

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO**

LARÍCIA OLÁRIA EMERICK SILVA

**DIVERSIDADE GENÉTICA DE *Coffea canephora* USANDO PARÂMETROS
GENÉTICOS DO SISTEMA RADICULAR**

ALEGRE - ES

2019

LARÍCIA OLÁRIA EMERICK SILVA

**DIVERSIDADE GENÉTICA DE *Coffea canephora* USANDO PARÂMETROS
GENÉTICOS DO SISTEMA RADICULAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre pelo em Genética e Melhoramento, linha de pesquisa em Melhoramento.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Fábio Luiz Partelli

ALEGRE - ES

2019

LARÍCIA OLÁRIA EMERICK SILVA

**DIVERSIDADE GENÉTICA DE *Coffea canephora* USANDO PARÂMETROS
GENÉTICOS DO SISTEMA RADICULAR**

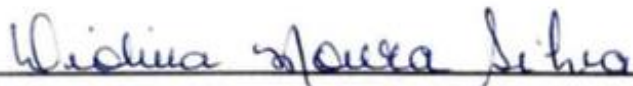
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Genética e Melhoramento, linha de pesquisa em Melhoramento.

Aprovado em 07 de agosto de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dr. Diolina Moura Silva
Universidade Federal do Espírito Santo



Dr. Marcos Goês Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S586d Silva, Larícia Olária Emerick, 1996-
Diversidade genética de Coffea canephora usando parâmetros genéticos do sistema radicular / Larícia Olária Emerick Silva. - 2019.
45 f. : il.

Orientador: Fábio Luiz Partelli.
Coorientador: Adésio Ferreira.
Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Genética e Melhoramento. 2. Café conilon e robusta. 3. Sistema radicular. I. Partelli, Fábio Luiz. II. Ferreira, Adésio. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 631.523

Ao meu saudoso avô José Emerick Dias (*in memoriam*), a pessoa que mais vibrava com cada vitória de seus netos, netas e bisnetos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por nunca nos abandonar e por ter sempre os melhores planos para mim.

Aos meus pais Marlene e Renilton que são meu orgulho e incentivo de todos os dias. Aos meus irmãos Letícia, Luan, Lázaro e Leonan e a minha sobrinha Maria Clara.

Ao meu amigo e namorado Rafael Nunes de Almeida por toda ajuda e companheirismo.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do trabalho e concessão de bolsa.

A Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade e acolhimento na instituição.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento (PPGGM) pelos inúmeros ensinamentos e oportunidades de crescimento pessoal e profissional.

Aos professores que tanto contribuem para nossa formação.

Ao meu orientador Fábio Luiz Partelli muito obrigada por aceitar me orientar mesmo que distante fisicamente. Parabéns pelo ser humano que é!

Ao meu coorientador Adésio Ferreira, agradeço por todos ensinamentos dentro e fora da sala de aula.

Ao Gleison Olios e Henrique Falqueto de Oliveira pela ajuda na coleta de raízes.

A Raquel Schmidt e Bhrenda Magalhães pela amizade construída durante o mestrado e ajuda nas análises de raízes. Ao técnico de laboratório Ramon Azevedo e a equipe do Núcleo de Excelência de Pesquisa de Café Conilon.

BIOGRAFIA

Larícia Olária Emerick Silva filha de Marlene da Penha Emerick Silva e Renilton da Silva, nasceu em Manhumirim-MG, no dia 31 de maio de 1996. Coursou o ensino fundamental e médio em escola pública no município de Martins Soares-MG e em 2014 ingressou no Instituto Federal do Espírito Santo, em Alegre-ES, graduando-se em Licenciatura em Ciências Biológicas em dezembro de 2017. Durante o período de graduação foi bolsista de PIBIC tendo desenvolvido atividades na área de genética e melhoramento e monitoria na disciplina de Botânica. Em março de 2018 deu início ao Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da Universidade Federal do Espírito Santo atuando na área de Melhoramento do Cafeeiro, sob orientação do Prof^o.Dr^o. Fábio Luiz Partelli, submetendo-se a defesa de dissertação em agosto de 2019.

RESUMO

SILVA, Larícia Olária Emerick. **Diversidade genética de *Coffea canephora* usando parâmetros genéticos do sistema radicular**. 2019. Dissertação (Mestre em Genética e Melhoramento). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES. Orientador: Drº. Fábio Luiz Partelli. Coorientador: Drº. Adésio Ferreira.

Estudos destinados ao conhecimento da distribuição do sistema radicular de plantas cafeeiras ainda são pouco explorados. O objetivo deste trabalho foi conhecer parte da distribuição do sistema radicular de uma população de *C. canephora* em estado produtivo, identificar os genótipos potencialmente promissores em condições adversas, bem como a sua diversidade genética baseada no estudo das características radiculares. Paralelamente verificar se existe correlação entre as características radiculares e altura de plantas cafeeiras. Para este estudo, monólitos de solo com raízes de cada um dos 43 genótipos estudados foram coletados a uma distância padrão de 30 cm no sentido da linha de plantio, em seis profundidades do solo (0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60 cm). As raízes foram lavadas, digitalizadas e processadas pelo programa Safira para quantificar área superficial ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$), comprimento (mm cm^{-3}), volume (mm cm^{-3}) e diâmetro (mm cm^{-3}). Utilizou-se delineamento em blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial duplo 6 x 43. Sendo o fator profundidade constituído por seis níveis e o fator genótipo por 43 níveis. Diferenças significativas entre os genótipos, e entre as profundidades foram observadas para todas as variáveis analisadas. A maior concentração de raízes ocorreu nas profundidades mais superficiais (0-20 cm). Os genótipos 14, 25 e 31 se destacaram em área superficial, comprimento, volume e diâmetro nas camadas mais profundas do solo. Existe correlação entre as características radiculares e a altura de plantas, entretanto a correlação observada foi fraca. Foi possível estimar a diversidade genética com base nas características radiculares de plantas cafeeiras.

Palavras-chave: Melhoramento genético, Café conilon, Café robusta

ABSTRACT

SILVA, Larícia Olaria Emerick. **Genetic diversity of *Coffea canephora* using root system genetic parameters**. 2019. Dissertation (Master in Genetics and Breeding). Federal University of Espírito Santo, Alegre, ES. Advisor: Dr. Fabio Luiz Partelli. Coordinator: Dr. Adésio Ferreira.

Studies aimed at understanding the distribution of the root system of coffee plants are still little explored. The objective of this work was to know the distribution of the root system of a productive *C. canephora* population, to identify potentially promising genotypes under adverse conditions, as well as their genetic diversity based on the study of root traits. At the same time, the aimed was to verify if there is a correlation between the root characteristics and height of coffee plants. For this study, root monoliths at six soil depths from each of the 43 studied genotypes were collected at a standard distance of 30 cm towards the coffee planting line at six soil depths (0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60 cm). The roots were washed, digitized and processed by the Safira program to quantify the surface area ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$), length (mm cm^{-3}), volume (mm cm^{-3}) and diameter (mm cm^{-3}). A randomized block design with four replications in a 6 x 43 double factorial scheme was used. The depth factor consisted of six levels and the genotype factor by 43 levels. Significant differences between genotypes and depths were observed for all variables analyzed. The highest concentration of roots occurred at the most superficial depths (0-20 cm). Genotypes 14, 25 and 31 stood out in the surface area, length, volume, and diameter in the deepest soil layers. There is a correlation between root characteristics and plant height, however, the observed correlation was weak. It was possible to estimate genetic diversity based on the root characteristics of coffee plants.

Key words: Genetic improvement, Conilon coffee, Robusta coffee.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: a e b - Lavoura com 43 genótipos de *C. canephora*, com quatro anos e dez meses de idades, cultivada no município de Nova Venécia, ES. 18

Figura 2: Coleta de monólitos de solo com raízes a um volume de 27 cm³ em seis profundidades do solo e a 0,30 cm do tronco de uma lavoura com 43 genótipos de *C. canephora* e em seis profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm). 19

Figura 3: Lavagem das raízes para separação do solo (b); raízes lavadas (a); digitalização das raízes (c). 21

Figura 4: Dendrograma obtido pelo método UPGMA a partir da matriz de dissimilaridade entre 43 genótipos de *C. canephora*, com base em características radiculares. 34

Figura 5: Figura 5: Percentuais médios por grupo das características comprimento (mm cm⁻³) (a), volume (mm³ cm⁻³) (b), e área superficial (mm² cm³) (c). 35

Figura 6: Figura 6: Correlação entre quatro características radiculares (comprimento, volume, área superficial e diâmetro) e altura de plantas de 43 genótipos de *C. canephora*. ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade.. 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características químicas e granulométricas de seis profundidades do solo em área cultivada com cafeeiro conilon (<i>C. canephora</i>) irrigado, em Nova Venécia - ES.....	16
Tabela 2: Identificação dos 43 genótipos de <i>C. canephora</i> cultivados em.....	17
Tabela 3: Análise de variância para as características radiculares de 43 genótipos de <i>C. canephora</i> cultivados em Nova Venécia, ES.....	23
Tabela 4: Valores médios das características morfológicas comprimento, volume, área superficial e diâmetro em 43 genótipos de <i>C. canephora</i> entre seis profundidades, de acordo com o teste Scott-Knott.....	25
Tabela 5: Estimativa dos parâmetros genéticos entre 43 genótipos de <i>C. canephora</i> cultivados em Nova Venécia, ES.....	32
Tabela 6: Agrupamentos entre 43 genótipos de <i>C. canephora</i> pelo método de Tocher, considerando quatro características radiculares e seis profundidades.	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1 Material vegetal e experimento de campo.....	16
2.2 Estudo da distribuição do sistema radicular	18
2.3 Análises estatísticas.....	22
2.3.1 Diversidade genética	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1 Caracterização do sistema radicular	23
3.2 Diversidade genética.....	32
4. CONCLUSÃO	41
5. REFERENCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de *Coffea canephora* tem participação efetiva na economia do Brasil. Com cerca de 411,9 mil hectares de área plantada (CONAB, 2019) e apresentando excelente desempenho como produto de exportação, esta cultura é responsável por empregar milhares de famílias. Como fator favorável à lucratividade da cultura tem-se sua inclusão cada vez mais frequente nos “*blends*” de cafés torrados e moídos, resultando num equilíbrio no conteúdo de bioativos (IVOGLO et al., 2008; WONGSA et al., 2019). Além disso, a expansão do consumo de café solúvel em todo o mundo também tem contribuído para o aumento do consumo de *C. canephora* (GUIMARÃES, 2015).

O gênero *Coffea* possui atualmente 124 espécies catalogadas. O número de espécies do gênero aumentou nos últimos anos devido a inclusão do gênero *Psilanthus* ao *Coffea* (DAVIS et al., 2011). Dentre as espécies que compõem esse gênero, *C. canephora* Pierre ex Froehner (café conilon e robusta) recebe destaque em função da alta aceitação do setor comercial, juntamente com *C. arabica* (café arábica) (ICO, 2018; DAVIS et al., 2019).

Caracterizada como alógama e com autoincompatibilidade gametofítica, a autofecundação ou ainda a fecundação cruzada entre plantas aparentadas é inviabilizada em *C. canephora* (CONAGIN e MENDES, 1961). Conseqüentemente, uma população desta espécie reproduzida naturalmente é considerada altamente heterozigótica, constituindo-se em uma população com grande variabilidade genética. Sendo a presença de variabilidade genética essencial para o processo de seleção natural e artificial (LANDE e SHANNON, 1996; FERRÃO et al., 2008).

A cafeicultura de conilon, no entanto, tem enfrentado grandes desafios frente às mudanças climáticas, necessidade de otimização dos recursos naturais e artificiais, bem como na busca pelo aumento de produtividade em áreas cultiváveis (PEZZOPANE et al., 2010; ARAÚJO et al., 2011; COVRE et al., 2018). Diante disso, o melhoramento genético do cafeeiro atualmente é considerado primordial para a evolução da cafeicultura (MISTRO et al., 2019),

sendo capaz de minimizar os aspectos negativos encontrados no campo a partir da exploração da diversidade genética da cultura (RAMALHO et al., 2016).

Em programas de melhoramento, o conhecimento da estrutura genética de uma população a partir da estimativa dos parâmetros genéticos como o coeficiente de variação genético, herdabilidade e índice de variação é fundamental ao estudar caracteres quantitativos. Tais parâmetros realizam o desdobramento da variância fenotípica de uma população inferindo sobre a natureza da manifestação do caráter, além do controle genético das características envolvidas que tenham potencial para o melhoramento (CRUZ e CARNEIRO, 2006; FERRÃO et al., 2008).

Diversos estudos têm sido realizados com intuito de maximizar os conhecimentos sobre a diversidade genética, assim como, para identificar materiais genéticos de *C. canephora* potencialmente promissores. Trabalhos recentes têm se baseado em características morfológicas e agrônômicas, sobre a anatomia foliar e, características nutricionais, visando não só a produtividade *per se* mas também a identificação de genótipos com maior adaptabilidade e estabilidade em condições de estresses abióticos (GILES et al., 2018, 2019; MARTINS et al., 2019; STARLING et al., 2019).

Embora esforços estejam sendo feitos para melhor conhecer os mecanismos de adaptação do cafeeiro a tais condições, observa-se que, estudos sobre o desempenho radicular de plantas cafeeiras em estado produtivo é uma característica ainda pouco explorada. Principalmente por se tratar de uma cultura perene, com ciclo de vida longo e pela deficiência de metodologias eficazes para acesso e monitoramento do desenvolvimento radicular de plantas cafeeiras em condições naturais. Portanto, há uma infinidade de interrogações sobre o sistema radicular que carecem de respostas. Segundo Ryan et al. (2016) tais conhecimentos são indiscutivelmente relevantes, pois têm implicações amplas e importantes para a produtividade global.

O sistema radicular do café é caracterizado como pseudopivotante, pois na maioria das vezes suas raízes pivotantes apresentam-se curtas, grossas e terminam abruptamente. A partir da raiz pivotante originam as raízes finas, as quais localizam-se em sua maioria a até 30 a 45 cm do solo (RENA e

GUIMARÃES, 2000). Por este motivo, Ronchi et al. (2015) relatam que a maior eficiência do sistema radicular está nas camadas superficiais do solo, pois nessa região ocorre maior absorção de água e nutrientes. Mas Partelli et al. (2014) relatam que o perfil de enraizamento de *C. canephora* difere, entre outros aspectos, às diferenças genéticas em plantas cafeeiras.

Há evidências na literatura confirmando que o sistema radicular e a parte aérea das plantas cafeeiras são interdependentes (RAMOS et al., 1982; SILVA et al., 2010). Portanto a eficiência na retirada de água e nutrientes do solo pelo sistema radicular associado a variabilidade genética é fundamental para a manutenção da produção em condições adversas (COVRE et al., 2015). Logo, o conhecimento da distribuição radicular é uma informação base para escolha de quais genótipos serão mais promissores para serem levados a campo.

Estudos sobre o sistema radicular de plantas cafeeiras, com base em raízes lavadas e utilização do software Safira (JORGE et al., 2010) realizado por Partelli et al. (2006) e Covre et al. (2015), tem sido considerado eficaz para acessar o sistema radicular em diferentes profundidades. Esta metodologia possibilita conhecer características arquiteturais como o comprimento, volume, área superficial e diâmetro radicular por volume de solo. Tais informações são importantes para a otimização de agrupamentos de genótipos com perfis radiculares semelhantes, além de implicarem nas práticas de manejo adequadas para a cultura.

Neste sentido o objetivo deste trabalho foi conhecer parte da distribuição do sistema radicular de uma população de 43 genótipos de *C. canephora* em estado produtivo, identificar os genótipos potencialmente promissores, bem como estudar a diversidade genética baseada no estudo das características radiculares.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal e experimento de campo

O experimento foi instalado no município de Nova Venécia, Espírito Santo, Brasil, em uma propriedade particular localizada a uma latitude 18°39'43" sul e longitude 40°25'52" oeste, altitude de 199 metros, e temperatura média anual de 23°C. A região possui clima tropical, caracterizado pelo verão quente e úmido, e inverno seco, classificado como Aw, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). O solo é caracterizado como Latossolo Amarelo (SANTOS et al., 2018), cujas características químicas e físicas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Características químicas e granulométricas de seis profundidades do solo em área cultivada com cafeeiro conilon (*C. canephora*) irrigado, em Nova Venécia - ES

Atributos químicos	Camadas do Solo (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
K (mg dm ⁻³)	110	95	74	57	52	46
S (mg dm ⁻³)	15	11	29	15	15	17
Ca (cmol dm ⁻³)	3,8	3,4	1,9	1	0,7	0,6
Mg (cmol dm ⁻³)	1	0,9	0,4	0,3	0,1	0,1
Al (cmol dm ⁻³)	0	0	0,3	0,7	0,8	0,8
H+Al	1,6	1,8	2,4	2,9	3,1	3,1
pH-H ₂ O	6,6	6,5	5,3	4,8	4,8	4,8
Mat. Org. (dag dm ⁻³)	2,1	1,7	1,1	0,8	0,7	0,5
Fe (mg dm ⁻³)	140	138	126	94	88	87
Zn (mg dm ⁻³)	10,2	4,5	2,9	1,1	0,6	0,5
Cu (mg dm ⁻³)	3,4	4,3	3	1,9	1,2	1
Mn (mg dm ⁻³)	207	174	104	46	44	40
B (mg dm ⁻³)	0,81	0,83	0,58	0,55	0,56	0,61
Na (mg dm ⁻³)	11	37	8	6	5	4
Frações granulométrica						

Areia total	434	352	188	368	366	376
Silte	86	168	212	32	74	124
Argila	480	480	600	600	560	500

Os genótipos foram dispostos em blocos casualizados, com três repetições, sendo os tratamentos constituídos pelos diferentes genótipos e cada unidade experimental constituída por sete plantas, no esquema fatorial duplo "6x43 (seis níveis de profundidade e 43 genótipos). Dos 43 genótipos avaliados, 42 foram oriundos de propagação vegetativa via estaquia e apenas um genótipo (Genótipo 39) oriundo de sementes (Tabela 2).

Tabela 2: Identificação dos 43 genótipos de *C. canephora* cultivados em Nova Venécia, ES.

ID	Nome	ID	Nome	ID	Nome
1	Verdim R	16	Pirata	31	Cheique
2	B01	17	Peneirão	32	P2
3	Bicudo	18	Z39	33	Emcapa 02
4	Alecrim	19	Z35	34	Emcapa 153
5	700	20	Z40	35	P1
6	CH1	21	Z29	36	LB1
7	Imbigudinho	22	Z38	37	122
8	AT	23	Z18	38	Verdim D
9	Graudão HP	24	Z37	39	Sementes
10	Valcir P	25	Z21	40	Emcapa 143
11	Beira Rio 8	26	Z36	41	Ouro negro 1
12	Tardio V	27	Ouro Negro	42	Ouro negro 2
13	AP	28	18	43	Clementino
14	L80	29	Tardio C		
15	Bamburral	30	A1		

Identificação (ID); Genótipos 33, 34 e 39 pertencem à variedade Emcapa 8131, genótipos 1, 11, 15, 16 e 30 pertencem à variedade Tributum (GILES et al., 2018) e 30 e 35 pertencem à variedade Andina (MARTINS et al., 2019).

A área foi previamente preparada para o plantio sendo realizada a correção de solo na linha de plantio. O plantio foi realizado no espaçamento de 3 metros entre linhas por 1 metro entre plantas, o que equivale a uma densidade de 3333 plantas ha⁻¹. As plantas foram conduzidas com três a quatro hastes (10 a 12 mil hastes ha⁻¹) para adotar o manejo de poda programada de ciclo (Figura 1). Os tratos culturais foram conduzidos conforme as orientações técnicas para cultura, objetivando o manejo fitossanitário e nutricional da lavoura, sendo toda área irrigada por gotejamento.

Figura 1: a e b - Lavoura com 43 genótipos de *C. canephora*, com quatro anos e dez meses de idades, cultivada no município de Nova Venécia, ES.



Fonte: Autor (2019)

2.2 Estudo da distribuição do sistema radicular

Para o estudo da distribuição do sistema radicular, monólitos de solo com raízes de cada genótipo foram coletados (Figura 2) em fevereiro de 2018, com ajuda de um trado tipo sonda a um volume de 27 cm³ em seis profundidades do solo (0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60 cm). O solo foi retirado a uma distância padrão de 30 cm do caule da planta no sentido da linha de plantio, onde há maior concentração de raízes (COVRE et al., 2015).

Figura 2: Coleta de monólitos de solo com raízes a um volume de 27 cm³ em seis profundidades do solo e a 0,30 cm do tronco de uma lavoura com 43 genótipos de *C. canephora* e em seis profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm).



Fonte: Autor (2019)

As amostras coletadas foram armazenadas em sacos de plástico devidamente identificados e mantidas em câmara fria, a aproximadamente -10°C até a lavagem, sob água corrente, em peneira de 30 mesh, para separação das raízes. As raízes foram digitalizadas com câmera digital profissional Nikon de 18.2 Megapixels e, posteriormente, analisadas pelo programa Safira - Sistema de Análise de Fibras e Raízes (JORGE et al., 2010) (Figura 3). Assim, quantificou-se a área superficial ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$), o comprimento (mm cm^{-3}), o volume ($\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$), por volume de solo, e o diâmetro das raízes (mm).

Figura 3: Lavagem das raízes para separação do solo (b); raízes lavadas (a); digitalização das raízes (c).



Fonte: Autor (2019)

Oportunamente, com intuito de avaliar a existência de correlação entre a altura das plantas cafeeiras e o sistema radicular, aferiu-se a altura das plantas com auxílio de uma trena, medindo-se desde a base até o topo. Foram avaliadas

três plantas por unidade experimental nas três repetições, totalizando em oito plantas por genótipo.

2.3 Análises estatísticas

A fim de verificar se os dados atendiam às pressuposições da análise de variância, os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett ao nível de significância de 5%. Como as pressuposições para a análise de variâncias não foram atendidas, os dados foram transformados pelo método Box Cox (Box Cox, 1964). Após a transformação, os testes para normalidade e homogeneidade de variâncias foram repeditos e verificou-se que as pressuposições foram atendidas. Prosseguiu-se com a análise de variância e agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott ao nível de significância de 5%. Essas análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa RStudio versão 3.6.1.

2.3.1 Diversidade genética

Realizou-se análise multivariada (MANOVA) a partir dos componentes de variância, onde foram estimados para cada característica os seguintes parâmetros: coeficiente de variação ambiental (CVe); coeficiente de variação genético (CVg); índice de variação (IV), que corresponde a razão entre CVg e CVe, e a herdabilidade (h^2). A fim de agrupar os genótipos quanto a dissimilaridade das diversas características avaliadas, calculou-se a dissimilaridade pela distância de Mahalanobis. Posteriormente foi gerado o agrupamento dos genótipos com base no método otimização de Tocher e no método hierárquico Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages (UPGMA).

Para avaliar a existência de correlação entre as características radiculares e altura de plantas, utilizou-se a análise de correlação de Pearson. Ainda foi feita uma análise de importância relativa das características para a diversidade dos 43 genótipos, de acordo com o método de Singh (1981). Essas análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa Genes (CRUZ, 2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do sistema radicular

Ao estudar a distribuição radicular de 43 genótipos de *C. canephora* com quatro anos e dez meses de idade, e submetidos a irrigação por gotejamento verificou-se que a 30 cm de distância do tronco no sentido da linha de plantio, encontra-se raízes pequenas e médias, as quais segundo Motta et al. (2006) são chamadas de raízes absorventes. As principais características destas raízes estão no fato de serem curtas, com diâmetro geralmente inferior a 1 mm e esbranquiçadas. Segundo Fitter et al. (2002) a presença desse tipo de raiz possibilita a planta desempenhar a aquisição de recursos do solo, como maior absorção de água e nutrientes, permitindo à planta explorar diferentes camadas do solo de forma mais eficiente.

Por meio da análise de variância (Tabela 3), constatou-se que houve diferença significativa entre os 43 genótipos de *C. canephora* para as características morfológicas avaliadas e entre as seis profundidades. Os resultados revelam ainda que apenas para a característica diâmetro radicular, não houve interação genótipo e profundidade.

Tabela 3: Análise de variância para as características radiculares de 43 genótipos de *C. canephora* cultivados em Nova Venécia, ES.

Variáveis	Média	QM			
		Genótipo	Prof.	Gen x Prof	Resíduo
Comprimento	14,24	82,08**	2599,75**	10,79**	5,03
Volume	5,77	14,87**	350,12**	2,76**	1,14
Área Superficial	19,41	174,31**	5320,79**	23,04**	10,60
Diâmetro	0,79	0,06**	1,02**	0,01	0,02

** Significativo a 5% pelo teste F; Profundidade (Prof), Interação Genótipo x Profundidade (Gen x Prof).

A existência de diferenças significativas detectadas pelo teste F entre os genótipos de *C. canephora*, evidencia a heterogeneidade da população avaliada, o que é relevante, uma vez que é a variabilidade genética presente, a

responsável por proporcionar ao melhorista a oportunidade de efetuar a seleção de plantas com desempenho superior e assim aumentar os ganhos em produtividade (FERRÃO et al., 2008; MUVUNYI et al., 2017).

Também foi verificada a ocorrência de diferenças significativas entre profundidades, bem como de interação entre genótipos e profundidade, indicando que há diferentes padrões de distribuição radicular entre os genótipos avaliados. De tal modo que, torna-se necessário selecionar com base em medidas de profundidades específicas as quais sejam de maior interesse para o melhoramento da característica alvo. Portanto, a partir do conhecendo das características radiculares das plantas cafeeiras e das condições ambientais em que serão cultivadas, a escolha de quais materiais genéticos serão levados a campo, torna-se favorecida.

Em condições ótimas para o crescimento e desenvolvimento radicular, genótipos com maior concentração de raízes absorventes nas camadas superficiais do solo, até 30 cm, são eficientemente cultivados. Entretanto, em condições desfavoráveis, como indisponibilidade severa e prolongada de água e nutrientes, o cultivo de genótipos com maior capacidade de acessar camadas mais profundas do solo pode ser uma alternativa para a sobrevivência das plantas cafeeiras (BARRETO et al., 2006). Trabalhos de Ronchi et al. (2015) e Isaac et al. (2017) têm demonstrado que o perfil radicular está diretamente relacionado com o maior nível de adaptação dos genótipos, o que reflete diretamente sobre a produtividade.

Para cada uma das características comprimento (mm cm^{-3}), volume ($\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$), área superficial ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$) e diâmetro (mm) radicular, observou-se a formação de grupos de genótipos com médias estatisticamente distintas nas seis profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm (Tabela 4).

Tabela 4: Valores médios das características morfológicas comprimento, volume, área superficial e diâmetro em 43 genótipos de *C. canephora* entre seis profundidades, de acordo com o teste Scott-Knott.

Genótipo	Comprimento (mm cm-3)					
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
1	598,67 Ab	252,46 Bc	408,23 Aa	191,19 Bb	191,80 Bb	212,70 Bb
2	458,86 Ac	327,43 Ac	108,47 Bc	69,29 Bc	76,75 Bc	118,53 Bc
3	958,89 Aa	753,29 Aa	392,22 Ba	253,41 Bb	152,59 Cc	154,06 Cc
4	1223,22 Aa	524,14 Bb	305,28 Cb	237,74 Cb	167,39 Cc	143,97 Cc
5	1151,99 Aa	361,13 Bb	246,98 Bb	249,24 Bb	55,82 Cc	53,53 Cd
6	1038,86 Aa	269,18 Bc	213,55 Bb	206,88 Bb	200,18 Bb	134,21 Bc
7	684,90 Ab	222,33 Bc	244,23 Bb	189,09 Bb	140,92 Bc	137,38 Bc
8	577,47 Ab	269,98 Bc	200,29 Bc	297,53 Bb	375,66 Ba	320,27 Ba
9	1041,41 Aa	385,07 Bb	143,48 Cc	219,99 Cb	159,67 Cc	92,93 Cd
10	886,69 Aa	332,29 Bc	115,42 Cc	101,29 Cc	156,29 Cc	120,78 Cd
11	643,51 Ab	287,73 Bc	169,73 Cc	131,66 Cc	126,92 Cc	107,75 Cc
12	808,37 Aa	272,60 Bc	126,21 Cc	105,56 Cc	84,38 Cc	133,20 Cc
13	1038,56 Aa	533,22 Bb	331,69 Cb	276,04 Cb	150,67 Dc	85,54 Dd
14	954,66 Aa	902,55 Aa	654,78 Aa	610,63 Aa	410,51 Ba	419,35 Ba
15	844,12 Aa	295,78 Bc	359,16 Ba	209,02 Bb	210,17 Bb	226,18 Bb
16	545,08 Ab	208,68 Bc	187,97 Bc	150,98 Bc	158,23 Bc	156,50 Bc
17	924,88 Aa	532,41 Bb	155,40 Cc	108,92 Cc	98,96 Cc	125,60 Cc
18	913,18 Aa	333,68 Bc	224,36 Bb	144,61 Cc	150,83 Cc	135,34 Cc
19	894,91 Aa	664,16 Aa	429,52 Ba	212,14 Cb	179,70 Cc	200,67 Cb
20	439,05 Ac	176,23 Bd	94,50 Bc	222,94 Bb	135,48 Bc	159,05 Bb
21	945,22 Aa	364,88 Bb	121,98 Cc	165,99 Cc	142,98 Cc	101,70 Cd
22	532,43 Ab	317,34 Bc	151,95 Cc	100,55 Cc	125,68 Cc	99,04 Cd
23	347,84 Ac	205,32 Bc	173,45 Bc	154,13 Cc	107,64 Cc	78,54 Cd
24	1107,84 Aa	459,30 Bb	280,22 Bb	134,91 Cc	155,38 Cc	155,43 Cc
25	1127,29 Aa	737,96 Ba	527,82 Ca	255,99 Cb	332,09 Ca	295,84 Ca
26	850,98 Aa	339,77 Bc	256,65 Bb	56,94 Cc	103,93 Cc	138,18 Cc
27	623,14 Ab	190,75 Bd	138,87 Bc	102,75 Bc	69,45 Cc	39,56 Cd
28	528,74 Ab	178,76 Bd	156,95 Bc	142,98 Bc	142,76 Bc	129,70 Bc
29	441,14 Ac	257,89 Bc	144,72 Cc	136,42 Cc	97,82 Dc	56,67 Dd
30	870,18 Aa	407,97 Bb	317,66 Bb	232,64 Cb	224,72 Cb	167,00 Cb
31	334,02 Ac	119,36 Bd	206,52 Ab	132,78 Bc	109,45 Bc	230,45 Ab
32	1411,17 Aa	339,12 Bc	314,49 Bb	225,44 Bb	182,07 Cb	141,21 Cc
33	493,82 Ab	143,53 Bd	118,96 Bc	123,64 Bc	109,14 Bc	70,62 Bd
34	799,76 Aa	392,70 Bc	160,75 Cc	133,34 Cc	140,51 Cc	139,59 Cc
35	935,75 Aa	414,44 Bb	234,07 Cb	221,27 Cb	187,26 Cb	192,63 Cb
36	710,54 Ab	405,30 Bb	235,65 Cb	192,58 Cb	137,05 Cc	184,30 Cb
37	941,13 Aa	207,82 Bc	157,60 Bc	143,09 Bc	94,33 Bc	111,28 Bc
38	1138,42 Aa	440,56 Bb	217,78 Cb	180,90 Cc	295,66 Ba	183,65 Cb

39	651,18	Ab	255,66	Bc	255,83	Bb	161,77	Cc	124,25	Cc	141,16	Cc
40	1113,61	Aa	709,92	Ba	435,70	Cb	275,21	Cb	256,85	Cb	256,94	Cb
41	1035,80	Aa	504,23	Bb	316,17	Cb	294,56	Cb	151,05	Dc	146,91	Dc
42	537,34	Ab	104,66	Bd	79,05	Bc	134,27	Bc	70,82	Bc	72,66	Bd
43	1013,91	Aa	397,49	Bb	283,02	Bb	205,45	Cb	209,41	Cb	118,23	Cc

Volume (mm³ cm-3)

Genótipo	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm						
1	139,45	Ac	43,70	Bd	92,78	Aa	53,01	Ba	44,41	Bb	35,71	Ba
2	97,48	Ad	45,72	Bd	30,75	Cc	10,14	Cb	20,65	Cc	51,90	Ba
3	181,41	Ab	177,47	Aa	137,26	Aa	41,70	Ba	34,21	Bb	40,39	Ba
4	254,84	Ab	192,45	Aa	89,94	Bb	52,88	Ba	62,25	Bb	67,22	Ba
5	206,97	Ab	63,97	Bc	59,62	Bb	42,47	Ba	6,40	Dd	18,10	Cb
6	215,30	Ab	50,59	Bc	48,24	Bb	57,00	Ba	47,22	Bb	36,14	Ba
7	142,79	Ac	39,16	Bd	56,78	Bb	39,57	Ba	24,73	Bc	28,36	Bb
8	118,40	Ac	72,91	Bc	45,07	Bc	56,52	Ba	122,75	Aa	74,61	Ba
9	208,03	Ab	94,18	Bb	66,22	Bb	39,61	Ba	41,64	Bb	65,60	Ba
10	132,91	Ac	77,84	Bc	40,06	Bc	17,24	Cb	43,60	Bb	21,14	Cc
11	146,55	Ac	57,12	Bc	42,72	Bc	21,12	Bb	24,96	Bc	20,76	Bb
12	158,97	Ac	93,18	Bb	29,87	Bc	14,35	Bb	14,67	Bd	52,17	Ca
13	184,40	Ab	82,86	Bb	72,23	Cb	60,58	Ca	23,47	Dc	30,66	Db
14	170,40	Ab	169,08	Aa	128,91	Aa	138,04	Aa	112,82	Aa	62,72	Ba
15	189,33	Ab	109,41	Ab	95,05	Aa	45,47	Ba	53,83	Bb	69,09	Ba
16	153,04	Ac	55,08	Bc	48,52	Bb	32,06	Ba	35,29	Bb	42,49	Ba
17	207,37	Ab	144,26	Aa	51,33	Bb	25,83	Cb	30,80	Cc	25,06	Cb
18	131,88	Ac	61,09	Bc	46,63	Cc	18,28	Cb	18,25	Cc	23,70	Cb
19	209,27	Cb	132,40	Ab	66,20	Bb	40,53	Ba	31,33	Bc	34,53	Ba
20	77,74	Ad	34,06	Bd	17,49	Bc	45,50	Aa	25,72	Bc	63,76	Aa
21	243,65	Ab	94,60	Bb	49,29	Cc	30,09	Cb	36,35	Cc	32,02	Cb
22	104,91	Ad	50,30	Bc	27,48	Cc	19,60	Cb	16,10	Cc	11,80	Cc
23	67,69	Ad	84,44	Ab	28,47	Bc	50,12	Aa	48,20	Ab	11,86	Bc
24	161,48	Ac	101,61	Ab	66,99	Bb	25,19	Bb	33,81	Bb	38,65	Ba
25	198,28	Ab	146,62	Aa	88,86	Ba	46,28	Ba	71,60	Ba	70,19	Ba
26	194,94	Ab	87,04	Bc	71,30	Bb	8,95	Cb	21,27	Cc	63,81	Ba
27	127,98	Ac	39,23	Bd	45,38	Bc	17,21	Cb	10,92	Cd	11,18	Cc
28	128,08	Ac	40,12	Bd	34,61	Bc	34,16	Ba	25,02	Bc	37,52	Ba
29	69,87	Ad	52,54	Ac	29,72	Bc	33,77	Ba	40,24	Bc	7,67	Cc
30	215,35	Ab	97,90	Bb	72,05	Bb	35,62	Ca	55,37	Bb	36,50	Ca
31	86,23	Ad	28,13	Bd	32,45	Bc	48,67	Ba	30,53	Bc	68,58	Aa
32	1105,00	Aa	70,35	Bc	69,37	Bb	70,23	Ba	45,69	Bb	28,38	Cb
33	133,90	Ac	32,03	Bd	22,45	Bc	26,68	Bb	24,01	Bc	12,06	Bc
34	148,04	Ac	92,20	Bc	34,17	Bc	64,90	Ba	36,05	Bc	49,08	Ba
35	219,62	Ab	65,81	Bc	56,99	Bb	40,46	Ba	29,57	Bc	33,82	Ba
36	158,61	Ac	101,46	Ab	41,31	Bc	49,75	Ba	32,27	Bc	49,70	Ba

37	208,15	Ab	39,48	Bd	19,81	Bc	30,13	Ba	25,23	Bc	18,64	Bb
38	210,20	Ab	118,58	Bb	35,63	Cc	35,34	Ca	43,58	Cb	58,47	Ca
39	162,86	Ac	54,46	Bc	41,93	Bc	33,50	Ba	25,03	Bc	50,54	Ba
40	220,27	Ab	125,44	Ab	98,37	Bb	82,77	Ba	48,32	Bb	45,25	Ba
41	251,32	Ab	103,31	Bb	64,03	Cb	56,82	Ca	39,69	Cb	34,25	Ca
42	112,76	Ac	24,20	Bd	17,52	Bc	11,23	Bb	8,26	Bd	11,15	Bc
43	282,15	Ab	165,73	Aa	50,08	Bc	44,80	Ba	55,55	Bb	25,72	Bb

Área Superficial (mm² cm⁻³)

Genótipo	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm						
1	1119,52	Aa	340,73	Bc	479,65	Bb	311,03	Bb	297,10	Bb	286,74	Bb
2	671,87	Ac	411,53	Bc	184,47	Cc	89,26	Cc	122,37	Cc	246,17	Cb
3	1342,31	Aa	1209,47	Aa	668,95	Ba	342,59	Cb	228,01	Cc	258,40	Cb
4	1761,73	Aa	994,44	Ba	524,58	Cb	380,70	Cb	293,16	Cb	289,08	Cb
5	1571,17	Aa	497,98	Ac	420,11	Bb	335,19	Bb	65,38	Cc	100,15	Cc
6	1518,57	Aa	382,24	Bc	326,79	Bc	334,58	Bb	317,67	Bb	218,98	Bb
7	985,56	Ab	305,62	Bd	373,46	Bb	276,44	Bb	196,48	Bc	197,99	Bc
8	852,72	Ab	441,67	Bc	307,49	Bc	427,98	Bb	618,60	Aa	505,74	Ba
9	1511,61	Aa	599,40	Bb	240,40	Cc	310,70	Cb	249,68	Cb	189,45	Cc
10	1138,91	Aa	519,54	Bc	212,45	Cc	141,90	Cc	257,78	Bb	165,41	Cc
11	981,87	Ab	410,42	Bc	316,26	Bc	175,54	Cc	186,52	Cc	155,21	Cc
12	1161,38	Aa	462,23	Bc	198,85	Cc	131,95	Cc	117,55	Cc	252,56	Cb
13	1436,98	Aa	702,89	Bb	478,14	Cb	404,17	Cb	197,90	Dc	153,64	Dc
14	1324,95	Aa	1279,19	Aa	953,64	Aa	948,18	Aa	661,81	Ba	541,55	Ba
15	1284,13	Aa	567,63	Bb	597,01	Ba	318,89	Cb	342,14	Cb	402,29	Ca
16	912,52	Ab	340,19	Bc	291,56	Bc	225,26	Bc	239,60	Bb	256,00	Bb
17	1355,46	Aa	853,76	Ba	274,34	Cc	171,25	Cc	137,15	Cc	186,58	Cc
18	1149,74	Aa	459,71	Bc	326,75	Bc	174,73	Cc	179,76	Cc	188,08	Cc
19	1344,29	Aa	949,55	Aa	559,85	Ba	300,47	Cb	247,82	Cc	274,31	Cb
20	596,36	Ac	255,65	Bd	134,17	Bc	321,61	Bb	193,16	Bc	311,98	Bb
21	1526,81	Aa	584,46	Bb	189,16	Cc	230,20	Cc	230,56	Cc	175,50	Cc
22	735,33	Ab	418,15	Bc	208,48	Cc	146,86	Cc	152,82	Cc	117,64	Cc
23	503,41	Ac	391,36	Ac	234,10	Bc	224,70	Bc	204,52	Bc	102,76	Bc
24	1418,18	Aa	671,54	Bb	415,63	Cb	191,43	Cc	233,44	Cb	249,29	Cb
25	1555,80	Aa	1054,59	Aa	713,45	Ba	355,22	Bb	481,37	Ba	463,25	Ba
26	1328,02	Aa	548,88	Bc	429,96	Bb	75,08	Cc	155,60	Cc	265,21	Bb
27	925,87	Ab	280,76	Bd	230,19	Bc	139,76	Bc	92,45	Cc	61,10	Cc
28	817,34	Ab	276,28	Bd	239,74	Bc	227,28	Bc	214,10	Bc	210,39	Bb
29	578,51	Ac	382,57	Ac	215,90	Bc	212,17	Bc	189,10	Bc	70,72	Cc
30	1384,86	Aa	641,57	Bb	567,97	Ba	305,39	Cb	349,21	Cb	250,36	Cb
31	542,14	Ac	144,26	Bd	213,46	Bc	238,77	Bb	180,93	Bc	374,49	Aa
32	1879,78	Aa	486,59	Bc	461,56	Bb	359,13	Bb	293,41	Cb	202,88	Cc
33	779,34	Ab	210,92	Bd	169,13	Bc	185,81	Bc	166,28	Bc	97,03	Bc
34	1136,64	Aa	328,50	Bc	243,13	Cc	279,35	Cb	220,12	Cc	254,56	Cb

35	1407,29	Aa	540,49	Bb	371,29	Bb	314,73	Bb	243,98	Bb	268,54	Bb
36	1060,10	Aa	622,37	Bb	329,52	Cc	306,99	Cb	218,98	Cc	298,66	Cb
37	1418,26	Aa	295,47	Bd	200,46	Bc	216,26	Bc	158,65	Bc	128,33	Bc
38	1589,96	Aa	720,32	Bb	285,75	Cc	285,86	Cb	264,60	Cb	320,76	Cb
39	1041,81	Ab	384,43	Bc	343,62	Bc	239,21	Bb	181,00	Bc	264,06	Bb
40	1606,03	Aa	962,71	Ba	631,57	Cc	397,19	Cb	378,15	Cb	352,45	Ca
41	1614,90	Aa	750,93	Bb	528,71	Cb	417,36	Cb	280,94	Cb	232,87	Cb
42	804,68	Ab	163,67	Bd	121,59	Bc	89,85	Bc	101,34	Bc	95,77	Bc
43	1694,49	Aa	787,90	Bb	392,30	Cb	308,25	Cb	328,07	Cb	177,76	Cc

Diâmetro (mm)

Genótipo	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
1	0.79 Aa	0.73 Ab	0.77 Aa	0.73 Aa	0.71 Aa	0.74 Aa
2	0.88 Aa	0.73 Ab	0.71 Ab	0.66 Aa	0.68 Aa	0.70 Aa
3	0.94 Aa	1.01 Aa	0.92 Aa	0.75 Ba	0.73 Ba	0.74 Ba
4	0.95 Aa	0.84 Aa	0.88 Aa	0.79 Aa	0.79 Aa	0.79 Aa
5	0.82 Aa	0.88 Aa	0.85 Aa	0.82 Aa	0.62 Ba	0.66 Ba
6	1.01 Aa	0.79 Bb	0.77 Ba	0.76 Ba	0.73 Ba	0.71 Ba
7	0.76 Aa	0.79 Ab	0.64 Ab	0.77 Aa	0.75 Aa	0.74 Aa
8	0.90 Aa	0.87 Aa	0.75 Ab	0.79 Aa	0.85 Aa	0.84 Aa
9	0.99 Aa	0.97 Aa	0.78 Ba	0.77 Ba	0.75 Ba	0.74 Ba
10	0.88 Aa	0.81 Ab	0.79 Aa	0.74 Aa	0.67 Aa	0.64 Aa
11	0.92 Aa	0.83 Aa	0.83 Aa	0.70 Ba	0.70 Ba	0.67 Ba
12	1.01 Aa	0.92 Aa	0.75 Bb	0.67 Ba	0.65 Ba	0.87 Aa
13	0.92 Aa	0.79 Ab	0.74 Ab	0.73 Aa	0.70 Aa	0.70 Aa
14	0.95 Aa	0.93 Aa	0.88 Aa	0.84 Aa	0.81 Aa	0.77 Aa
15	0.95 Aa	0.86 Aa	0.84 Aa	0.81 Aa	0.79 Aa	0.80 Aa
16	1.07 Aa	0.79 Bb	0.77 Ba	0.73 Ba	0.75 Ba	0.76 Ba
17	0.99 Aa	0.90 Aa	0.96 Aa	0.74 Ba	0.66 Ba	0.79 Ba
18	0.92 Aa	0.75 Bb	0.69 Bb	0.62 Ba	0.65 Ba	0.66 Ba
19	0.99 Aa	0.70 Bb	0.75 Bb	0.73 Ba	0.70 Ba	0.75 Ba
20	0.87 Aa	0.78 Ab	0.74 Ab	0.81 Aa	0.79 Aa	0.76 Aa
21	1.04 Aa	0.83 Ba	0.79 Ba	0.80 Ba	0.78 Ba	0.73 Ba
22	0.93 Aa	0.81 Ab	0.79 Aa	0.66 Ba	0.66 Ba	0.64 Ba
23	0.88 Aa	0.73 Bb	0.65 Bb	0.67 Ba	0.66 Ba	0.64 Ba
24	1.02 Aa	0.86 Ba	0.78 Ba	0.70 Ba	0.75 Ba	0.73 Ba
25	0.92 Aa	0.88 Aa	0.79 Aa	0.77 Aa	0.78 Aa	0.80 Aa
26	0.93 Aa	0.83 Aa	0.81 Aa	0.72 Aa	0.77 Aa	0.84 Aa
27	0.91 Aa	0.75 Ab	0.79 Aa	0.66 Ba	0.62 Ba	0.64 Ba
28	0.88 Aa	0.70 Bb	0.66 Bb	0.66 Ba	0.65 Ba	0.65 Ba
29	0.83 Aa	0.75 Ab	0.73 Ab	0.71 Aa	0.69 Aa	0.66 Aa
30	0.97 Aa	0.71 Bb	0.69 Bb	0.71 Ba	0.73 Ba	0.70 Ba
31	0.92 Aa	0.75 Ab	0.84 Aa	0.77 Aa	0.75 Aa	0.82 Aa
32	0.94 Aa	0.79 Bb	0.97 Aa	0.97 Aa	0.91 Aa	0.76 Ba

33	1.0	Aa	0.83	Ba	0.79	Ba	0.79	Ba	0.70	Ba	0.69	Ba
34	0.91	Aa	0.76	Ab	0.84	Aa	0.83	Aa	0.79	Aa	0.81	Aa
35	0.97	Aa	0.85	Aa	0.86	Aa	0.83	Aa	0.75	Aa	0.79	Aa
36	0.94	Aa	0.82	Aa	0.78	Aa	0.78	Aa	0.75	Aa	0.77	Aa
37	1.0	Aa	0.71	Bb	0.62	Bb	0.69	Ba	0.65	Ba	0.68	Ba
38	0.85	Aa	0.91	Aa	0.84	Aa	0.79	Aa	0.84	Aa	0.88	Aa
39	0.97	Aa	0.80	Bb	0.79	Ba	0.70	Ba	0.68	Ba	0.75	Ba
40	0.97	Aa	0.92	Aa	0.59	Bb	0.71	Ba	0.70	Ba	0.70	Ba
41	0.92	Aa	0.83	Aa	0.80	Aa	0.75	Aa	0.71	Aa	0.70	Aa
42	0.79	Aa	0.70	Ab	0.66	Ab	0.66	Aa	0.64	Aa	0.65	Aa
43	1.0	Aa	0.92	Aa	0.79	Ba	0.75	Ba	0.80	Ba	0.73	Ba

Letras diferentes minúsculas na vertical indica que os valores de média são estatisticamente diferentes de acordo com teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras diferentes maiúsculas na horizontal indica que os valores de média são estatisticamente diferentes de acordo com o teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em três das características morfológicas avaliadas comprimento, volume e área superficial, houve formação de quatro grupos de médias distintos. Na característica comprimento, os genótipos 32 e 4 foram os que apresentaram os maiores valores médios na profundidade de 0 a 10 cm, com 1411,17 e 1223,22mm de raízes, enquanto os genótipos 23 e 31 apresentaram os menores valores médios com 347,84 e 334,02mm, respectivamente. Já na profundidade de 50 a 60 cm os genótipos com maiores valores médios foram 14 e 8 com 419,35 e 320,27mm e os genótipos 5 e 27 apresentaram os menores valores médios, com 53,53 a 39,56mm. Características arquiteturas das raízes, como o comprimento, impactam positivamente a estrutura do solo, formando caminhos hidráulicos eficazes que conseqüentemente reduzem o escoamento (GOULD et al., 2016).

O genótipo 32 se destacou na característica volume, pois na profundidade de 0 a 10 cm ele apresentou 1105,00mm³, cerca de cinco vezes mais do que todos os outros materiais genéticos. Na mesma característica, porém na profundidade de 50 a 60 cm os genótipos 5 e 25 apresentaram os maiores valores com 74,71 e 70,19mm³ respectivamente.

Assim como na característica comprimento, na característica área superficial, os genótipos 32 e 4 se destacaram, por apresentar os maiores

valores médios na profundidade de 0 a 10 cm com 1879,78 m² e 1761,73mm², e os genótipos 23 e 31 apresentaram os menores valores, com 503,41 e 542,14mm². Na profundidade de 50 a 60 cm, novamente, os genótipos com mais e menos raízes foram os mesmos que ocorreram na característica comprimento.

Ao avaliar a média dos 43 genótipos em seis profundidades observou-se que as características comprimento e área superficial apresentaram maiores valores comparado aos resultados apresentados por Covre et al (2015), quando avaliaram clones do genótipo 02 da variedade Emcapa 8111 a 0,33 cm do tronco, e no sentido da linha de plantio. Como justificativa para essas diferenças tem-se que, neste trabalho o estudo do sistema radicular foi com diferentes genótipos, evidenciando que o perfil radicular de plantas cafeeiras pode variar de acordo com as diferenças genéticas.

A distribuição radicular do cafeeiro conilon se caracterizou por concentrar maior quantidade de raízes nas camadas de 0 a 20 cm para todas as características avaliadas (Tabela 4). Nessa profundidade estavam contidas cerca de 61,56% do comprimento, 61,57% do volume e 61,1% da área superficial. Nas demais camadas a conformação e distribuição radicular foram mais homogêneas.

. Esses resultados corroboram com o estudo realizado por Partelli et al. (2006) em que a porcentagem média de raízes foi de cerca de 60% nas camadas 0-10 e 10-20 cm e 25 a 50 cm de distância do tronco no sentido da linha de plantio. Isso ocorre em função de esta área compreender a região do bulbo molhado e por ser as camadas do solo com maior disponibilidade de nutrientes (Tabela 1) (SAKAI et al., 2015). Além de que os poros das camadas superficiais do solo apresentam conformação e distribuição que interferem positivamente no desenvolvimento radicular (SILVA et al., 2015).

O sistema radicular envolve uma série de complexidades, mas existem pesquisas sugerindo que raízes profundas são fundamentais para aliviar o estresse hídrico em muitas culturas (PIERRET et al., 2016). Segundo Ryan et al. (2016) a compreensão da estrutura e função das raízes, assim como as

interações com o solo podem revelar muito sobre a parte aérea das plantas e em plantas cafeeiras ajuda a garantir um manejo mais adequado para a cultura.

É importante ressaltar que com aumento da profundidade, aumenta-se a resistência para o desenvolvimento das raízes em detrimento da maior compactação do solo (VALENTE et al., 2019). Em função das condições ambientais favoráveis ao cultivo de cafeeiro conilon (relevo) e da redução de mão de obra nas lavouras, a inclusão de máquinas pesadas tem sido cada vez mais comum. Esta situação contribui para compactação do solo mesmo nas camadas superficiais e torna-se um fator de resistência para as raízes se desenvolverem (ANDRADE et al., 2018; SORIANI et al., 2018).

Outro fator que pode ser considerado de resistência para o desenvolvimento radicular neste estudo, é que a partir da profundidade 20 a 30 cm nota-se a presença de alumínio, responsável pela acidificação do solo (PAVAN & BINGHAM, 1982), o qual aumenta as concentrações, simultaneamente ao aumento da profundidade, além do decréscimo das concentrações de nutrientes (Tabela 1). Apesar de não ter sido mensurado sintomas de toxicidade e acidificação do solo nas raízes e nas plantas cafeeiras, sabe-se que tais condições limita a produtividade agrícola ao impedir que as culturas atinjam seu potencial de rendimento (RENA e GUIMARÃES, 2000).

Segundo Chen et al. (2010) cerca de 70 % dos solos em todo o mundo são ácidos e as raízes das plantas são as primeiras a apresentarem os sintomas de toxicidade por alumínio e posteriormente o processo fotossintético é inibido, pois essa substância pode prejudicar a cadeia de transporte de fotoassimilados na maioria das plantas. A adaptação melhorada de uma cultura a solos inférteis pode ser alcançada por duas abordagens gerais: o ambiente de crescimento pode ser alterado ou o genótipo da planta pode ser aprimorado (RAO et al., 2016). Diante da preocupação com as mudanças climáticas e degradação ambiental, o aprimoramento de genótipos a partir do melhoramento de plantas é a alternativa mais viável.

3.2 Diversidade genética

Em função de o perfil radicular do cafeeiro variar tanto devido aos fatores genéticos quanto aos ambientais, estimou-se os parâmetros genéticos desta população a fim de quantificar quais dos fatores influenciaram mais na variação fenotípica (Tabela 5).

Tabela 5: Estimativa dos parâmetros genéticos entre 43 genótipos de *C. canephora* cultivados em Nova Venécia, ES.

Variáveis	Parâmetros genéticos			
	CVe (%)	CVg (%)	IV	h ² (%)
Comprimento	15,74	12,1	0,76	80,86
Volume	18,48	12,3	0,67	81,41
Área Superficial	16,78	12,94	0,77	86,78
Diâmetro	16,14	5,65	0,35	79,05

Coeficiente de variação ambiental (CVe), Coeficiente de variação genético (CVg), Índice de variação (IV), Herdabilidade (h²); Comprimento (Comp), Volume (Vol), Área superficial (Ár. Sup), Diâmetro (Diâm).

Dentre os parâmetros genéticos avaliados, o coeficiente de variação ambiental (CVe) apresentou de 15,74 a 18,48%. Logo, a variação decorrente dos componentes ambientais foi considerada baixa. Tais resultados são positivos e indicam que as condições de solo para o desenvolvimento radicular dos diferentes genótipos não influenciaram em grandes variações, uma vez que o ambiente radicular apresenta uma série de complexidades e por se tratar de uma cultura perene (DUDLEY e MOLL, 1969; FERRÃO et al., 2008).

A presença de variabilidade genética foi confirmada pelo coeficiente de variação genético (CVg), o qual apresentou magnitude de 5,65 a 12,94%. Os coeficientes de variação genético acima de 7% são considerados altos por Sebbenn et al. (1998). Portanto, apenas para a característica diâmetro radicular o coeficiente de variação genético foi baixo, com 5,65%, devendo as demais características serem consideradas durante a seleção de genótipos superiores.

Os valores de índice de variação (IV) ficaram entre 0,35 a 0,77. O índice de variação representa a relação CVg/CVe (coeficiente de variação genético/

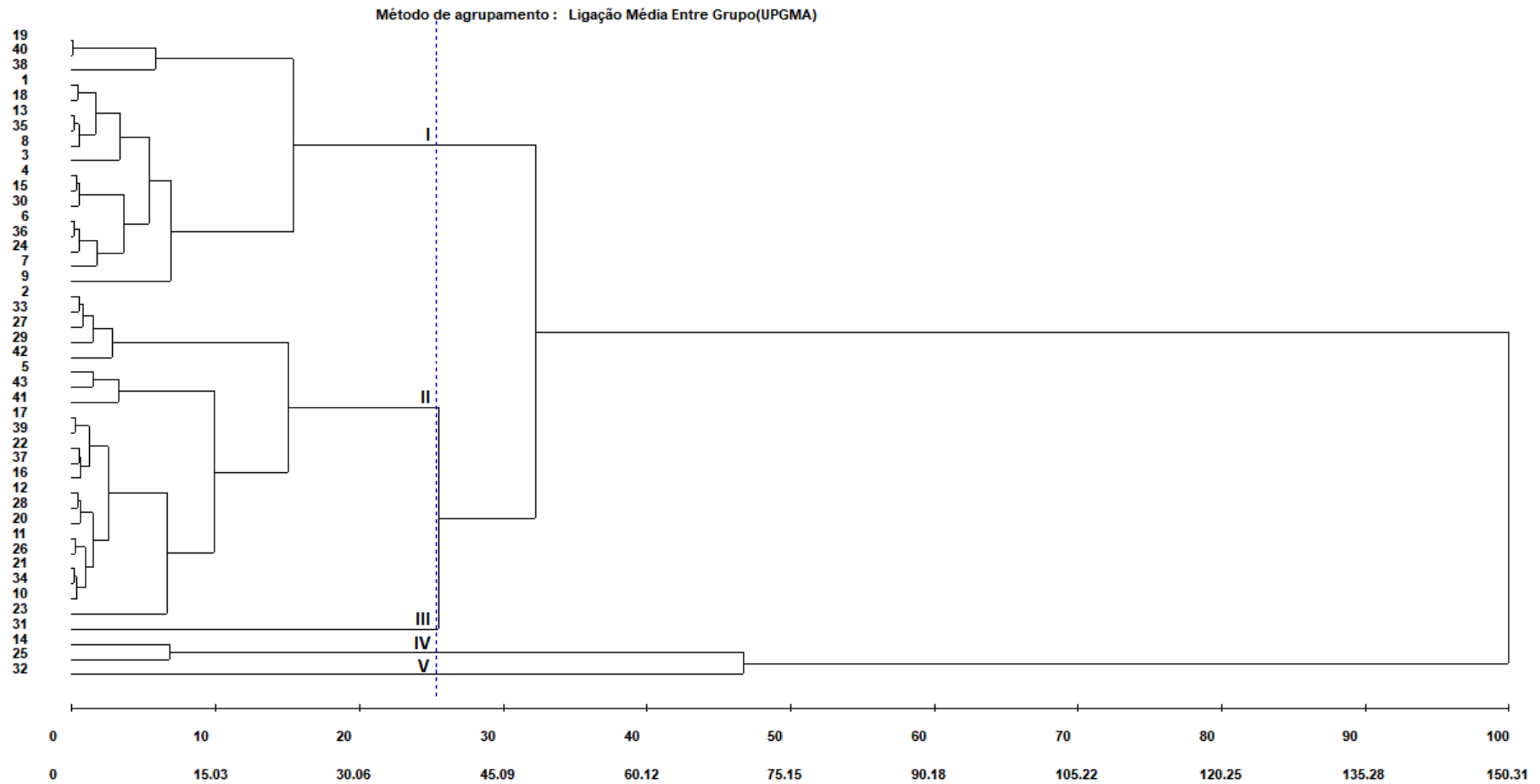
coeficiente de variação ambiental) o qual tem a função de verificar nas características, as variações de origem genética e ambiental (LEITE et al., 2016). Os índices de variação superiores a 1 significa predominância de fatores genéticos sobre os ambientais (RODRIGUES et al., 2012). Portanto os valores encontrados neste estudo, podem ser considerados úteis para o melhoramento pois na maioria das características ficaram próximos de 1. Em estudo de diversidade genética de *C. canephora* a partir de características anatômico-foliar, Giles et al. (2019), encontraram valores de índice de variação entre 0,59 a 1,34, e consideraram tais valores próximos ou adequados para a avaliação das causas de variação genética.

Os valores de coeficiente de herdabilidade (h^2) variaram de 79,05% a 86,78% sendo considerados satisfatórios, pois quanto mais próximo de 100% maiores serão as chances de ganho nos procedimentos de seleção. Segundo Estimativas elevadas de herdabilidade servem para verificar a confiabilidade da representatividade dos valores genotípicos na expressão do caráter de acordo com as características avaliadas (FERREIRA et al., 2005; FERRÃO et al., 2008). Dessa forma, valores elevados de herdabilidade dão aos melhoristas maior segurança em selecionar genótipos com base em dados fenotípicos (PEREIRA et al., 2013; SILVA et al., 2015) Portanto, o presente estudo mostrou-se promissor, uma vez que a variação fenotípica surge principalmente de origem genética.

Segundo Rogers e Benfey (2015) a arquitetura das raízes é influenciada por fatores ambientais e genéticos. Acredita-se que os fatores genéticos são determinados por certos genes, os quais atuam no controle das funções radiculares, de modo que grandes perdas em detrimento de condições ambientais extremas não ocorram.

O agrupamento pelo método Hierárquico UPGMA usando a distância de Mahalanobis como medida de dissimilaridade entre os genótipos, produziu um dendrograma que mostra a distância genética entre os genótipos (Figura 4). Conforme apresentado no dendrograma, os genótipos foram distribuídos em cinco grupos, sendo o corte para definição dos grupos realizado na distância de 25% de acordo com Mojema (Figura 4).

Figura 4: Dendrograma obtido pelo método UPGMA a partir da matriz de dissimilaridade entre 43 genótipos de *C. canephora*, com base em características radiculares.



Fonte: Autor (2019)

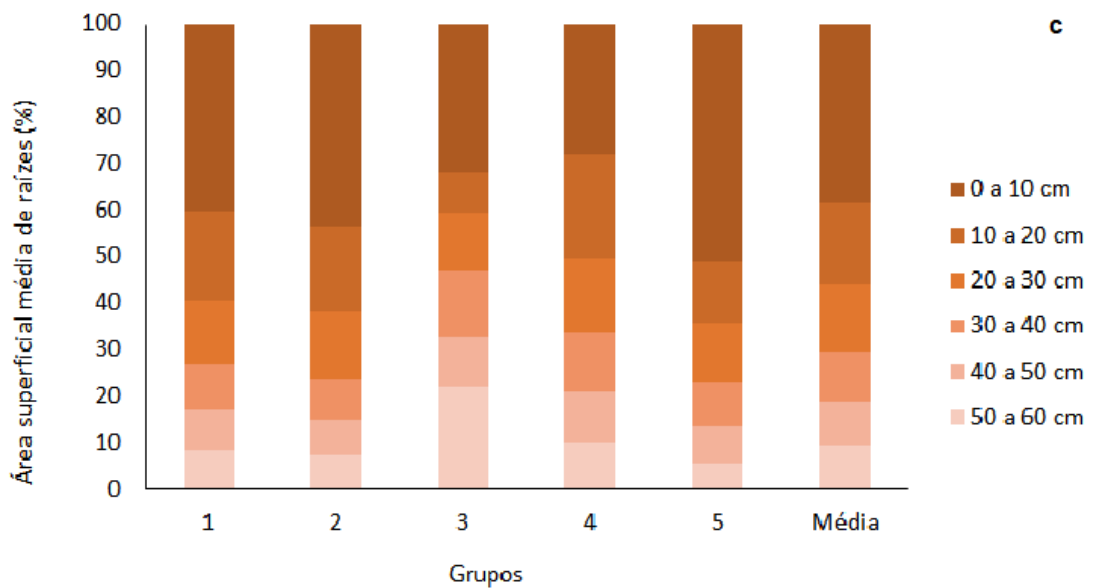
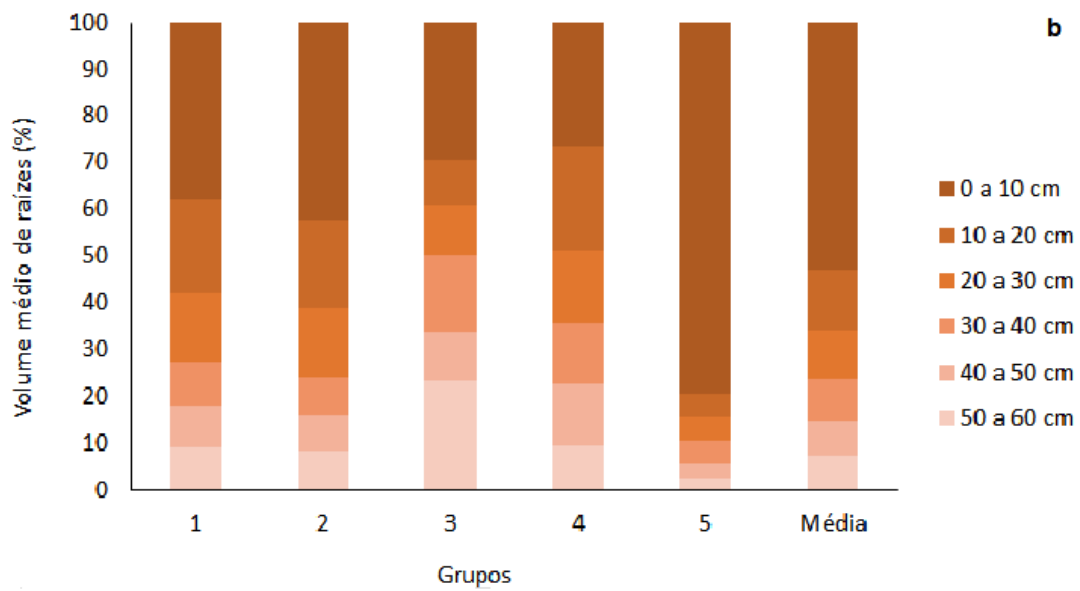
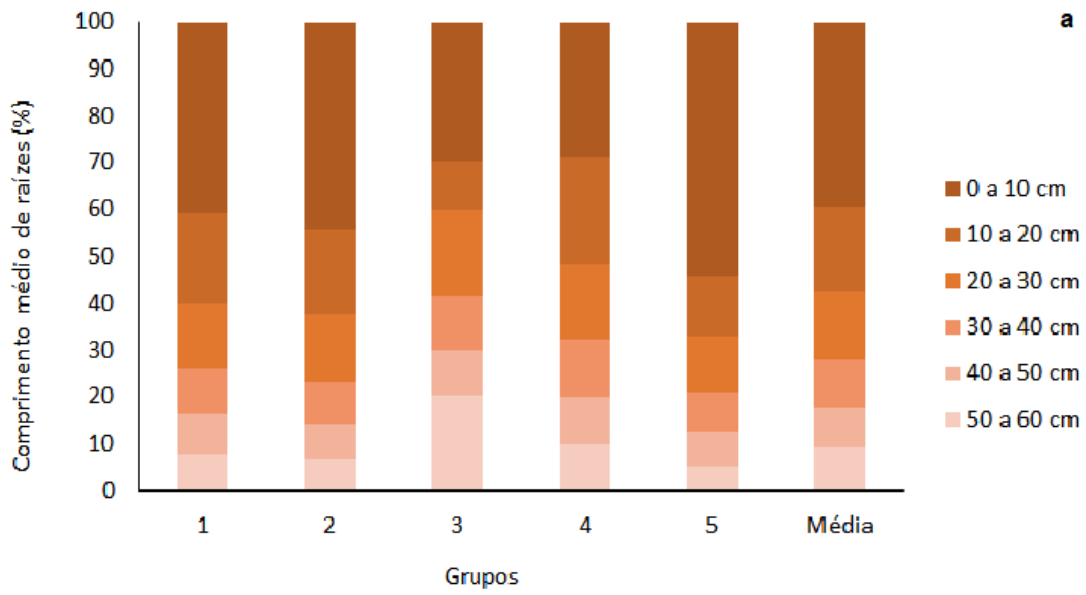
Para melhor compreensão das possíveis diferenças que levaram a formação dos grupos foi calculado os percentuais médios por grupo das características comprimento (mm cm^{-3}), área superficial, e volume ($\text{mm}^{-3} \text{ cm}^3$) (Figura 4). O grupo I foi composto pelos genótipos 19, 40, 38, 1, 18, 13, 35, 8, 3, 4, 15, 30, 6, 36, 24, 7, e 9. Este grupo se diferencia dos demais com 32,26% de confiabilidade, e os genótipos que o constituem apresentaram comprimento e área superficial mais próximos à média (Figura 5 – a e c). Foi também o grupo que alocou os genótipos 19 e 40, os quais apresentaram menor dissimilaridade.

O grupo II constituído pelos genótipos 2, 33, 27, 29, 42, 5, 43, 41, 17, 39, 22, 37, 16, 12, 28, 20, 11, 26, 21, 34, 10 e 23 e o grupo III constituído pelo genótipo 31 foram os que apresentaram os menores valores totais nas três características avaliadas. No entanto, ao comparar a distribuição das raízes nas profundidades, observou-se que o grupo III foi o que apresentou maior quantidade de raízes na camada de 50 a 60 cm com 20,35%, 23,28% e 22,11% do comprimento, volume e área superficial respectivamente.

Os grupos IV e V foram constituídos pelos genótipos com maior distribuição do sistema radicular nas seis camadas. Os genótipos alocados no grupo IV apresentaram distribuição radicular mais homogênea, enquanto o grupo V apresentou 54,0%, 79,55%, 51,03 % do comprimento, volume e área superficial respectivamente, na camada de 0 a 10 cm. Estes grupos diferem dos grupos I, II e III em 99,96% de confiabilidade.

Portanto é possível que os genótipos alocados nos grupos III e IV sejam os mais promissores quando submetidos ao déficit hídrico em função de apresentar distribuição radicular mais uniforme e conseqüentemente, mais raízes nas camadas mais profundas do solo. Além de apresentarem alto nível de dissimilaridade.

Figura 5: Percentuais médios por grupo das características comprimento (mm cm^{-3}) (a), volume ($\text{mm}^3 \text{ cm}^{-3}$) (b), e área superficial ($\text{mm}^2 \text{ cm}^3$) (c).



Fonte: Autor (2019).

É importante destacar que a distribuição do sistema radicular do genótipo propagado por sementes (39) foi diferente em relação a alguns genótipos de propagação clonal, no entanto semelhante a outros, sendo alocado no grupo com maior número de indivíduos (Grupo II). Partelli et al. (2014) encontrou resultados semelhantes, em que na ocasião de estudo, foi avaliado a distribuição radicular de plantas propagadas por sementes e estaquia, não havendo diferenças significativas na distribuição do sistema radicular em função do método de propagação.

A propagação vegetativa de *C. canephora* é umas das tecnologias de maior importância para a cafeicultura em função dos inúmeros benefícios desta prática (BRAGANÇA et al., 2001; ESPINDULA et al., 2018). Portanto, pressupõe-se, que a propagação vegetativa por estaquia do cafeeiro conilon não traz prejuízos ao desenvolvimento radicular destas plantas.

Segundo Hair et al. (2005) os procedimentos de agrupamento são divididos e hierárquicos e não-hierárquicos. Entretanto, o ideal é realizar a abordagem com ambos os procedimentos e assim garantir a obtenção de resultados mais refinados. Após a agrupamento pelo método hierárquico UPGMA foi então realizado o agrupamento de acordo com método de otimização de Tocher (Tabela 6), utilizando como medida de dissimilaridade genética a distância generalizada de Mahalanobis.

Este método permitiu a formação de oito grupos distintos. O elevado número de grupos demonstra a ampla variabilidade genética existente entre os genótipos, visto que, o método preconiza minimizar a distância intragrupo e maximizar a distância intergrupos. No grupo I formou-se um grande grupo abrangendo 19 genótipos do total, o grupo II foi composto por 10 genótipos, o grupo III correspondeu a três genótipos (35, 38 e 18), o grupo quatro foi composto por quatro genótipos e os demais grupos contaram com dois genótipos cada.

Tabela 6: Agrupamentos entre 43 genótipos de *C. canephora* pelo método de Tocher, considerando quatro características radiculares e seis profundidades.

Grupos	Genótipos
I	6, 36, 39, 21, 34, 26, 16, 17, 12, 20, 11, 10, 24, 7, 5, 37, 28, 2, 29
II	19, 40, 13, 1, 30, 3, 8, 41, 43, 15
III	35, 38, 18
IV	27, 33, 42, 22
V	14, 25
VI	9, 32
VII	23, 31
VIII	4

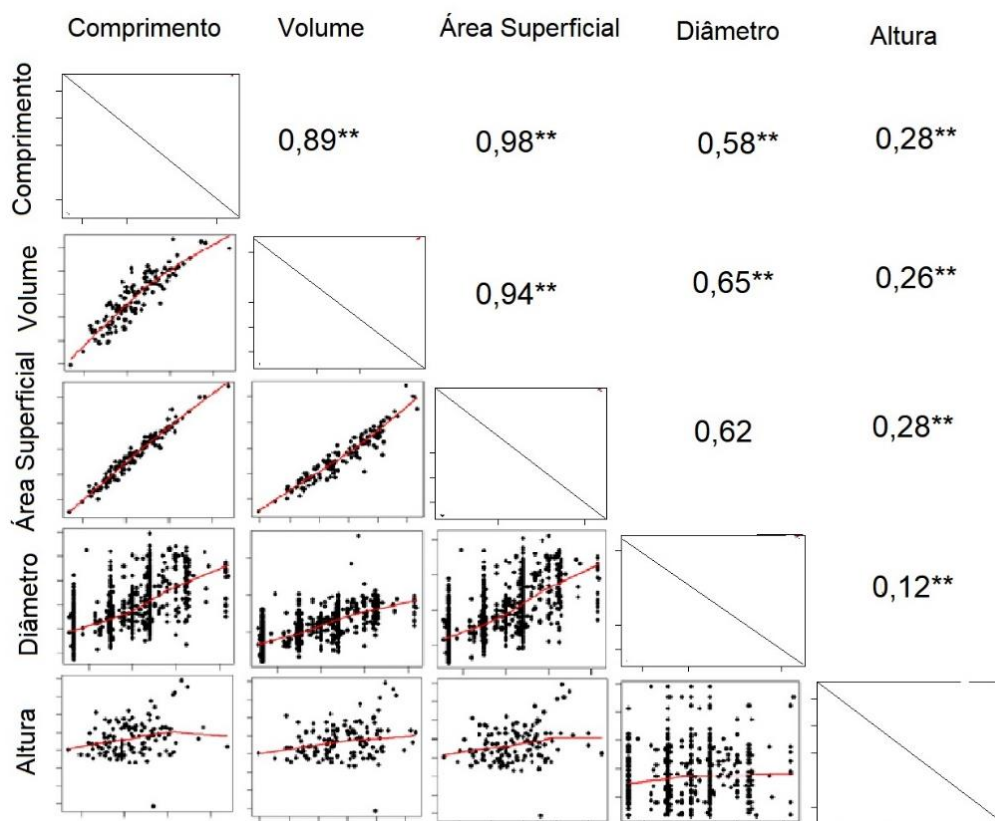
Para a espécie *C. canephora* o método de agrupamento Tocher foi empregado por Fonseca et al. (2006), quando avaliou 32 clones que compõem três variedades clonais, em que houve formação de três grupos, sendo que o primeiro se dividiu em dez subgrupos; por Giles et al. (2018) que avaliaram 30 genótipos promissores, os quais foram divididos em três grupos e por Silva et al. (2014) possibilitando identificar quais cruzamentos seriam mais promissores para obter maior variabilidade genética.

Pouco se sabe sobre a biologia que controla as funções das raízes, principalmente na ancoragem, armazenamento, aquisição de recursos e comunicação (RYAN et al., 2016). Ao avaliar a correlação entre área superficial, comprimento, volume e diâmetro do sistema radicular com altura das plantas cafeeiras (Figura 6), verificou-se que apesar de significativa, a correlação entre as características radiculares e altura de plantas é fraca (DANCEY e REIDY, 2005). Tais resultados significam que não é possível selecionar plantas com maior vigor de raízes com base simplesmente na altura das plantas.

Observa-se diferentes níveis de correlação positiva entre área superficial, comprimento, volume e diâmetro radicular (Figura 6). Segundo Ferreira et al. (2005) o fato de se trabalhar com caracteres morfológicos diretamente correlacionados facilita o trabalho do melhorista, de forma que a seleção dos genótipos mais promissores pode ser simplificada com base em um único caráter, sem a necessidade da utilização de índices de seleção como é o caso

de melhoramento para caracteres não correlacionados e ou inversamente correlacionados.

Figura 6: Correlação entre quatro características radiculares (comprimento, volume, área superficial e diâmetro) e altura de plantas de 43 genótipos de *C. canephora*. ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade



Fonte: Autor (2019)

A fim de conhecer quais foram as características que mais contribuíram para diversidade, realizou-se a análise de comparação relativa das características, de acordo com o método de Singh (1981). Verificou-se que a contribuição da área superficial, volume, comprimento e diâmetro foi de 62,7%, 30,0%, 4,6% e 2,6% respectivamente. Sugere-se então o descarte da característica diâmetro, uma vez que sua contribuição é baixa.

Dado o nível de correlação dos caracteres avaliados neste estudo, recomenda-se que para estudos mais específicos a respeito da diversidade genética entre essas variedades de café, sejam consideradas maiores

quantidades de caracteres, não só radiculares, mas também caracteres agronômicos mensurados na parte aérea da planta e capacidade produtiva.

Espera-se que os resultados obtidos neste trabalho possam contribuir trazendo melhorias para o cultivo de *C. canephora* no estado do Espírito Santo, assim como contribuir para o trabalho de melhoristas na busca por genótipos mais tolerantes as condições ambientais adversas.

4. CONCLUSÃO

1. O sistema radicular de *C. canephora* concentra-se nas camadas superficiais do solo (0 a 20 cm).
2. Os genótipos 14 ,25 e 31 se destacaram por apresentar mais de raízes nas camadas de 30 a 60 cm. Além de que a distribuição radicular nas diferentes camadas do solo não foi discrepante, quando comparado aos demais genótipos.
3. Houve diferença genética entre os 43 genótipos de *C. canephora* avaliados, e esta população demonstra potencial para fins de melhoramento.
4. O genótipo propagado por sementes (39) apresentou sistema radicular semelhante a alguns genótipos de propagação clonal via estaquia, no entanto, diferente de outros genótipos.
5. Existe correlação baixa entre as características radiculares e altura de plantas cafeeiras.
6. A característica área superficial se mostrou mais eficiente para explicar a diversidade entre os genótipos com base no sistema radicular.

5. REFERENCIAS

ANDRADE, A.D; FARIA, R. O; ALONSO, D. J. C; ARAÚJO, G; FERRAZ, S; HERRERA, M. A.D; SILVA, F.M. Spatial variability of soil penetration resistance in coffee growing. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 341 – 348, 2018.

ARAUJO, G; REIS, E. F; MORAES, W. B; GARCIA, G.O; NAZÁRIO, A. A. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. **Irriga**, v. 16, n. 2, 2011.

BARRETO, Carlos Vinícius Garcia et al. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 641-647, 2006.

BRAGANÇA, S.M; CARVALHO, C.H.S; FONSECA, A.F.A; FERRÃO, R.G. Variedades clonais de café conilon para o estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 765-770, 2001.

Box, G. E. P. & Cox, D. R. (1964) An analysis of transformations, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 26, 211-252.

CHEN, LI-S; Y-P QI; H-X JIANG, L-T YANG, G-H YANG. Photosynthesis and photoprotective systems of plants in response to aluminum toxicity. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 54, p. 9237-9247, 2010.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento Safra Brasileira de Café**, v. 5– Safra 2019, n. 2 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-61, maio, 2019.

CONAGIN, Cândida Helena; MENDES, A. J. T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*. Auto-incompatibilidade em *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Bragantia**, v. 20, n. 34, p. 787-804, 1961.

COVRE, A. M; PARTELLI, F. L; CONTIJO, I; ZUCOLOTO, M. Root system distribution of irrigated and nonirrigated Conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 11, p. 1006-1016, 2015.

COVRE, A. M; PARTELLI, F.L; BANOMO, R; TOMAZ, M.A; RAMAHO, J.C. Impactos da disponibilidade de água em macronutrientes em frutos e folhas de café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1025-1037, 2018.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.S.C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. v.2. 586p.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DANCEY, Christine ; REIDY, John. Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows. Porto Alegre, 2005.

DAVIS, Aaron P. et al. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 167, n. 4, p. 357-377, 2011.

- DAVIS, Aaron P; CHADBURN, H; MOAT, J; O'SULLIVAN, R; HARGREAVES, S; LUGHADHA, E.N. High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. **Science advances**, v. 5, n. 1, p. eaav3473, 2019.
- DUDLEY, J. W.; MOLL, R. H. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. **Crop science**, v. 9, n. 3, p. 257-262, 1969.
- ESPINDULA, M. C; BALBINO, T.J; TEIXEIRA, A.L; DIAS, J. R. M, TEIXEIRA, R. G.P. Different volumes of tubes for clonal propagation of *Coffea canephora*. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 33 - 40, 2018.
- FERRÃO, R. G; CRUZ, C. D; FERREIRA, A; CECON, P. R; FERRÃO, M. A. G; FONSECA, A. F. A; CARNEIRO, P. C. S, SILVA, M.F. Genetic parameters in Conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 61-69, 2008.
- FERREIRA, A; CECON, P.R; CRUZ, C. D; FERRÃO, R. G; SILVA, M. F.; FONSECA, A. F. A; FERRÃO, M. A. G. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1189-1195, 2005
- FITTER, Alastair. Characteristics and functions of root systems. In: **Plant roots**. CRC Press, p. 49-78, 2002.
- FONSECA, A. F. A; SEDIYAMA, T; CRUZ, C.D; SAKAIYAMA, N.S; FERRÃO, M.A.G; FERRÃO, R.G; BRAGANÇA, S.M. Genetic divergence in conilon coffee. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 599-605, 2006.
- GILES, J.A.D; PARTELLI, F.L; FERREIRA, A; RODRIGUES, J.P; OLIOSI, G; SILVA, F. H.L.E. Genetic diversity of promising 'conilon' coffee clones based on morpho-agronomic variables. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 2437-2446, 2018.
- GILES, J. A. D; FERREIRA, A. D; PARTELLI, F.L; AOYAMA, E.M; RAMALHO, J. C; FERREIRA, A; FALQUETO, A. R. Divergence and genetic parameters between *Coffea* sp. genotypes based in foliar morpho-anatomical traits. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 231-236, 2019.
- GOULD, I. J; QUINTON., J. N; WELGELT, A; DEYN, G.B; BARDGETT, R. D. Plant diversity and root traits benefit physical properties key to soil function in grasslands. **Ecology letters**, v. 19, n. 9, p. 1140-1149, 2016.
- GUIMARÃES, Pedro. A nação do café também é a nação do café solúvel. **Agro Analysis**, v. 35, n. 12, p. 40-41, 2015. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/viewFile/62203/60345>. Acesso em: set de 2019.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (ICO). Disponível em: http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics. Acesso em: jul de 2019.
- ISAAC, M. E; MARTINS, A.R; VIRGÍNIO FILHO, E.M; RAPIDEL, B; ROUPSARD, O; MEERSCHKE, K. V. Intraspecific trait variation and coordination: root and leaf economics spectra in coffee across environmental gradients. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 1196, 2017.

- IVOGLO, M. G; FAZUOLI, L. C; OLIVEIRA, B; CARLOS, A; BOLLER GALLO, P; MISTRO, J. C; SILVAROLA, M.B; BRAGHINI, T.M. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 823-831, 2008.
- LANDE, Russell; SHANNON, Susan. The role of genetic variation in adaptation and population persistence in a changing environment. **Evolution**, v. 50, n. 1, p. 434-437, 1996.
- LEITE, W. S; PAVAN, B. E; MATOS FILHO, C.H.A; NETO, F.A; OLIVEIRA, C.B; FEITOSA, F.S. Estimativa de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção para seis caracteres agrônômicos em linhagens F8 de soja. **Comunicata Scientiae**, v.7, n. 3, p. 302-310, 2016.
- MARTINS, M. Q; PARTELLI, F. L; GOLYNSKID, A; PIMENTEL, N.S; FERREIRA, A; BERNARDES, C.O; RIBEIRO-BARROS, A.I; RAMALHO, J.C. Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 238-242, 2019.
- MISTRO, J. C. RESENDE, M. D.V; FAZUOLI, L. C; VENCOSKY, R. Effective population size and genetic gain expected in a population of *Coffea canephora*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 1, p. 1-7, 2019.
- MOTTA, A. C. V; NICK, J. A; YORINORI, G.T; SERRAT, B.M. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 453-462, 2006.
- MUVUNYI, B. P; SALLAH, P.Y.K; DUSENGEMUNGU, L; ZHANG, J. Assessment of Genetic Diversity of Coffee Accessions in Rwanda and Its Implication for Coffee Breeding. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, n. 10, p. 2461, 2017.
- PARTELLI, F. L; VIEIRA, H. D; SANTIAGO, A.R; BARROSO, D.G Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café 'Conilon' propagadas por sementes e por estacas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 949-954, 2006.
- PARTELLI, F. L; COVRE, A. C; OLIVEIRA, M.G; ALEXANDRE, R. S; VITÓRIA, E.L; SILVA, M.B. Root system distribution and yield of Conilon coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 5, p. 349-355, 2014.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxicity of Aluminum to Coffee Seedlings Grown in Nutrient Solution 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 46, n. 5, p. 993-997, 1982.
- PEREIRA, T.B; CARVALHO, J.P.F; BOTELHO, C. E; RESENDE, M.D.V; REZENDE, J.C; MENDES, A.N.G. Eficiência da seleção de progênies de café F4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). **Bragantia**, v. 72, n. 3, p.230-236, 2013.

- PEZZOPANE, J. R. M; CASTRO, F. S; PEZZOPANE, J. E; BONOMO, R; SARAIVA, G. S. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010.
- PIERRET, A; MAEGHT, J.L; MONTOROI, J.P; HARTMANN, C; GONKHAMDDE, S. Understanding deep roots and their functions in ecosystems: an advocacy for more unconventional research. **Annals of botany**, v. 118, n. 4, p. 621-635, 2016.
- RAMALHO, A.R; ROCHA, R.B; SOUZA, F.F; VENEZIANO, W; TEIXEIRA, A.L. Progresso genético da produtividade de café beneficiado com a seleção de clones de cafeeiro 'Conilon'. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 516-523, 2016.
- RAMOS, L. C. S; LIMA, M. M. A; CARVALHO, A. Crescimento do sistema radicular e da parte aérea em plantas jovens de cafeeiros. **Bragantia** 1982.
- RAO, Idupulapati M. et al. Root adaptations to soils with low fertility and aluminium toxicity. **Annals of Botany**, v. 118, n. 4, p. 593-605, 2016.
- RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: Epamig, 2000. 80p
- RODRIGUES, W.N; TOMAZ, M.A; FERRÃO, R.G; FERRÃO, M.A.G; FONSECA, A.F.A; MIRANDA, F.D. Estimativa de parâmetros genéticos de grupos de clones de café conilon. **Coffee Science**, v. 7, n. 2, p. 177-186, 2012.
- ROGERS, E. D.; BENFEY, P. N. Regulation of plant root system architecture: implications for crop advancement. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 32, p. 93-98, 2015.
- RONCHI, C. P; SOUZA JUNIOR., J.M; ALMEIDA, W.L; SOUZA, D.S; SILVA, N.O; OLIVEIRA, L.B; GERRA, A.M. N.N, FERREIRA, P.A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.3, p.187-195, 2015.
- RYAN. R. P. DELHAIZE, E; WATT, M; RICHARDSON, A. E. Plant roots: understanding structure and function in an ocean of complexity. **Annals of Botany**, p. 555–559, 2016.
- SEBBENN, A.M.; SIQUEIRA, A.C.M.F.; KAGEYAMA, P.Y.; MACHADO, J.A.R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva – *Myroxylon peruiferum* L.F. Allemão. *Scientia Forestalis*, v. 53, p. 31-38, 1998.
- SAKAI, E; BARBOSA, E. A. A; SILVEIRA, J. M.C; PIRES, R. C. M. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. **Agricultural water management**, v. 148, p. 16-23, 2015.
- SANTOS, Humberto Gonçalves dos. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. **Revista e Ampliada**, 5ª ed. Embrapa. Brasília, 2018.

- SILVA, V. A. ANTUNES, V. C; GUIMARÃES, B. L. S; PAIVA, R. M. C; SILVA, V. F; FERRÃO, M. A. G; DAMATTA, F.M; EHLERS, L. M. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.5, p.457-464, 2010.
- SILVA, F.L; BAFFA, D.C.F; REZENDE, J.C; OLIVEIRA, A.C.B; PEREIRA, A.A; CRUZ, C.D. Variabilidade genética entre genótipos de café robusta no estado de Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 10, n. 1, p. 20 - 27, 2015.
- SILVA, E. A; SILVA, S. H. G; OLIVEIRA, G. C; CARDUCCI, C. E. Root spatial distribution in coffee plants of different ages under conservation management system. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 49, p. 4970-4978, 2016.
- SORIANI, R; SANTOS, E.D; LEITE, C.AM; BARBOSA, C. A.C; SILVA, M.C.M; COLOMBO, M.C; CHAGAS, T.L.K; AMARAL, H.F. Eficiência dos penetrômetros de impacto e eletrônico na detecção de compactação do solo. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 34, n. esp., p. 202-211, 2018.
- STARLING, L.C.T; MARTINS, L.D; RODRIGUES, W.N; REINICKE, T.M; COLODETTI, T.V; AMARAL, J.F.T; PARTELLI, F.L; TOMAZ, M.A; ESPINDULA, M.C. Genetic diversity in nutritional parameters in response to drought of *Coffea canephora* cultivated in Rondonia state, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 2, 2019.
- VALENTE, G. F; SILVA, V. F. A; SILVA, J.N; PINTO, D. R. S.; GALVÃO, J. R. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 140-145, 2019.
- WONGSA, P; KHAMPA, N. HORADEE, S; CHAIWARITH, J; RATTANAPANON, N. Quality and bioactive compounds of blends of Arabica and Robusta spray-dried coffee. **Food chemistry**, v. 283, p. 579-587, 2019.