

TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE CAFEIROS CONILON À BAIXA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO

Lima Deleon Martins¹, Wagner Nunes Rodrigues², Lindomar de Souza Machado³, Sebastião Vinicius Batista Brinate⁴, Tafarel Victor Colodetti⁵, Daniel Soares Ferreira⁶, Adan Dezan Côgo⁷, Marcio Antonio Apostolico⁸, José Francisco Teixeira do Amaral⁹ e Marcelo Antonio Tomaz¹⁰.

¹Centro de Ciências Agrárias-UFES, Doutorando em Produção Vegetal, deleon_lima@hotmail.com.

²Centro de Ciências Agrárias-UFES, Doutor em Produção Vegetal, wagnernunes86@hotmail.com.

³Centro de Ciências Agrárias-UFES, Doutorando em Genética e Melhoramento, lindomarsm@gmail.com.

⁴Centro de Ciências Agrárias-UFES, Doutorando em Produção Vegetal, brinatesvb@gmail.com

⁵Centro de Ciências Agrárias-UFES, Mestrando em Produção Vegetal, tafarelcolodetti@hotmail.com.

⁶Centro de Ciências Agrárias-UFES, Iniciação científica, danielufes@live.com.

⁷Centro de Ciências Agrárias-UFES, Iniciação científica, adancogo@gmail.com.

⁸Centro de Ciências Agrárias-UFES, Iniciação científica, marcioapostolico84@yahoo.com.br.

⁹Centro de Ciências Agrárias-UFES, Professor Adjunto, jfamamaral@cca.ufes.br.

¹⁰Centro de Ciências Agrárias-UFES, Professor Adjunto, tomaz@cca.ufes.br.

RESUMO: objetivou-se estudar a tolerância diferencial entre genótipos de café conilon submetidos a diferentes disponibilidades de fósforo no solo. O experimento foi desenvolvido em um delineamento inteiramente ao acaso, com três repetições, em esquema fatorial 13 x 3, sendo os fatores estudados: treze genótipos de café conilon com diferentes ciclos de maturação de frutos e três níveis de disponibilização de fósforo no solo (ausência de adubação e 50 e 100% do recomendado para a cultura). A discriminação de tolerância foi baseada em quatorze variáveis, sendo de crescimento vegetativo, matéria seca, acúmulo de nutriente e eficiência nutricional. Os resultados dos parâmetros genéticos indicaram ampla de variabilidade genotípica para os genótipos de café conilon cultivados ambientes com baixa disponibilidade de fósforo no solo. Foi possível classificar os genótipos de café conilon CV-01, CV-03, CV-04, CV-05, CV-07, CV-08, CV-09 como tolerantes à baixa disponibilidade de fósforo no solo. Não há relação evidente entre o ciclo de maturação dos frutos e a tolerância de genótipos de café conilon à baixa disponibilidade de fósforo no solo.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea canephora* Café conilon, eficiência nutricional, tolerância.

TOLERANCE OF *Coffea canephora* TO LOW PHOSPHORUS

ABSTRACT: the objective of this study was to search evidences of differential tolerance among genotypes of Conilon coffee cultivated in environments with different levels of phosphorus availability in the soil. The experiment was conducted in controlled environment, following a completely randomized design, with three replications in a factorial scheme 13x3, the factors being: thirteen genotypes of Conilon coffee from groups of different ripening cycles and three environments with different levels of phosphorus availability in the soil (fertilization without phosphorus supply, and phosphorus supply at 50% and 100% of the recommendation). The discrimination of tolerance was based on fourteen variables, covering vegetative growth, accumulation of dry matter, nutrient content and nutritional efficiencies. The estimative of genetic parameters indicated the existence of high genotypic variability for the genotypes cultivated in environments with low phosphorus availability in the soil. It was possible to classify the genotypes CV-01, CV-03, CV-04, CV-05, CV-07, CV-08, CV-09 as tolerant to low availability of phosphorus in the soil during the early development. There is no clear relationship between the ripening cycles and the tolerance of the genotypes to low phosphorus availability in the soil.

KEYWORDS: *Coffea canephora*, mineral nutrition, fertilization.

INTRODUÇÃO

O cafeeiro conilon possui ampla base genética (Ferrão et al., 2008) o que confere a característica de elevada diferenciação genética entre indivíduos da mesma espécie. Este fato está atrelado, entre outros aspectos, a sua característica de reprodução algôma, que durante a evolução o proporcionou inúmeros cruzamentos ao acaso, ampliando sua base genética. Esta ampla variabilidade genética do ponto de vista do melhoramento vegetal da cultura é um fator de extrema importância, entretanto, para as demais áreas de pesquisa em manejo do cafeeiro conilon torna-se promotora de um frequente desafio, pelo fato de não ser possível sistematizar pontualmente um manejo para todas as cultivares recomendadas.

Na nutrição mineral do cafeeiro conilon esta dificuldade se torna evidente, pelo fato dos genótipos de cafeeiro conilon possuírem características diferenciadas de acúmulo de matéria seca (Prezotti e Bragança, 2013), eficiência e responsividade (Martins et al., 2013a; Martins et al., 2013b), quando adubadas com níveis semelhantes de nutrientes. A

variação genética é um dos principais fatores que promovem diferenças em relação à nutrição mineral de genótipos de uma mesma espécie (Fageria, 1998), sendo fator de extrema importância na investigação de genótipos com potencial de adaptação às condições de limitação nutricional (Machado et al., 2004; Tomaz et al., 2011).

Neste contexto a principal solução apontada para o aumento de produtividade e redução do uso de fertilizantes é a seleção de genótipos tolerantes e adaptados à baixa disponibilidade de P no solo (Silva et al., 2010; Amaral et al., 2012). Por definição, uma planta tolerante a deficiência de fósforo no solo, desenvolvendo-se em meio com disponibilidade insuficiente do nutriente para máxima produtividade, produzindo, por exemplo, elevada quantidade de matéria seca por unidade de tempo e área (Fox, 1978).

Objetivou-se, com este trabalho, estudar a tolerância diferencial entre genótipos de café conilon submetidos à baixa disponibilidade de fósforo no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), localizado no município de Alegre, no sul do Estado do Espírito Santo, na latitude de 20°45' S, longitude de 41°33' W e altitude média de 277,41 metros.

Os genótipos de *Coffea canephora* estudados possuem diferentes ciclos de maturação de frutos, sendo os genótipos: e CV-01, CV-06, CV-08, CV-11 e CV-12 de ciclo precoce; CV-02, CV-03, CV-04, CV-07 E CV-10 de ciclo intermediário; e CV-05, CV-09 e CV-13 de ciclo tardio (cultivar clonal "Incaper-8142"). Esses genótipos foram desenvolvidos pelo programa de melhoramento do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER, apresentando uma série de características agrônomicas desejáveis e adaptação às condições de cultivo no Espírito Santo. As mudas utilizadas no estudo foram multiplicadas assexuadamente através de estaquia e possuíam 120 dias de desenvolvimento, dois pares de folhas verdes e bom aspecto fitossanitário e nutricional; provenientes do INCAPER, produzidas na Fazenda Experimental de Marilândia-ES.

O solo utilizado foi coletado na área experimental do CCA-UFES, a uma profundidade de 0,10 a 0,40 metros, descartando-se os primeiros 10 cm do perfil do solo para reduzir o efeito da matéria orgânica presente na camada superficial. Uma amostra foi encaminhada para análise química e física (Tabela 1), sendo o solo caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura argilosa - LVAarg (Embrapa, 1997). Todo o volume de solo foi seco à sombra, homogeneizado em peneira de malha 4,0 mm e separado em amostras de volume de 10,0 dm³, por pesagem em balança de precisão, e acondicionado em vasos plásticos selados, com capacidade de 14,0 litros.

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos do solo utilizado como substrato

Atributos	LVAarg
Areia (g kg ⁻¹) ¹	552,40
Silte (g kg ⁻¹) ¹	43,60
Argila (g kg ⁻¹) ¹	403,40
Densidade do solo (kg dm ⁻³) ²	1,20
pH ³	5,40
P (mg dm ⁻³) ⁴	2,00
K (mg dm ⁻³) ⁵	93,00
Ca (cmol _c dm ⁻³) ⁶	1,70
Mg (cmol _c dm ⁻³) ⁶	1,10
Al (cmol _c dm ⁻³) ⁷	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ⁸	2,10
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	3,37
CTC potencial (cmol _c dm ⁻³)	5,45
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	3,37
Saturação por bases (%)	61,80

¹. Método da pipeta (agitação lenta); ². Método da proveta; ³. pH em água (relação 1:2,5); ⁴. Extraído por Mehlich 1 e determinado por colorimetria; ⁵. Extraído por Mehlich 1 e determinado por fotometria de chama; ⁶. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria; ⁷. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; ⁸. Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 e determinado por titulação; e ⁹. Extraído por oxidação, via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico e determinado por titulação (EMBRAPA, 1997).

O experimento foi desenvolvido em um delineamento inteiramente ao acaso, com três repetições, em esquema fatorial 13 x 3, sendo os fatores estudados: treze genótipos de café conilon (CV-01, CV-02, CV-03, CV-04, CV-05, CV-06, CV-07, CV-08, CV-09, CV-10, CV-11, CV-12 e CV-13) e três níveis de disponibilização de fósforo no solo: ausência de adubação e adição de fósforo ao nível de 50 e 100% do recomendado para a cultura (Martins et al., 2013b).

A aplicação de P no solo foi baseada na recomendação para a cultura do café conilon (Lani et al., 2007), sendo utilizado o nível zero (controle) e o nível de 50% e 100% (respectivamente, 0,312 e 0,625 g kg⁻¹ P₂O₅:solo) com o objetivo de

discriminar, com eficácia, os índices de tolerância a ausência de P no solo, como havia indicado resultados anteriores (Martins et al., 2013b). Para isso, foi aplicado KH_2PO_4 p.a. diluído em água destilada e homogeneizado totalmente ao volume de solo no vaso. A quantidade de potássio fornecida a todas as unidades experimentais foi de $0,45 \text{ g kg}^{-1}$ ($\text{K}_2\text{O:solo}$); sendo que para os tratamentos sem o suprimento de P (KH_2PO_4 p.a.), a adubação do K foi realizada com a adição de KCl p.a., diluído em água destilada e homogeneizado totalmente ao volume de solo no vaso, no ato do plantio.

A adubação nitrogenada (Lani et al., 2007) foi realizada diluído NH_2CONH_2 p.a. em água destilada aplicando em superfície, de forma circular, a $0,10 \text{ m}$ do coleto da planta, sendo a adubação ($17,3 \text{ g kg}^{-1} \text{ N:solo}$) dividida em cinco aplicações, a primeira após o plantio e as demais, periodicamente, aos 30, 60, 90 e 120 dias após o plantio.

A irrigação foi realizada mantendo a umidade do solo durante todo período do experimento a 60% do volume total de poros, obtido pela densidade das partículas e do solo, determinados pelo método da proveta, de acordo com Embrapa (1997). Os tratos culturais foram realizados manualmente de acordo com a necessidade.

Aos 150 dias de cultivo efetuou-se a mensuração das variáveis morfológicas, realizando avaliações de altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), comprimento do ramo plagiotrópico (CRP) e comprimento de raiz (CR). A altura de planta e o comprimento do ramo plagiotrópico foram obtidos por meio de uma régua graduada, expressando o valor em centímetros; e o diâmetro do caule foi obtido por meio de paquímetro de precisão, medindo-se a região do colo, sendo expresso em milímetros. O número de folhas foi obtido por contagem visual. Para obter o comprimento das raízes, as mesmas foram retiradas do solo, lavadas em água corrente e enxugadas em papel toalha, após foi retirado uma amostra de aproximadamente 5% do peso fresco, com intuito de estimar o comprimento total radicular pelo método da intercepção de linha descrita por Tennant (1975). Após medição, fez-se a conversão para 100% tendo-se o comprimento radicular total da planta.

As plantas foram coletadas após as avaliações, separando caule e ramos, folhas e as raízes. Essas partes foram acondicionadas, separadamente, em sacolas de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65°C , até peso constante, para a determinação da matéria seca. Para a determinação da matéria seca da folhas (MSF), do caule (MSC) e da matéria seca da raiz (MSR), o material foi pesado em balança analítica de precisão, obtendo-se o resultado em gramas por planta; sendo a MST a soma do peso das matérias secas das folhas, do caule e dos ramos. A partir da MSR e da MSC+MSF , foi calculado a razão RRP.

As determinações dos teores na P da raiz, no caule e nas folhas foram realizadas de acordo com o método descrito pela Embrapa (1997), sendo que posteriormente foi calculado o conteúdo total de P na planta (CTP). A partir da matéria seca e do conteúdo dos nutrientes na planta foram calculados os índices: (i) eficiência de absorção (EFA) = (conteúdo total do nutriente na planta)/(matéria seca de raízes) (Swiader et al., 1994); (ii) eficiência de translocação (EFT) = ((conteúdo do nutriente na parte aérea)/(conteúdo total do nutriente na planta)) x 100 (Li et al., 1991); (iii) eficiência de utilização (EFU) = (matéria seca total produzida)²/(conteúdo total do nutriente na planta) (Siddiqi e Glass, 1981).

Os dados foram sujeitos a análise de variância conjunta e individual, pelo teste F, de modo a identificar as características para as quais existe diferenciação entre médias para o grupo de genótipos avaliados. Com base na análise individual, usando o modelo fixo: $Y_{ij} = \mu + g_i + \varepsilon_{ij}$, foram calculadas as estimativas do coeficiente de variação genotípico (CV_g), componente quadrático da variabilidade genotípica ($\hat{\Phi}_g$) e coeficiente de determinação genotípico (H^2) para cada característica.

A classificação dos genótipos em relação à tolerância à baixa disponibilidade de P no solo foi realizada com emprego de dois critérios. Inicialmente, utilizou-se a comparação entre médias para as características estudadas, através do critério de Tukey, para identificar os genótipos que conseguiram se desenvolver sob as condições as quais foram submetidos (maior tolerância) e genótipos que não se desenvolvem satisfatoriamente (menor tolerância). Sequencialmente, com emprego de análise multivariada, através do emprego de funções discriminantes de Anderson, classificaram-se os genótipos cuja tolerância apresentou comportamento não definido em um dos dois grupos conhecidos (tolerantes e intolerantes). Neste procedimento, adotou-se simultaneamente o conjunto de características avaliadas, de modo a estimar as funções discriminantes, as quais foram utilizadas para o cálculo dos escores e classificação dos genótipos. As análises foram realizadas utilizando o intervalo de 5% de probabilidade e foram realizadas no programa computacional Genes (Cruz, 2013).

RESULTADO E DISCUSSÃO

As estimativas do coeficiente de variação genética (CV_g) e do componente quadrático da variabilidade genotípica ($\hat{\Phi}_g$) demonstraram adequada expressão de heterogeneidade entre os genótipos em relação as características avaliadas, sendo observados maiores valores para os tratamentos com baixo suprimento de fósforo no solo (Tabela 2). No geral, é possível observar elevado coeficiente de determinação genotípico (H^2) para as variáveis estudadas, demonstrando menor influência ambiental sobre as mesmas, sendo também observada uma tendência de superioridade na condição de baixa disponibilidade de fósforo no solo (Tabela 2).

Tabela 2 – Coeficiente de variação genética (CV_g), componente quadrático da variabilidade genotípica ($\hat{\Phi}_g$), e coeficiente de determinação genotípico (H^2) de 14 variáveis de genótipos de café conilon cultivados com 0%, 50% e 100% do recomendado, aos 150 dias de cultivo.

Parameter	AP ¹			DC ²			CRP ³		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
CV_g	20.75	10.85	7.39	20.42	5.45	4.20	24.57	11.92	6.56
$\hat{\Phi}_g$	34.55	15.25	8.94	1.41	0.16	0.12	25.50	10.48	4.48
H^2	95.44	91.39	94.13	96.69	84.33	83.98	98.33	96.00	83.73
Mean	28.32	35.97	40.46	5.83	7.45	8.23	29.40	27.15	32.25
Parameter	CR ⁴			NF ⁵			MSR ⁶		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
CV_g	44.51	30.93	24.98	31.53	24.76	14.10	51.95	27.27	21.62
$\hat{\Phi}_g$	12.535	17.476	31.555	146.72	164.55	130.62	9.91	9.90	13.73
H^2	99.74	91.20	99.57	98.71	99.06	98.65	99.40	98.09	97.55
Mean	251.51	427.32	710.90	38.41	51.79	81.04	6.06	11.53	17.13
Parameter	MSF ⁷			MSC ⁸			MST ⁹		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
CV_g	11.51	13.78	7.97	52.29	23.72	14.91	23.83	16.69	8.71
$\hat{\Phi}_g$	11.51	18.95	9.97	3.78	2.13	2.19	64.05	67.71	33.74
H^2	96.55	98.10	95.11	98.41	97.69	94.55	99.02	98.75	96.47
Mean	23.80	31.58	39.61	3.71	6.16	9.93	33.58	49.28	66.68
Parameter	RRPA ¹⁰			CTP ¹¹			EFA ¹²		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
CV_g	41.89	17.34	21.98	23.46	20.44	12.79	76.09	18.42	16.33
$\hat{\Phi}_g$	0.01	0.01	0.01	73.55	179.73	169.70	39.72	1.23	0.92
H^2	98.48	94.44	96.41	98.74	99.37	98.63	99.99	99.89	99.90
Mean	0.21	0.30	0.34	36.55	64.56	101.83	8.28	6.01	5.88
Parameter	EFT ¹³			EFU ¹⁴					
	0%	50%	100%	0%	50%	100%			
CV_g	36.35	4.54	11.16	28.62	17.93	11.95			
$\hat{\Phi}_g$	38.05	13.27	83.34	76.52	42.86	29.15			
H^2	99.97	99.94	99.95	99.99	99.87	99.87			
Mean	84.40	80.12	81.79	30.56	36.48	45.17			

^{**}Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo; ¹Altura de plantas (cm); ²Diametro de caule (mm); ³Comprimento do ramo plagiotrópico (cm); ⁴Comprimento da raiz (cm); ⁵Número de folhas; ⁶Matéria seca de raízes (g); ⁷Matéria seca de folhas (g); ⁸Matéria seca do caule (g); ⁹Matéria seca total (g); ¹⁰Razão raiz parte:aérea; ¹¹Conteúdo total de P (mg); ¹²Eficiência de absorção (mg/g); ¹³Eficiência de translocação (%); ¹⁴Eficiência de utilização (g²/mg).

O comportamento dos genótipos cultivados em condições de baixa disponibilidade de fósforo permitiu identificar genótipos que apresentaram expressão satisfatória e também insatisfatória, em relação ao ambiente de cultivo, indicando que o genótipo CV-09 foi capaz de se desenvolver relativamente bem em comparação com os demais, obtendo valores médios superiores para as variáveis AP, DC, CR, NF, MSR, MSC, MSF, MST, CTP E EFU; contrariamente, o genótipo CV-11 apresentou baixa capacidade de acúmulo de matéria seca total no ambiente sem adição de fósforo, obtendo valores médios inferiores para as variáveis MSR, MSF, MST, CTP e EFU.

Assim, os genótipos de café conilon CV-09 e CV-11 foram classificados como padrões de tolerância e intolerância em condições de baixa disponibilidade de fósforo, e inicialmente os demais genótipos com comportamento de tolerância intermediária ao ambiente com restrição de P no solo. As funções discriminantes foram estimadas com base nos resultados dos genótipos citados anteriormente. Sendo a função discriminante para genótipos tolerantes chamada $D_t(x)$ e intolerantes $D_i(x)$, temos:

$$D_t(x) = - 111,17PH + 414,06SD + 71,34PBL + 16,44RL + 8,39NL + 102245,54DMR + 102070,85DML + 102687,78DMR - 102376,35TDM + 53497,86LRR - 78,57AP + 311,51AE + 454,17TE - 75,02UE - 22614,43$$

$$D_i(x) = - 111,59PH + 415,68SD + 71,04PBL + 16,48RL + 8,39NL + 102245,66DMR + 102070,42DML + 102687,03DMR - 102378,41TDM + 53500,18LRR - 77,72ATP + 311,16 AE + 454,52TE - 73,94UE - 22625,17$$

A discriminação com base nos escores das funções apontou que os genótipos de café conilon CV-01, CV-03, CV-04, CV-05, CV-07, CV-08 e CV-09 foram classificados como tolerantes à baixa disponibilidade de fósforo no solo e os genótipos CV-02, CV-06, CV-10, CV-11, CV-12 e CV-13 como intolerantes (Tabela 3). Observa-se que os genótipos que foram utilizados como padrão de tolerância e intolerância (respectivamente CV-09 e CV-11) mantiveram sua classificação, tal fato demonstra a consistência estatística das funções geradas e válida às inferências e a classificação proposta para os genótipos de comportamento indeterminado (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação de genótipos de café conilon quanto à tolerância à baixa disponibilidade de p no solo, de acordo com as estimativas das funções discriminantes $D_t(x)$ e $D_i(x)$ para genótipos tolerantes e intolerantes, respectivamente.

Genótipo	Ciclo	$D_t(x)^1$	$D_i(x)^1$	Classificação
CV-01	Precoce	22,484.61	22,482.76	Tolerante
CV-02	Intermediário	22,557.02	22,558.88	Intolerante
CV-03	Intermediário	22,776.69	22,774.83	Tolerante
CV-04	Intermediário	22,436.40	22,434.54	Tolerante
CV-05	Tardio	22,722.76	22,720.90	Tolerante
CV-06	Precoce	22,237.70	22,239.56	Intolerante
CV-07	Intermediário	22,396.59	22,394.73	Tolerante
CV-08	Precoce	22,657.34	22,655.48	Tolerante
CV-09	Tardio	22,816.96	22,815.10	Tolerante
CV-10	Intermediário	22,741.04	22,742.90	Intolerante
CV-11	Precoce	22,534.09	22,535.94	Intolerante
CV-12	Precoce	22,948.32	22,950.18	Intolerante
CV-13	Tardio	22,713.41	22,715.27	Intolerante

¹Discriminantes estimadas pelo método de Anderson

Não foi possível estabelecer uma relação entre a característica de duração do ciclo de maturação dos frutos com a discriminação qualitativa da tolerância dos genótipos à baixa disponibilidade de fósforo no solo. Os resultados indicaram que os genótipos de café conilon tolerantes como o CV-01 e C-08 (ciclo precoce), CV-03, CV-04 e CV-07 (ciclo intermediário) e CV-05 e CV-09 (ciclo tardio) apresentam diferentes comportamentos em relação ao ciclo de maturação dos frutos (Tabela 3).

CONCLUSÕES

Os genótipos de café conilon CV-01, CV-03, CV-04, CV-05, CV-07, CV-08 e CV-09 são tolerantes à baixa disponibilidade de fósforo no solo. Não há relação evidente entre o ciclo de maturação dos frutos e a tolerância de genótipos de café conilon à baixa disponibilidade de fósforo no solo. Há expressão ampla de variabilidade genotípica de genótipos de café conilon em ambientes com baixa disponibilidade de fósforo no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL JFT, MARTINS LD, LAVIOLA BG, CHRISTO LF, TOMAZ MA, RODRIGUES WN (2012). A differential response of physic nut genotypes regarding phosphorus absorption and utilization is evidenced by a comprehensive nutrition efficiency analysis. *Journal of Agricultural Science*. 4:164-173.
- CRUZ CD. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 35, p. 271-276, 2013.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) Manual de métodos de análises e classificação de solo. 2ªed. Rio de Janeiro, MAPA. 306p.
- FAGERIA NK (1998) Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2: 6-16.
- FERRÃO RG, CRUZ CD, FERREIRA A, CECON PR, FERRÃO MAG, FONSECA AFA, CARNEIRO, PCS, SILVA MF (2008) Parâmetros genéticos em café Conilon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 61-69.
- FOX RH (1978) Selection for phosphorus efficiency in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 9: 13-37.
- LANI JA, PREZOTTI LC, BRAGANÇA SM (2007) Cafeeiro. In: Prezotti LC, Gomes JA, Dadalto GG & Oliveira JA. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo (5ª aproximação). Vitória, SEEA/INCAPER/CEDAGRO. p.111-118.
- LI B, MCKEAN SE, ALLEN HL (1991). Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science*. 37, 613-626.

- MACHADO CTT, MACHADO AT, FURLANI AC (2004) Variação intrapopulacional em milho para características relacionadas com a eficiência de absorção e utilização de fósforo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 3: 77-91.
- MARTINS LD, TOMAZ MA, AMARAL JFT, BRAGANCA SM, MARTINEZ HEP (2013b) Efficiency and response of conilon coffee clones to phosphorus fertilization. *Revista Ceres*. 60: 406-411.
- MARTINS LD, TOMAZ MA, AMARAL JFT, BRAGANCA SM, MARTINEZ HEP, REIS EF, RODRIGUES WN (2013a). Nutritional efficiency in clones of conilon coffee for phosphorus. *Journal of Agricultural Science*. 5: 130-140.
- PREZOTTI LC, BRAGANÇA SM (2013) Acúmulo de massa seca e NPK em diferentes materiais genéticos de café conilon. *Coffee Science*, v. 8, n. 3, p. 284-294.
- SIDDIQI MY, GLASS ADM. (1981). Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*. 4, 289-302.
- SILVA L, MARCHIORI PER, MACIEL CP, MACHADO EC (2010) Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45: 965-972.
- SWIADER JM, CHYAN Y, FREIJIFG (1994). Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal of Plant Nutrition*. 17, 1687-1699.
- TENNANT DA. Test of a modified Hen intersects method of estimating root length. *Journal of Ecology*. South Perth, v.63. p.995-1001. 1975.
- TOMAZ MA, MARTINEZ HEP, RODRIGUES WN, FERRARI, RB, PEREIRA AA, SAKIYAMA NS (2011) Eficiência de absorção e utilização de boro, zinco, cobre e manganês em mudas enxertadas de cafeeiro. *Revista Ceres*, 58: 108-114.