ; GOLÇALVES, J. L. de M. ; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728, 2013.
- CARVALHO, A. ; MÔNACO, L. C. ; FAZUOLI, L. C. Melhoramento do café XL: estudos de progênes e híbridos de café Catuaí. *Bragantia*, 38 (22): 202-216, 1979.
- CARVALHO, A. M. ; MENDES, A. N. G. ; CARVALHO, G. R. ; BOTELHO, C. E. ; GONÇALVEZ, F. M. A. ; FERREIRA, A. D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(3): 262-275, 2010.
- CARVALHO, A. M. ; PEREIRA, A. A. ; CARVALHO, G. R. ; MENDES, A. N. ; BOTELHO, C. E. Avaliação de progênes de cafeeiro obtidas do cruzamento entre Catuaí e híbrido de Timor. *Scientia Agraria*, 9(2): 249-253, 2008.

- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas. v 2. 3 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2014.
- CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 38(4): 547-552, 2016.
- EMBRAPA. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2ª ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.
- MARTINEZ, H. E. P. ; AUGUSTO, H. S. ; CRUZ, C. D. ; PEDROSA, A. W. ; SAMPAIO, N. F. Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados *Acta Scientiarum. Agronomy*, 29(4): 481-489, 2007.
- MONTGOMERY, D. C. ; PECK, E. A. *Introduction to linear regression analysis*. New York : J. Wiley, 1981. 504p.
- MOREIRA, S. O. ; GONÇALVES, L. S. A. ; RODRIGUES, R. ; SUDRÉ, C. P. ; AMARAL JUNIOR, A. T.; MEDEIROS, A. M. Correlações e análise de trilha sob multicolinearidade em linhas recombinadas de pimenta (*Capsicum annuum* L.). *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8(1): 15-20, 2013.
- PEREIRA, T. B. ; MENDES, A. N. G. ; BOTELHO, C. E. ; REZENDE, J. C. ; VILELA, D. J. M. ; RESENDE, M. D. V. Seleção de progênies F₄ de cafeeiro obtidas de cultivares do grupo Icatu. *Coffee Science*, 8(3): 337-346, 2013.
- PREZOTTI, L. C. *Sistema de recomendação de calagem e adubação*. 2007. Disponível em: <<http://www.incapet.es.gov.br>>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- REZENDE, R. M. ; CARVALHO, G. R. ; REZENDE, J. C. ; BOTELHO, C. E. ; PASQUALLOTO, A. T. ; VELLOSO, J. A. ; CARVALHO, A. M. Agronomic traits of coffee tree progenies from Timor Hybrid x Catuaí crossing. *Ciência Rural*, 44(5): 775-780, 2014.
- SEVERINO, L. S. ; SAKIYAMA, N. S. ; PEREIRA, A. A. ; MIRANDA, G. V. ; ZAMBOLIM, L. ; BARROS, U. V. Associações da produtividade com outras características agrônômicas de café (*Coffea arabica* L. “Catimor”). *Acta Scientiarum*, 24(5): 1467-1471, 2002.
- TEIXEIRA, A. L. ; GONÇALVES, F. M. A. ; REZENDE, J. C.; ROCHA, R. B. ; PEREIRA, A. A. Análise de componentes principais em caracteres morfológicos de café arábica em estágio juvenil. *Coffee Science*, 8(3): 205-210, 2013.
- WRIGHT, S. The theory of path coefficients a reply to nile’s criticism. *Genetics*, 8: 239-255, 1923.