



TIAGO TERUEL REZENDE

**CLONAGEM DE *Coffea arabica* L. POR
ENRAIZAMENTO DE SEGMENTOS DE RAMOS
ORTOTRÓPICOS**

LAVRAS - MG

2016

TIAGO TERUEL REZENDE

**CLONAGEM DE *Coffea arabica* L. POR ENRAIZAMENTO DE
SEGMENTOS DE RAMOS ORTOTRÓPICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Samuel Pereira de Carvalho
Orientador

Prof. Dr. Júlio Silvio de Souza Bueno Filho
Coorientador

**LAVRAS - MG
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Rezende, Tiago Teruel.

Clonagem de *Coffea arabica* L. por enraizamento de segmentos de ramos ortotrópicos / Tiago Teruel Rezende. – Lavras : UFLA, 2016.

102 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Samuel Pereira de Carvalho.

Bibliografia.

1. Miniestaca. 2. Propagação vegetativa. 3. Correlações. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

TIAGO TERUEL REZENDE

**CLONAGEM DE *Coffea arabica* L. POR ENRAIZAMENTO DE
SEGMENTOS DE RAMOS ORTOTRÓPICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 20 de abril de 2016.

Prof. Dr. Carlos Henrique Siqueira de Carvalho	EMBRAPA CAFÉ
Profª. Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho	EMBRAPA CAFÉ
Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes	UFLA
Prof. Dr. Rubens José Guimarães	UFLA

Prof. Dr. Samuel Pereira de Carvalho
Orientador

**LAVRAS - MG
2016**

Aos meus pais, *João Pereira de Rezende Neto* e *Maria Eliza Teruel Rezende*, por serem os responsáveis pela realização deste sonho, por terem repassado seus princípios, valores e terem sempre participado das minhas realizações, a eles para quem devo tudo o que sou. E aos meus irmãos José Augusto, João Paulo e minha sobrinha Cecília,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A *Deus*, pela oportunidade de estar concluindo esta etapa, a qual era, há alguns anos atrás, apenas um sonho, e hoje está se tornando realidade.

À Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Consórcio Pesquisa Café pelo apoio financeiro aos projetos de pesquisa dos quais resultou o presente trabalho.

Ao professor Samuel, pelo exemplo, paciência, confiança, prontidão e dedicação na orientação da minha formação acadêmica e de pesquisa, desde a graduação, transmitindo conhecimentos e incentivando a busca por novas competências.

Ao professor Júlio Bueno, pelas sugestões, conhecimentos transmitidos que foram muito importantes para as realizações das pesquisas, e que muito contribuiu para a minha formação acadêmica.

Aos professores Rubens, Virgílio e Nazareno e ao Zé Maurício, pela amizade e experiências compartilhadas.

Ao companheiro Marcos Roberto Dutra pela amizade, pelas oportunidades que muito contribuíram para a minha experiência profissional.

Aos companheiros do NECAF, GHPD e NEMEC pela convivência harmoniosa, pela ajuda na condução dos trabalhos e pelas confraternizações.

Aos amigos Dalysse Castanheira, Leonardo Oliveira, Ricardo Nascimento, Giovani Belutti, Thales Lenzi, Ademilson de Oliveira, Pedro Cintra, pela amizade, companheirismo e ajuda na concretização deste sonho, aos quais lembrarei por toda minha vida.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Os métodos que permitem a clonagem de cafeeiro podem ser bastante úteis em programas de melhoramento genético e até mesmo para a produção comercial de mudas. Devido à necessidade de se obter informações que podem levar a uma otimização do processo de obtenção de mudas clonais de *Coffea arabica* L. por enraizamento de segmentos caulinares, objetivou-se com este trabalho avaliar o emprego da técnica de miniestaquia na formação de mudas clonais de *C. arabica*, quantificar a associação entre os caracteres da parte aérea e os do sistema radicular, assim como suas relações de causa e efeito, a fim de se obter informações que podem ser úteis na definição de procedimentos que possibilitem a obtenção de mudas clonais com boas características. As miniestacas das porções semiapical, intermediárias e semibasal dos ramos ortotrópicos, proporcionaram um melhor crescimento de mudas clonais. Os resultados indicaram ainda, a existência de dependência entre os caracteres do sistema radicular com os da parte aérea, em mudas clonais obtidas tanto por estacas, quanto por miniestacas, sendo que, altos valores de peso de folhas secas, altura e números de folhas estão associados a altos valores do peso das raízes secas, área e volume das raízes. As práticas culturais de manejo que evitam a queda de folhas e que propiciam um ambiente adequado para o crescimento do sistema radicular devem ser adotadas, a fim de produzir mudas clonais de cafeeiros com boas características.

Palavras-chave: Miniestaca. Propagação vegetativa. Correlações. Sistema radicular. Parte aérea.

ABSTRACT

Methods that allow cloning of coffee plants can be useful in breeding programs and for the commercial production of seedlings. Due to the need for information that leads to the optimization of the process for obtaining clonal seedlings of *Coffea arabica* L. by rooting stem segments, the objective of this work was to evaluate the employment of mini-cutting in the formation of clonal seedlings of *C. arabica*, quantify the association between the characters of the shoot and of the root system, as well as its relations of cause and effect, in order to obtain information that may be useful for defining the procedures that allow the obtaining of clonal seedlings with good characteristics. The mini-cuttings of the semi-apical, intermediate and semi-basal portions of the orthotropic branches provided better growth to the clonal seedlings. The results indicated a dependency of the characters of the root system with those of the shoot, for clones obtained from either cutting or mini-cutting, considering that high values of dry leaf weight, plant height and number of leaves are associated with high values of dry root weight and area and volume of the roots. Culture managing practices that avoid and provide an adequate environment for the growth of the root system must be adopted to produce coffee clonal seedlings with good characteristics.

Keywords: Mini-cutting. Vegetative propagation. Correlations. Root system. shoot.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	9
1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Aspectos gerais da cultura	11
2.2 Importância da cafeicultura	13
2.3 Melhoramento genético do cafeeiro	15
2.4 Propagação do cafeeiro por meio de estacas	17
2.5 Propagação vegetativa por meio de miniestacas	20
REFERÊNCIAS	23
SEGUNDA PARTE - ARTIGO.....	29
ARTIGO 1 - PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DO CAFEIRO POR MINIESTACAS.....	29
ARTIGO 2 - RELAÇÕES ENTRE OS CARACTERES DA PARTE AÉREA E DO SISTEMA RADICULAR EM MUDAS CLONAIS DE CAFEIROS OBTIDAS POR ESTACAS E MINIESTACAS.....	49
ARTIGO 3 - RELAÇÕES ENTRE OS CARACTERES DA PARTE AÉREA E DAS RAÍZES COM O PESO DO SISTEMA RADICULAR DE MUDAS CLONAIS DE CAFEIROS	73

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Diante dos atuais desafios da cafeicultura frente às mudanças climáticas e exigências dos consumidores por produtos de melhor qualidade e sustentabilidade, novos esforços são exigidos dos programas de melhoramento genético do cafeeiro (CARVALHO, 2008). Neste cenário, é necessária a utilização de novas tecnologias integradas ao melhoramento genético, de modo a proporcionar em um menor tempo a obtenção de cultivares que tenham maior potencial produtivo, com características que satisfaçam as necessidades dos produtores e consumidores.

A introdução de métodos biotecnológicos, como a clonagem de plantas por estaquia, nos programas de melhoramento genético do cafeeiro pode ser útil e favorecer o desenvolvimento de novas cultivares em um período de tempo menor, pois permite a seleção e a multiplicação de plantas em qualquer etapa de um programa de melhoramento, o que representaria um marco no melhoramento genético do cafeeiro no Brasil, da mesma forma que a clonagem transformou a forma de condução dos programas de melhoramento de outras espécies.

Em híbridos do gênero *Eucalyptus*, o aprimoramento no enraizamento de segmentos caulinares tem sido obtido, especialmente, com o desenvolvimento das técnicas da microestaquia e da miniestaquia (ASSIS; ROSA; GONÇALVES, 1992; DUTRA; WENDLING; BRONDANI, 2009; XAVIER; COMÉRIO, 1996), possibilitando consideráveis ganhos decorrentes, principalmente, do aumento dos índices de enraizamento e da redução do tempo para formação da muda.

Para que a clonagem de híbridos ou plantas superiores de *Coffea arabica* L. seja utilizada, confiável e viável, é necessário que a mesma seja capaz de possibilitar a produção, em larga escala, de mudas de alta qualidade, como as

produzidas por sementes, já que a formação de mudas de qualidade é importante para a formação da lavoura (GUIMARÃES, 1995; MELO, 1999; SILVA; CARVALHO; ROMANIELLO, 2000), pois o uso de mudas de má qualidade causam desenvolvimento irregular do cafezal, atraso no início da fase produtiva e redução do rendimento da cultura (GUIMARÃES et al., 1989).

Devido à necessidade de se obter informações que levem a uma otimização do processo de obtenção de mudas clonais de alta qualidade de *Coffea arabica*, objetivou-se com este trabalho avaliar a viabilidade técnica do uso de miniestacas na produção de mudas clonais e estudar as relações entre os caracteres da parte aérea e do sistema radicular de mudas obtidas por enraizamento de estacas e miniestacas, visando obter informações que possam permitir o estabelecimento de procedimentos que melhorem a eficiência do processo e a qualidade das mudas clonais.

Os dados resumidos referentes aos dois experimentos que serviram para a elaboração deste trabalho encontram-se no Anexo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais da cultura

Dentro do gênero *Coffea* existem duas espécies comercialmente importantes: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre. Essas duas espécies produzem os cafés tipo arábica e tipo robusta, respectivamente. *C. arabica* foi descrito pela primeira vez por Lineu em 1753. Suas variedades mais conhecidas são Typica (*C. arabica* var. typica) e Bourbon (*C. arabica* var. bourbon), mas a partir dessas desenvolveram-se muitas cultivares, como Caturra (Brasil, Colômbia), Mundo Novo (Brasil), Tico (América Central), dentre outras. Cerca de 70% dos plantios comerciais mundiais são do tipo arábica, principalmente, pela qualidade de sua bebida (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2004).

A espécie *Coffea arabica* é nativa das regiões montanhosas da Etiópia, mais especificamente dos vales do rio Atbarah, próximas ao lago Tana e ao longo do rio Nilo Azul, e também na região de Kaffa, localizadas nas latitudes de 8° a 12° N e longitudes de 40° a 42° E, essa última é considerada seu centro de origem e diversidade genética. Nessa região, *C. arabica* tem uma aparência de arbusto que cresce e se desenvolve sob sombreamento, em *habitat* de floresta tropical em altitude de 1.000 a 2.500 m e precipitação que varia entre 1.200 a 2.000 mm com uma estação seca de dois a quatro meses (CHEVALIER, 1946). Plantas dessa espécie crescem e desenvolvem bem em ambientes nos quais a temperatura média anual situa-se entre 18° a 21 °C. Segundo Camargo (1985) o cafeeiro quando cultivado em ambientes com uma temperatura média anual inferior a 17 - 18 °C tem seu crescimento prejudicado. Quando cultivado em ambientes com temperaturas médias superiores a 23 °C as plantas têm um desenvolvimento e amadurecimento dos frutos acelerados, podendo esse fato levar a uma perda de qualidade dos grãos, e ainda, se durante o período de

florescimento ocorrer períodos prolongados de estiagem, pode acarretar no abortamento das flores (CAMARGO, 1985).

A espécie *C. arabica* é tetraploide, autógama, tendo cerca de 10 a 12% de fecundação cruzada. Apresenta uma raiz pivotante profunda e raízes secundárias ramificadas. A planta apresenta um caule único denominado ortotrópico. Esse caule emite ramos plagiotrópicos que tendem a crescer horizontalmente, e constituem os ramos produtivos, e também pode emitir ramos ortotrópicos que crescem em direção perpendicular à superfície do solo. Nos ramos plagiotrópicos, as folhas surgem aos pares e opostas (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2004).

Plantas da espécie *Coffea canephora* são autoincompatíveis e conseqüentemente alógamas. A alogamia torna as plantas heterozigóticas e gera variabilidade genética dentro da população, e conseqüentemente, uma lavoura formada por mudas obtidas por sementes apresenta grande heterogeneidade entre as plantas, pois as sementes, obtidas para a formação das mudas, não reproduzem necessariamente as características da planta-matriz (BRAGANÇA et al., 2001).

Atualmente, a espécie *C. arabica* distribui-se amplamente em regiões de altitudes mais elevadas e temperaturas mais amenas, entre 18° e 21 °C, no continente americano e em algumas regiões da África. No Brasil, o Centro-sul é a principal região cafeeira do país. Os estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Paraná somam mais de 95% da produção nacional de café. Minas Gerais participa de forma importante nesse cenário, destacando-se como maior produtor, com 68% da produção nacional na safra 2014/2015 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016).

2.2 Importância da cafeicultura

A importância do café na economia mundial data do início do Século XIX, estando presente nas pautas de exportação e importação de um grande número de países, constituindo-se como principal fonte de divisas de inúmeras nações produtoras (CALDEIRA, 2006). Durante o Século XVIII, a economia brasileira se baseava na mineração, sendo a cana-de-açúcar e o algodão os produtos agrícolas de maior importância para o mercado externo. Devido à perda de competitividade desses produtos, com a produção de açúcar de beterraba e a produção de algodão norte-americana, o Brasil encontrou na cultura do café uma forma de expandir seu comércio internacional. Mas foi após a independência do Brasil que se iniciou a era do café, e em 1845 o país já colhia 45% da produção mundial, sendo o produto de maior importância na exportação brasileira, chegando a ser responsável por 80% das receitas cambiais (ORMOND; PAULA; FAVERET FILHO, 1999).

A partir de meados do Século XIX, a cafeicultura foi responsável por grande parte da riqueza do país durante um longo período. Sua influência não foi apenas na economia do país, mas também no aspecto social e político. Os fatos mais importantes ocorridos no país desenvolveram-se em função do agronegócio café (CALDEIRA, 2006; ORMOND; PAULA; FAVERET FILHO, 1999).

Em virtude da importância do setor cafeeiro na economia, várias instituições foram criadas no país a fim de gerar conhecimentos sobre o cafeeiro que permitissem melhorar as condições de cultivo e maximizar a produtividade, tais como o Instituto Brasileiro do Café (IBC), criado em 1952 e extinto em 1990, e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), fundado em 1887 para assistir tecnicamente o desenvolvimento da cafeicultura nacional (SANCHES JÚNIOR, 2012).

O Instituto Brasileiro do Café foi criado com o objetivo de definir a política para o setor e controlar e coordenar a estratégia do sistema desde a

produção até a comercialização interna e externa, papel esse ocupado antes pelo Departamento Nacional do Café, extinto em 1946. Além dessas atribuições, o IBC era responsável pela assistência técnica e econômica aos cafeicultores, conduzia estudos e pesquisas que favoreciam o cultivo do café no país, desempenhando um papel importante para que o agronegócio café fosse competitivo (ORMOND; PAULA; FAVERET FILHO, 1999).

O Instituto Agrônômico de Campinas, desde a sua fundação, vem contribuindo para o desenvolvimento da cafeicultura nacional, principalmente no âmbito do melhoramento genético. Desde o início da década de 1930, a Seção de Genética do IAC vem desenvolvendo um vasto programa de genética e melhoramento do cafeeiro, tendo realizado quase todos os estudos de genética de café e lançado as mais importantes cultivares plantadas nas várias regiões cafeeiras do Brasil e mesmo de outros países (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2004).

Desde a década de 1970, outras instituições de ensino e pesquisa, tais como a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT-Café), Universidade Federal de Lavras (UFLA) dentre outras, veem atuando no desenvolvimento de pesquisas que contribuem para tornar cada vez mais competitivo o setor cafeeiro, com o desenvolvimento de novas técnicas de manejo, controle cultural e também no desenvolvimento de novas cultivares.

Com a criação do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - CBP&D/Café (Consórcio Pesquisa Café), em 1997, foi possível uma maior conjugação dos recursos humanos, físicos, financeiros e materiais das diversas instituições que trabalham em pesquisas relacionadas ao café, permitindo assim, a criação de um modelo dinâmico e colaborativo de pesquisa, que tem proporcionado um avanço do conhecimento em diversas áreas

temáticas, direcionadas aos principais problemas e desafios da cafeicultura atual, tais como a mão de obra, biotecnologia, condições climáticas adversas e sustentabilidade.

2.3 Melhoramento genético do cafeeiro

Os programas de melhoramento genético do cafeeiro conduzidos no Brasil têm proporcionado expressivas mudanças na história da cafeicultura e contribuído, efetivamente, para os avanços da atividade no Brasil e em muitas outras regiões produtoras de todo o mundo. Estes avanços têm gerado conhecimentos básicos, fundamentais à constante evolução da ciência, além da disponibilização de novas cultivares para o uso imediato pelos cafeicultores (CARVALHO, 2008).

Do período de 1727, ano em que ocorreu a introdução de uma variedade de *Coffea arabica* no Brasil, até a década de 1930, o processo de melhoramento genético do cafeeiro foi feito de forma meramente empírica, na qual os próprios cafeicultores selecionavam plantas com características superiores e as multiplicavam para formar novas lavouras. Foi apenas a partir de 1932 que, no Brasil, o melhoramento genético do cafeeiro passou a ser realizado com base científica (MENDES et al., 1996).

Nessa segunda etapa do melhoramento do cafeeiro no Brasil, os objetivos foram direcionados primordialmente ao desenvolvimento de cultivares com alta produção, vigor, longevidade e com ampla adaptação para serem cultivadas em extensas regiões com diferentes condições edafoclimáticas. Desse modo, o processo de seleção favorecia os genótipos que tinham uma baixa interação com o ambiente. Devido a isso, esse período foi caracterizado pela obtenção de poucas cultivares, mas com ampla adaptação às diferentes regiões cafeeiras (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

Com a entrada e a disseminação da ferrugem alaranjada (*Hemileia vastatrix*) no Brasil, por volta da década de 1970, os objetivos dos programas de melhoramento mudaram e foi dada uma ênfase na obtenção de cultivares com resistência a essa doença. Também foram intensificadas as seleções de progênes com porte reduzido. No final dos anos 1970 e durante a década de 1980, ênfase adicional foi dada também aos estudos de resistência aos Nematóides e ao bicho-mineiro, devido ao aumento dos prejuízos causados nas lavouras cafeeiras. Os estudos sobre a qualidade da bebida também foram intensificados nessa época (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

A partir da década de 1990 os programas de melhoramento começaram a explorar melhor a interação dos genótipos com os ambientes, possibilitando o lançamento de maior número de cultivares, mais produtivas, porém com uma adaptação mais restrita a uma determinada região, ao contrário do que ocorreu nas primeiras fases dos programas de melhoramento (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

Atualmente as cultivares brasileiras são altamente produtivas e, levando em consideração a baixa dissimilaridade entre os principais materiais que são utilizados atualmente nos cruzamentos, a possibilidade de ganhos efetivos em produtividade de grãos é bastante reduzida dentro dos programas de melhoramento (FAZUOLI et al., 2002). Além disso, a espécie *Coffea arabica* possui um longo período juvenil e acentuada oscilação anual de produção, sendo necessários vários anos para avaliar a capacidade produtiva e a longevidade para proceder a seleção (SERA, 2001). Por isso é importante a adoção de técnicas que possibilitem reduzir o tempo gasto para obtenção de novas cultivares.

Devido ao longo tempo gasto na obtenção de uma nova cultivar e à possibilidade da exploração do vigor híbrido, os estudos para o estabelecimento de uma metodologia para a clonagem em escala comercial de híbridos ou plantas superiores teve seu início há vários anos (INFORZATO, 1950; VILANOVA,

1959). Por meio da clonagem, é possível manter a constituição genética e assim permitir a exploração de possível heterose, e também a multiplicação de genótipos elites ainda em segregação, com características superiores, que dificilmente seriam reunidas em uma cultivar propagada sexuadamente (CARVALHO et al., 2011).

Na literatura, foram encontrados relatos de estudos nos quais foram observados valores de heterose em *C. arabica* variando de 10 a 50%. Híbridos oriundos do cruzamento de cultivares da América Central com cultivares de origem do Sudão e da Etiópia apresentaram superioridade nas características avaliadas em torno de 11 a 47% (BERTRAND et al., 2005).

Recentemente, devido ao desempenho satisfatório de alguns híbridos oriundos do cruzamento entre as cultivares Icatu x Catimor, Icatu x Catuaí e Catuaí x Híbrido de Timor, houve o interesse na propagação vegetativa desse material, visando explorar a heterose (JESUS et al., 2010).

A consolidação da produção de mudas clonais de plantas de *C. arabica* torna-se importante uma vez que se tem a possibilidade de reproduzir plantas híbridas com características superiores às das cultivares comerciais.

2.4 Propagação do cafeeiro por meio de estacas

A produção de mudas por via assexuada da espécie *Coffea canephora* tem sido praticada em grande escala, pois proporciona algumas vantagens em relação à produção por sementes, como por exemplo, garante a transmissão das características desejáveis da planta mãe, eleva o nível de produtividade da lavoura, uniformiza as plantas e a maturação (PAULINO; MATIELLO; PAULINI, 1985). Segundo Fonseca (2007), as variedades melhoradas de *C. canephora* obtidas pelos programas de melhoramento desta espécie, têm constituído a base da renovação das lavouras no Espírito Santo. Os autores consideram ainda, que as tecnologias de propagação vegetativa, que possibilitam

a reprodução fiel das características destas variedades melhoradas, são as principais responsáveis pelo aumento da produtividade da espécie *C. canephora*.

Na espécie *Coffea arabica*, a produção comercial de mudas é realizada via sementes. Por ser uma espécie autógama, com aproximadamente 10% de alogamia (CARVALHO; FAZUOLI, 1993), as novas cultivares desta espécie são obtidas nos programas de melhoramento genético após seleções e hibridações seguidas de sucessivos ciclos de autofecundação e seleção de genótipos com características superiores. A partir do momento em que não houver mais segregação destes materiais nas gerações seguintes, ou seja, a partir da obtenção de linhas puras, estas são avaliadas em diversos locais por vários ciclos produtivos, com o propósito de verificar a estabilidade, longevidade e produtividade, e então, uma nova cultivar poderá ser obtida. Este ciclo pode durar até 30 anos, o que demanda recursos e dedicação por parte dos pesquisadores.

Por outro lado, a propagação vegetativa da espécie *C. arabica* pelo método da estaquia tem sido estudada desde a década de 1950, quando Inforzato (1950) estudou o emprego de reguladores de crescimento no enraizamento de estacas. Desde então, vários estudos foram feitos com o objetivo de potencializar a produção de mudas por enraizamento de estacas (BALIZA et al., 2010; BERGO; MENDES, 2000; CARVALHO; KRUG; MENDES, 1950; JESUS, 2003; OLIVEIRA et al., 2010; PEREIRA et al., 2002; REZENDE et al., 2010; VILANOVA, 1959). O interesse na produção de mudas por estaquia para a espécie *C. arabica* tem-se tornado crescente devido à possibilidade de produzir mudas clonais a partir de plantas híbridas oriundas dos programas de melhoramento genético, com características superiores às das cultivares comerciais.

De modo geral, o tipo de estaca caular adequado para o enraizamento depende de cada cultivar e até mesmo da posição dos ramos na planta. Há ainda

uma variação no desempenho do enraizamento de estacas oriundas de diferentes posições no ramo vegetativo (FACHINELLO; HOFFMANN; NACHTIGAL, 2005). Em alguns estudos envolvendo a propagação de *C. arabica*, estacas semilenhosas, provenientes da porção mediana dos ramos, proporcionaram melhores resultados no processo de enraizamento (REZENDE et al., 2010; VILANOVA, 1959).

Em viveiros comerciais de produção de mudas da espécie *C. canephora*, são comumente utilizadas estacas com cinco centímetros de comprimento (FONSECA, 2007). Para *C. arabica*, tem-se obtido resultados positivos com estacas de seis a dez centímetros de comprimento (BALIZA et al., 2010; BERGO; MENDES, 2000; JESUS, 2003; PEREIRA, 2000). O tamanho da estaca pode contribuir para o sucesso do processo de enraizamento devido a vários fatores, dentre os quais, destacam-se a quantidade de nutrientes, o acúmulo de carboidratos e as reservas que serão utilizadas pela estaca desde o início do processo de enraizamento até o momento em que será capaz de produzir seu próprio fotoassimilado (FACHINELLO; HOFFMANN; NACHTIGAL, 2005).

As mudas clonais de *C. arabica* precisam ser produzidas em ambiente com umidade relativa alta, acima de 85%, para que não ocorra a desidratação dos tecidos foliares e a queda das folhas remanescentes que são fontes importantes de nutrientes e carboidratos para a formação inicial do sistema radicular (JESUS, 2003; SOUZA JÚNIOR et al., 2008). O baixo conteúdo de carboidratos disponíveis nas folhas e nas estacas pode ser um fator limitante durante o processo de enraizamento, sendo que o seu fornecimento pode contribuir para um melhor enraizamento, por constituir fonte de energia necessária para a divisão celular e emissão das raízes adventícias (CHALFUN et al., 1992; PIO et al., 2008).

Um dos entraves à produção em escala comercial de mudas clonais, por enraizamento de segmentos caulinares, é a pequena quantidade de ramos ortotrópicos produzidos pela planta matriz, sendo a produção de ramos ortotrópicos variável entre plantas de cafeeiros. Bueno et al. (2015) observaram em clones de *Coffea arabica* uma produção de ramos ortotrópicos muito variável. Alguns clones produziram quatro ramos, enquanto outros produziram até 24 ramos aos seis meses, após uma poda de esqueletamento. Já o número de segmentos nodais em cada ramo ortotrópico não apresentou muita variação, em média cada ramo produziu de quatro a cinco segmentos nodais. Devido ao baixo rendimento na produção de brotos, a produção de mudas clonais em escala comercial necessita de uma área grande de cultivo de plantas matrizes para a produção de segmentos nodais, o que interfere diretamente no custo do processo. Uma alternativa que pode servir para contornar esse entrave é a utilização de minijardins clonais, que são muito utilizados na produção de mudas clonais de eucalipto (TITON, 2001; WENDLING; XAVIER, 2003; XAVIER; COMÉRIO; IANNELLI, 1997).

2.5 Propagação vegetativa por meio de miniestacas

O desenvolvimento do processo de clonagem de espécies e híbridos do gênero *Eucalyptus*, por meio do enraizamento de estacas, foi o marco inicial para a propagação vegetativa assumir uma posição de destaque e despertar o interesse das empresas e pesquisadores (WENDLING et al., 2000).

Na produção de mudas clonais de eucalipto, o aprimoramento na obtenção de mudas de qualidade tem sido conseguido, especialmente, com o desenvolvimento das técnicas da microestaquia (ASSIS; ROSA; GONÇALVES, 1992; XAVIER; COMÉRIO, 1996) e da miniestaquia (WENDLING et al., 2000; XAVIER; COMÉRIO; IANNELLI, 1997), que possibilitaram consideráveis ganhos decorrentes, principalmente, do aumento dos índices de

enraizamento e da redução do tempo para formação da muda. Dentre as principais vantagens dessa inovação, destacam-se o menor envolvimento de mão de obra (ASSIS, 1996); redução em investimentos em casa de vegetação, em razão da maior rapidez de enraizamento; eliminação do jardim clonal de campo, disponibilizando a área para plantios comerciais (XAVIER; COMÉRIO, 1996) e controle mais efetivo de pragas e doenças.

A técnica da miniestaquia constitui-se na utilização de brotações de plantas propagadas pelo método de estaquia convencional como fontes de propágulos vegetativos. Dessa forma, a parte basal da brotação da estaca constitui-se em uma minicepa, que fornecerá as brotações (miniesticas) para formação das futuras mudas (WENDLING; XAVIER, 2003). De modo geral, esta técnica apresenta maior sensibilidade às condições ambientais quando comparada com a da estaquia convencional, principalmente pelo fato de se trabalhar com material vegetativo mais tenro e manejado de forma intensiva (WENDLING; XAVIER, 2003). Entretanto, materiais de difícil enraizamento de estacas, apresentam alto índice de enraizamento quando se utiliza miniesticas (WENDLING; XAVIER, 2003).

Para que a miniestaquia tenha viabilidade e seja utilizada comercialmente, a produção de miniesticas nos minijardins clonais tem que ser satisfatória. Alguns trabalhos em *Coffea arabica* estudaram a emissão de ramos ortotrópicos em plantas jovens submetidas a inúmeros tratamentos com reguladores de crescimento (ARNEY; MITCHELL, 1969; CARVALHO et al., 2007; CAVALCANTI FILHO et al., 2015; STEMMER; VAN ADRICHEM; ROORDA, 1982). Carvalho et al. (2007) estudaram o efeito dos reguladores de crescimento TIBA, BAP e cinetina na produção de brotos ortotrópicos em plantas de *C. arabica* de um ano de idade e observaram um aumento do número de brotos ortotrópicos formados por planta e do comprimento médio com a aplicação de TIBA nas concentrações de 200, 400 e 800 mg L⁻¹.

A utilização da técnica de miniestacas em *C. arabica* é uma técnica promissora para viabilizar a produção de mudas clonais em escala comercial. Cavalcanti Filho et al. (2015) avaliaram o fornecimento de reguladores de crescimento na emissão de ramos ortotrópicos em plantas jovens de cafeeiros e também no enraizamento das miniestacas confeccionadas a partir dos ramos ortotrópicos produzidos nas plantas jovens. Esses autores observaram que o fornecimento de TIBA proporcionou um aumento de 312,5% no número de ramos ortotrópicos comparado ao tratamento controle, que não recebeu nenhum regulador de crescimento. Com relação ao enraizamento das miniestacas, os autores observaram que o desempenho do enraizamento foi influenciado pelo regulador de crescimento fornecido à minicepa, sendo observados valores entre 12,5 de 37,5% para o índice de enraizamento aos 25 dias após o início do processo de enraizamento das miniestacas.

REFERÊNCIAS

- ARNEY, S. E.; MITCHELL, D. L. The effect of abscisic acid on stem elongation and correlative inhibition. **New Phytologist**, Cambridge, v. 68, n. 4, p. 1001-1015, Oct. 1969.
- ASSIS, T. F. Melhoria genética do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 32–51, mar./abr. 1996.
- ASSIS, T. F.; ROSA, O. P.; GONÇALVES, S. I. Propagação por microestaquia. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992. p. 824-836.
- BALIZA, D. P. et al. Growth of stem cuttings of coffee cultivars in different environments. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 22, n. 2, p. 112–117, abr./jun. 2010.
- BERGO, C. L.; MENDES, A. N. G. Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por meio de enraizamento de estacas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 392–398, mar./abr. 2000.
- BERTRAND, B. et al. *Coffea arabica* hybrid performance for yield, fertility and bean weight. **Euphytica**, Dordrecht, v. 141, n. 3, p. 255–262, jan. 2005.
- BRAGANÇA, S. M. et al. Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 765–770, maio 2001.
- BUENO, I. F. et al. Avaliação da produção de ramos ortotrópicos em genótipos de cafeeiro catucaí amarelo e siriema clonados in vitro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9., 2015, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa Café, 2015. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/3597>>. Acesso em: 25 abr. 2016.
- CALDEIRA, L. **A guerra do café**. Varginha: Editora Alba, 2006. 120 p.
- CAMARGO, A. P. de. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13–26, jun. 1985.
- CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Café. In: FURLANI, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). **O melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 29–76.

CARVALHO, A.; KRUG, C. A.; MENDES, J. E. T. O dimorfismo dos ramos em *Coffea arabica* L. **Bragantia**, Campinas, v. 10, n. 6, p. 151–159, jun. 1950.

CARVALHO, C. de et al. Características agronômicas e morfológicas de caféiro 'Catuaí Vermelho' propagado por embriogênese somática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 378–383, abr. 2011.

CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. 334 p.

CARVALHO, C. H. S. de et al. Efeito de reguladores de crescimento sobre a produção de brotos ortotrópicos axilares em mudas de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Embrapa Café, 2007. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/905686>>. Acesso em: 23 abr. 2016.

CAVALCANTI FILHO, P. F. M. et al. Efeito de reguladores de crescimento na brotação e enraizamento de miniestacas de *Coffea arabica* L. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9., 2015, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa Café, 2015. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/4143>>. Acesso em: 23 abr. 2016.

CHALFUN, N. N. J. et al. Uso do ácido indolbutírico e da sacarose no enraizamento de estacas caulinares de porta-enxertos de videira "RR 101-14". **Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 389–393, jul./set. 1992.

CHEVALIER, A. Ecologie et distribution géographique des Caféiers sauvages et cultivés. **Revue Internationale de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale**, Paris, v. 26, n. 281, p. 81–94, Mar./Apr. 1946.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café: safra 2016: primeiro levantamento**. Brasília: CONAB, 2016. 68 p.

DUTRA, L. F.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. A Micropropagação de Eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 29, n. 58, p. 49-59, 2009.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. **Propagação de plantas frutíferas**. Pelotas: Embrapa, 2005. 221 p.

FAZUOLI, L. C. et al. Melhoramento do Cafeeiro: variedades tipo arábica obtidas no Instituto Agronômico de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: Editora da UFV, 2002. p. 163–216.

FONSECA, A. F. A. Jardins clonais, produção de sementes e mudas. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2007. p. 229–252.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Produção de mudas de café: coeficientes técnicos da fase de viveiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 5–10, jul. 1989.

GUIMARÃES, R. J. **Formação de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.):** efeitos de reguladores de crescimento e remoção do pergaminho na germinação de sementes e do uso de n e k em cobertura, no desenvolvimento de mudas. 1995. 67 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. **Cafeicultura**. Lavras: Editora da UFLA, 2004. 317 p.

INFORZATO, R. O emprego de hormônios no enraizamento de estacas de cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 10, n. 12, p. 385–387, dez. 1950.

JESUS, A. M. S. et al. Observações anatômicas em plantas de *Coffea arabica* L. obtidas por enraizamento de estacas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 175–180, mar./abr. 2010.

JESUS, A. M. S. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2003. 173 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. Desenvolvimento de novas cultivares de café arábica. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 334-400.

MELO, B. **Estudos sobre produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes**. 1999. 119 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

MENDES, A. N. G. et al. Métodos de avaliação de progênies de *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 315–322, jul./set. 1996.

OLIVEIRA, D. H. et al. Influência do comprimento de estacas e ambientes no crescimento de mudas cafeeiras obtidas por enraizamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 183–189, maio/ago. 2010.

ORMOND, J. G. P.; PAULA, S. R. L. de; FAVERET FILHO, P. de S. C. Café: (re) conquista dos mercados. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 10, p. 3–55, 1999.

PAULINO, A. J.; MATIELLO, J. B.; PAULINI, A. E. **Produção de mudas de café conilon por estacas**. Rio de Janeiro: MIC, 1985. 12 p.

PEREIRA, A. B. **Enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L.** 2000. 75 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

PEREIRA, A. B. et al. Enraizamento de estacas de *coffea arabica* L. em diferentes substratos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 741–748, jul. 2002.

PIO, R. et al. Enraizamento de estacas apicais de figueira e desenvolvimento inicial das plantas no campo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 147–152, mar. 2008.

REZENDE, T. T. et al. Types of stem cuttings and environments on the growth of coffee stem shoots. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 5, p. 387–391, set./out. 2010.

SANCHES JÚNIOR, J. de L. The development of science and technology policy in the First Republic (1889-1930): an analysis from the institutes paulistas research and federal. **Cadernos de História da Ciência**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 107–124, jun. 2012.

SERA, T. Coffee genetic breeding at IAPAR. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 179–190, jun. 2001.

SILVA, E. M.; CARVALHO, G. R.; ROMANIELLO, M. M. **Mudas de cafeeiros: tecnologias de produção**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 56 p.

SOUZA JÚNIOR, J. O. de et al. Chemical characteristics of leachate from phosphorus-fertilized substrates during rooting of cocoa tree cuttings. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1573–1581, ago. 2008.

STEMMER, W. P. C.; VAN ADRICHEM, J. C. J.; ROORDA, F. A. Inducing orthotropic shoots in coffee with the morphactin chlorflurenolmethylester. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 18, n. 1, p. 29-35, jan. 1982.

TITON, M. **Propagação clonal de eucalyptus grandis por miniestaquia e microestaquia**. 2001. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

VILANOVA, M. T. Propagación vegetativa del cafeto. **Café Salvador**, El Salvador, v. 29, n. 336-337, p. 669–681, Nov./Dec. 1959.

WENDLING, I. et al. Efeito do regulador de crescimento AIB na propagação de clones de Eucalyptus spp. por miniestaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 187–192, mar./abr. 2000.

WENDLING, I.; XAVIER, A. Miniestaquia seriada no rejuvenescimento de clones de Eucalyptus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 4, p. 475–480, abr. 2003.

XAVIER, A.; COMÉRIO, J. Microestaquia: uma maximização da micropropagação de Eucalyptus. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 9–16, jan./fev. 1996.

XAVIER, A.; COMÉRIO, J.; IANNELLI, C. Eficiência da estaquia, da microestaquia e da micropropagação na clonagem de Eucalyptus spp. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*, 2., 1997, Salvador. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA, 1997. p. 40-45.

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

**ARTIGO 1 - PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DO CAFEIEIRO POR
MINIESTACAS**

(VERSÃO PRELIMINAR)

Artigo submetido à Revista Coffee Science

Coffee tree cloning by mini-cuttings

RESUMO: A introdução de métodos que permitem a clonagem do cafeeiro pode ser útil em programas de melhoramento genético e até mesmo para a produção comercial de mudas. Entre os métodos de propagação vegetativa, a estaquia tem possibilitado a clonagem do cafeeiro. No entanto, um dos entraves para a produção em escala comercial é a quantidade reduzida de ramos ortotrópicos produzidos pela planta matriz. Uma alternativa seria a utilização de miniestaquia, a qual é amplamente usada na produção de mudas de eucalipto. Objetivou-se com este trabalho estudar o emprego da técnica de miniestaquia na formação de mudas clonais de *Coffea arabica* L. em diferentes volumes de tubetes. Foram avaliados cinco tipos de miniestacas oriundas de diferentes porções do ramo ortotrópico (apical, semiapical, intermediária, semibasal e basal) e dois volumes de tubete (50 e 120 cm³). O experimento foi composto por dez tratamentos em esquema fatorial 5 x 2, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Foram observadas diferenças apenas entre os tipos de miniestacas oriundas das diferentes porções dos ramos ortotrópicos. As miniestacas das porções semiapical, intermediárias e semibasal dos ramos ortotrópicos, promovem um melhor crescimento das mudas clonais de cafeeiros, independente do volume do tubete utilizado.

Termos para indexação: Clonagem, enraizamento, *Coffea arabica*.

VEGETATIVE PROPAGATION OF COFFEE BY MINI-CUTTING

ABSTRACT

The introduction of methods that allow the cloning of coffee plants can be useful in breeding programs and for the commercial production of seedlings. Among the methods for vegetative propagation, cutting has allowed the cloning of coffee plants. However, one of the obstacles for scale commercial production is the reduced amount of orthotropic branches produced by the matrix plant. An alternative would be the use of mini-cutting, widely used in the production of eucalyptus seedlings. With this work, we aimed at studying the employment of the mini-cutting technique for the formation of clonal seedlings of *Coffea arabica* L. in tubes of different volumes. We evaluated five types of mini-cuttings performed on different portions of the orthotropic branch (apical, semi-apical, intermediate, semi-basal and basal) and two volumes of tubes (50 and 120 cm³). The experiment was comprised of 10 treatments in a 5x2 factorial scheme, in a completely randomized design, with four replicates. We verified differences only between the types of mini-cuttings. The mini-cuttings performed on the semi-apical, intermediate and semi-basal portions of the orthotropic branches provided better growth for the clonal seedlings, regardless of the volume of the tube used.

Keywords: Cloning, rooting, *Coffea arabica*.

1 INTRODUÇÃO

A produção de mudas sadias e vigorosas é o primeiro passo para a formação de uma lavoura cafeeira produtiva. Em *Coffea arabica* L., por se tratar de planta autógama, a formação de novas lavouras depende basicamente de mudas oriundas de sementes, pois a variabilidade entre os descendentes em gerações avançadas é pequena, e também devido à baixa viabilidade do uso de multiplicação vegetativa sem tratamentos adequados (BERGO; MENDES, 2000). No entanto, com a possibilidade de aproveitamento de possível vigor híbrido para produtividade nessa espécie, observa-se um aumento no interesse pela propagação vegetativa de híbridos F₁, em escala comercial.

Sabe-se que híbridos podem ser mais produtivos que os pais quando estes se complementam bem genotipicamente (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006). Pode-se ainda introduzir, nesses híbridos, caracteres de interesse, como resistências a doenças e pragas, porte baixo ou uniformidade de maturação dos frutos (JESUS, 2003), em condição heterozigótica, e garantir, por meio da clonagem, que os respectivos fenótipos se expressem nos descendentes. Assim, a clonagem de híbridos F₁ de *C. arabica*, via enraizamento de segmentos nodais, pode representar uma revolução no cultivo do cafeeiro nos próximos anos. Contudo, algumas particularidades da técnica de enraizamento ainda não foram estudadas, principalmente quando relacionadas à otimização do processo para a produção em escala comercial.

Um dos entraves para a produção em escala comercial de mudas clonais, por enraizamento de segmentos nodais, é a baixa quantidade de ramos ortotrópicos produzidos pela planta matriz, pois a produção de ramos ortotrópicos é variável entre plantas de cafeeiros. Bueno et al. (2015) observaram em clones de *C. arabica* uma produção de ramos ortotrópicos muito variável, sendo que alguns clones produziram quatro ramos, enquanto outros produziram até 24 ramos ortotrópicos aos seis meses após uma poda de

esqueletamento. Já o número de segmentos nodais em cada ramo ortotrópico não apresentou muita variação, ou seja, em média cada ramo produziu de quatro a cinco segmentos nodais. Devido ao baixo rendimento na produção de brotos, a produção de mudas clonais em escala comercial requer uma área grande de cultivo de plantas matrizes para a produção de segmentos nodais, o que interfere diretamente no custo do processo.

Em outras espécies em que a técnica de clonagem se tornou importante, tal como na clonagem de espécies e híbridos do gênero *Eucalyptus*, o aprimoramento no enraizamento de segmentos nodais tem sido conseguido, especialmente, com o desenvolvimento das técnicas da microestaquia e miniestaquia (GOULART; XAVIER; CARDOSO, 2008; DUTRA; WENDLING; BRONDANI, 2010; XAVIER; SILVA; LUIZ, 2010; GOULART; XAVIER; DIAS, 2011), que possibilitaram consideráveis ganhos decorrentes, principalmente, do aumento dos índices de enraizamento e da redução do tempo para formação da muda.

Tanto a miniestaquia quanto a microestaquia têm proporcionado consideráveis ganhos em produtividade, uniformidade e aumento no percentual de enraizamento das estacas. Em alguns clones de eucalipto, os ganhos com a utilização da miniestaquia podem chegar até a 40% em relação à estaquia convencional (ALFENAS et al., 2009). Além do mais, a miniestaquia tem possibilitado a substituição dos jardins clonais de campo para viveiros, diminuindo assim, o envolvimento de mão de obra (DUTRA; WENDLING; BRONDANI, 2010); redução em investimentos em casa de vegetação, em razão da maior rapidez de enraizamento; eliminação do jardim clonal de campo, disponibilizando a área para plantios comerciais (XAVIER; SILVA, 2010); controle mais efetivo de pragas, doenças e melhor sobrevivência e desenvolvimento inicial dos clones no campo (ALFENAS et al., 2009).

A técnica da miniestaquia é uma variação da estaquia convencional, constituindo-se na utilização de brotações de plantas propagadas pelo método de estaquia convencional ou mudas produzidas por sementes, como fontes de propágulos vegetativos. Assim, a parte basal da brotação da muda, obtida por um desses métodos, constitui-se em uma minicepa, que fornecerá as brotações (miniestacas) para formação de novas mudas (ALFENAS et al., 2009).

Sabe-se que a composição química do tecido varia ao longo do ramo, ocasionando diferenças de enraizamento em segmentos oriundas de distintas partes (FACHINELLO; HOFFMANN; NACHTIGAL, 2005). Assim, o tipo de estaca torna-se importante e tem sido avaliado em várias pesquisas. De modo geral o tipo de estaca adequado para o enraizamento depende de cada espécie, de cada cultivar e na mesma planta há ainda uma variação ao longo dos ramos, que tendem a diferir quanto ao enraizamento devido à composição química do tecido, que modifica ao longo dos ramos (FACHINELLO; HOFFMANN; NACHTIGAL, 2005).

Tofanelli et al. (2002), estudando o enraizamento de segmentos de ameixeira (*Prunus salicina*), utilizaram segmentos lenhosos e semilenhosos, concluindo que os segmentos semilenhosos proporcionaram os melhores resultados durante todo o processo de enraizamento. Também Oliveira et al. (2005), trabalhando com *P. persica*, observaram que o sistema radicular formado em segmentos semilenhosos superou o sistema formado em segmentos lenhosos.

Para *Coffea arabica*, alguns estudos apontaram que estacas semilenhosas localizadas na porção mediana dos ramos proporcionam melhores resultados no processo de enraizamento, o que pode estar relacionado a uma menor lignificação do tecido, em relação aos segmentos mais lenhosos localizados na porção inferior dos ramos (REZENDE et al., 2010).

Poucos estudos foram realizados visando à aplicação dessa técnica de miniestaquia para a clonagem de *C. arabica*, sendo que a maioria desses estudos envolvem apenas estacas de ramos ortotrópicos coletados em plantas matrizes adultas (JESUS, 2003; BALIZA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2010; REZENDE et al., 2010).

Diante disso, objetivou-se com este trabalho estudar o emprego da técnica de miniestaquia na formação de mudas clonais de *Coffea arabica* em diferentes volumes de tubetes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As informações que serviram de base para este estudo são provenientes de um experimento envolvendo a utilização de miniestacas oriundas de diferentes posições no ramo ortotrópico de mudas de cafeeiros e de dois volumes de tubetes utilizados na produção de mudas clonais. O experimento foi conduzido no período de julho a outubro de 2013 no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, junto à Agência de Inovação do Café - INOVACAFÉ, localizada no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

Para a obtenção das miniestacas em diferentes posições no ramo ortotrópico, foram selecionadas mudas obtidas por sementes da cultivar Acaia Cerrado MG 1474 com 18 meses de idade. As mudas selecionadas tinham cinco segmentos nodais (miniestacas) e cinco pares de folhas completamente expandidas no ramo ortotrópico (haste principal). Os ramos ortotrópicos foram cortados na base das mudas e levados para a casa de vegetação, onde foram preparados para a obtenção das miniestacas. As miniestacas foram obtidas dos ramos ortotrópicos da mesma forma que são obtidas as estacas oriundas de ramos ortotrópicos de plantas adultas, conforme metodologia proposta por Jesus (2003). As miniestacas foram obtidas de forma a terem um par de folhas

cortadas à metade de sua área. Posteriormente, as miniestacas foram mergulhadas em solução de hipoclorito de sódio a 0,05% por dez minutos e lavadas em água para retirar o excesso da solução. As bases das miniestacas foram imersas em talco contendo o Ácido-Indol-Butírico (AIB) na concentração de 4.000 mg kg⁻¹ e posteriormente foram acondicionadas em recipientes de propagação do tipo tubete com diferentes volumes (50 ou 120 cm³) contendo substrato de areia lavada e vermiculita na proporção de 1:1 com adubo de liberação controlada Osmocote Plus[®] com as seguintes concentrações de minerais: 15% de N; 9% K₂O; 12% de P₂O₅; 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo, na dose de 12,5 g L⁻¹. Foram avaliados dez tratamentos em esquema fatorial 5 x 2, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos das combinações dos tipos de miniestacas oriundas de diferentes porções do ramo ortotrópico (apical, semiapical, intermediária, semibasal e basal) e dois volumes de tubete (50 e 120 cm³). Cada parcela foi constituída por seis miniestacas. Foi fornecida uma solução de sacarose (5 g L⁻¹) via foliar, a cada 21 dias, a partir do início do experimento.

Aos 120 dias após a instalação do experimento, foram avaliados os seguintes caracteres: peso (g) das raízes secas (PRS); área (cm²) das raízes (ARZ); volume (cm³) das raízes (VRZ); diâmetro médio (mm) das raízes (DRZ); peso (g) do caule seco (PCS); diâmetro (mm) do broto (DIM); altura (cm) da muda (ALT); peso (g) das folhas secas (PFS); número total de folhas (NOF); proporção de mudas com dois brotos (PMB); proporção de mudas com duas folhas remanescentes (PMF) e proporção de miniestacas enraizadas (PME). Para a quantificação do peso das raízes, do caule (miniestacas mais brotos) e das folhas secas, os materiais foram acondicionados separadamente, em sacos de papel identificados e foram levados para uma estufa de circulação de ar forçada a 65 °C, onde permaneceram até atingirem peso constante e, posteriormente,

foram pesados com o uso de uma balança analítica modelo BG 2000 com precisão 0,01 g. Para a mensuração dos caracteres do sistema radicular (ARZ, VRZ e DRZ), foram tomadas imagens digitais das raízes e, posteriormente, as imagens foram analisadas por meio do *software* Safira (JORGE; SILVA, 2010). O diâmetro do broto foi mensurado logo abaixo do primeiro nó do maior broto da muda, ou seja, foi mensurado no maior broto que surgiu na miniestaca, em mudas que apresentaram dois brotos. A altura foi medida tomando como referência a inserção do broto na miniestaca e também foi mensurada no maior broto daquelas mudas com dois brotos. Para o número total de folhas, foi considerado o somatório do número de folhas novas nos brotos e do número de folhas remanescentes nas miniestacas. Para a avaliação da proporção de mudas com dois brotos, foi atribuído o valor 1 indicando a presença de dois brotos ou o valor 0 no caso de as mudas não apresentarem dois brotos. Procedeu-se da mesma forma para avaliar a proporção de mudas com duas folhas remanescentes, para as mudas que tinham as duas folhas remanescentes no momento da avaliação atribuiu-se o valor 1, e caso contrário, valor 0. No caso da proporção de miniestacas enraizadas, nos tubetes onde se observou miniestacas com raízes, foi atribuído valor 1, e nos quais se observou a ausência da miniestaca ou miniestacas sem raízes, foi atribuído valor 0.

Para as análises estatísticas, foram ajustados modelos lineares mistos, considerando como efeitos fixos o tipo de miniestaca, tubete e as interações e como efeito aleatório foi considerada a parcela. Para os caracteres NOF, PMB, PMF e PME, foram ajustados modelos lineares generalizados mistos, com distribuição Poisson e função de ligação logarítmica para o NOF e com distribuição binomial e função de ligação logística para PMB, PMF e PME. Para o ajuste dos modelos, foram utilizadas as funções *lmer* () e *glmer* () da biblioteca *lme4* (BATES et al., 2015). Foi realizada a análise de *deviance* para testar os efeitos fixos, por meio da função *Anova* () da biblioteca *car* (FOX;

WEISBERG, 2011). Para os efeitos que tiveram efeitos significativos (p -valor < 0,05), a comparação entre as médias dos níveis dos fatores foi feita por meio da comparação dos intervalos de confiança ao nível 95% para as médias ajustadas, por meio da função *lsmeans* () da biblioteca *lsmeans* (LENTH, 2016).

Todos os procedimentos para a realização das análises foram feitos por meio do *software* R versão 3.2.4 (R CORE TEAM, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a avaliação dos efeitos do tipo de miniestacas oriundas de diferentes porções do ramo ortotrópico e o efeito do tipo de tubete, procedeu-se a análise de *deviance* conforme apresentado nas Tabelas 1, 2 e 3.

Para os caracteres relacionados ao sistema radicular das mudas clonais obtidas por meio de enraizamento de miniestacas, foi observado que o tipo de miniestacas oriundas de diferentes porções do ramo ortotrópico influenciou apenas o peso das raízes secas (PRS) (p -valor = 0,017), enquanto que o volume do tubete não apresentou influência em nenhum dos caracteres do sistema radicular e da parte aérea. Para os caracteres relacionados à parte aérea, o tipo de miniestacas oriundas de diferentes porções do ramo ortotrópico influenciou o peso do caule seco (PCS), altura da muda (ALT), peso das folhas secas (PFS) (Tabela 2) e número total de folhas (NOF) (Tabela 3). Nos caracteres diâmetro do broto (DIM), proporção de mudas com duas folhas remanescentes (PMF), proporção de mudas com dois brotos (PMB) e proporção de miniestacas enraizadas (PME), não houve efeito do tipo de miniestacas.

Tabela 1 Resumo da análise de *deviance* para o peso das raízes secas (PRS), área das raízes (ARZ), volume das raízes (VRZ) e diâmetro médio das raízes (DRZ) de mudas de *Coffea arabica* L. cv. Acaiá Cerrado MG 1474, obtidas por enraizamento de miniestacas.

FV	GL	PRS		ARZ		VRZ		DRZ	
		χ^2	<i>p</i> -valor						
Tubete (T)	1	2,681	0,102	0,916	0,339	0,326	0,568	1,441	0,230
Tipo miniestaca (TE)	4	12,100*	0,017	4,902	0,298	6,224	0,183	8,225	0,084
T*TE	4	2,921	0,571	2,212	0,697	3,115	0,539	1,557	0,816
σ_p^2		0,000		5,210		0,057		0,004	
σ^2		0,002		588,200		2,077		0,077	

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste de Wald II.

σ_p^2 : variância dentro de parcela; σ^2 : variância residual.

Tabela 2 Resumo da análise de *deviance* para o peso do caule seco (PCS), diâmetro do broto (DIM), altura da muda (ALT) e peso das folhas secas (PFS) de mudas de *Coffea arabica* L. cv. Acaiá Cerrado MG 1474, obtidas por enraizamento de miniestacas.

FV	GL	PCS		DIM		ALT		PFS	
		χ^2	<i>p</i> -valor						
Tubete (T)	1	0,005	0,946	2,869	0,090	3,684	0,055	0,879	0,348
Tipo miniestaca (TE)	4	122,900*	0,000	5,009	0,286	18,980*	0,001	15,880*	0,003
T*TE	4	2,484	0,648	3,161	0,531	6,126	0,190	1,739	0,784
σ_p^2		0,004		0,001		0,788		0,003	
σ^2		0,017		0,122		10,200		0,076	

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste de Wald II.

σ_p^2 : variância dentro de parcela; σ^2 : variância residual.

Tabela 3 Resumo da análise de *deviance* para o número total de folhas (NOF), proporção de mudas com duas folhas remanescentes (PMF), proporção de mudas com dois brotos (PMB) e proporção de miniestacas enraizadas (PME) de mudas de *Coffea arabica* L. cv. Acaiá Cerrado MG 1474, obtidas por enraizamento de miniestacas.

FV	GL	NOF		PMF		PMB		PME	
		χ^2	<i>p</i> -valor						
Tubete (T)	1	0,728	0,393	1,385	0,239	2,778	0,096	2,066	0,151
Tipo miniestaca (TE)	4	25,190*	0,000	0,406	0,982	9,189	0,057	5,742	0,219
T*TE	4	2,962	0,564	0,474	0,976	1,739	0,784	7,068	0,132
σ_p^2		0,001		0,430		0,203		0,361	

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste de Wald II.

σ_p^2 : variância dentro de parcela.

Em alguns trabalhos com outras espécies que são clonadas por meio de enraizamento de estacas, foi relatado o efeito do volume do recipiente em algumas características do sistema radicular, tal como no maracujá do mato (*Passiflora cincinnata*), no qual o comprimento do sistema radicular foi influenciado pelo tamanho do recipiente de propagação, sendo que os recipientes de menor tamanho propiciaram um menor comprimento do sistema radicular (SANTOS et al., 2012). Schwengber et al. (2002), estudando a utilização de diferentes recipientes na propagação da ameixeira por meio de estacas, constataram que a redução de volume do recipiente resultou em menores valores de comprimento, no entanto, o número de raízes e a massa seca do sistema radicular não foram influenciadas pelo volume do recipiente em algumas das cultivares utilizadas no experimento.

O menor volume de recipiente, até o limite mínimo que não restrinja o desenvolvimento do sistema radicular, provoca uma maior diferenciação do sistema radicular o que origina uma maior quantidade de radículas, aumentando a possibilidade de as plantas obterem os nutrientes necessários (BALL, 1976).

Neste trabalho, não foi observado efeito do volume do tubete, possivelmente devido ao fato dos dois volumes não terem restringido o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, provavelmente devido ao curto período de condução dessas mudas (120 dias).

Na Figura 1, são apresentadas as médias ajustadas e respectivos intervalos de confiança dos caracteres peso das raízes secas (PRS), peso do caule seco (PCS), altura da muda (ALT), peso das folhas secas (PFS) e número total de folhas (NOF), respectivamente.

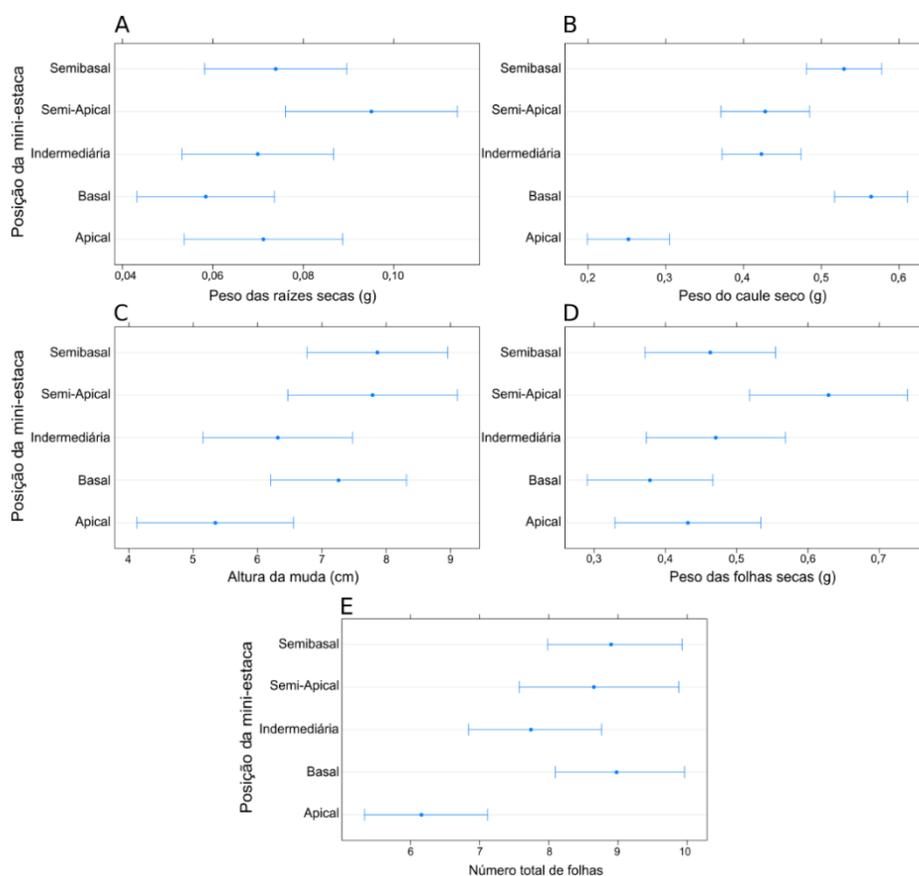


Figura 1 Médias ajustadas para peso das raízes secas (A), peso do caule seco (B), altura da muda (C), peso das folhas secas (D) e número total de folhas (E) de mudas clonais de *Coffea arabica* L. cv. Acaia Cerrado MG 1474 obtidas por enraizamento de miniestacas oriundas de diferentes posições nos ramos ortotrópicos de mudas com 18 meses de idade.

Pelo exame dos intervalos de confiança, observa-se que as médias estimadas para o PRS das mudas originadas de miniestaca semiapical e miniestaca basal são diferentes, pois não houve sobreposição dos intervalos de confiança. Para as demais posições da miniestaca, houve sobreposição dos intervalos de confiança, indicando que as médias são iguais estatisticamente (Figura 1.A). O maior PRS das mudas originadas de miniestacas semiapical, em

comparação com as originadas de miniestacas basal, pode ser devido ao fato de que a síntese de auxinas ocorre principalmente no ápice caulinar e, portanto, uma maior concentração endógena de auxina nessas miniestacas, pode estar associada a um maior incremento em acúmulo de biomassa no sistema radicular, visto que a auxina atua diretamente no processo de formação de raízes (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em algumas espécies que têm um desempenho inferior no processo de enraizamento de estacas, principalmente de estacas mais lenhosas localizadas na parte mais basal do ramo, a presença de um anel contínuo de esclerênquima entre o floema e o córtex pode agir como barreira para a emergência radicular, enquanto que estacas que se caracterizam por uma descontinuidade ou poucas camadas de células deste anel de esclerênquima têm um melhor enraizamento (HARTMANN et al., 2011). No caso de *Coffea arabica*, Jesus et al. (2010) observaram que as de células de tecido esclerenquimático de estacas de ramos ortotrópicos, independentemente da sua posição no ramo, localizam-se em faixas não contínuas ao redor dos tecidos vasculares, fornecendo sustentação e proteção e não atuando como barreira anatômica à emergência do primórdio radicular.

As diferentes posições das miniestacas no ramo ortotrópico originaram mudas clonais com diferentes quantidades de peso do caule seco (PCS) (Figura 1.B). Mudas obtidas por meio de miniestacas oriundas da parte mais basal do ramo ortotrópico tiveram um maior ganho de PCS, em comparação com as mudas obtidas por miniestacas apicais. O menor PCS foi observada nas mudas oriundas de miniestacas apicais. O menor valor de PCS indica um menor crescimento da parte aérea, o qual é evidenciado pelos menores valores observados para altura das mudas e número total de folhas (Figura 1.C e E respectivamente).

Os menores valores para altura das mudas (ALT) foram observados em mudas originadas a partir de miniestacas apicais em relação às miniestacas semibasal (Figura 1.C). As miniestacas semiapical e semibasal formaram mudas clonais com uma altura média de 8 cm, enquanto que as mudas originadas de miniestacas apical tiveram uma altura média em torno de 5 cm.

As mudas clonais que tiveram uma maior ALT não apresentaram esse mesmo comportamento para o peso das folhas secas (PFS), como pode ser observado na Figura 1.D. Para essa variável, as mudas originadas de miniestacas semiapical tiveram um maior PFS do que aquelas originadas das miniestacas basal, mesmo não apresentando diferença para o número de folhas (Figura 1.E).

As miniestacas oriundas das porções basal, intermediária, semiapical e semibasal de ramos ortotrópicos propiciaram a formação de mudas clonais com NOF equivalentes entre si. Já as miniestacas da porção apical proporcionaram a formação de mudas com um menor NOF em comparação com as demais miniestacas, exceto para as miniestacas intermediárias, as quais tiveram um NOF equivalente das mudas oriundas de miniestacas apicais (Figura 1.E). Conforme detalhado anteriormente, as mudas obtidas por miniestacas da porção semibasal e basal tiveram valores de ALT e NOF superiores, no entanto, tiveram uma menor PFS. Esse fato pode ser atribuído a um efeito de estiolamento das mudas.

Na formação de mudas clonais de *Coffea arabica* por estacas, Rezende et al. (2010) observaram que as mudas oriundas de estacas semilenhosas, aquelas localizadas na parte mediana dos ramos ortotrópicos, tiveram um melhor desenvolvimento tanto do sistema radicular, quanto da parte aérea. O tipo de segmento nodal a ser utilizado é importante para obtenção de sucesso no processo de enraizamento devido ao grau de lignificação dos tecidos aumentar do ápice para a base dos ramos, o que dificultaria a emissão dos primórdios

radiculares (FACHINELLO; HOFFMANN; NACHTIGAL, 2005; MORAES et al., 2014).

No caso da produção de mudas clonais por meio do enraizamento de miniestacas, os segmentos localizados na porção mediana do ramo ortotrópico favorecem um melhor crescimento e desenvolvimento das mudas clonais.

4 CONCLUSÕES

A produção de mudas clonais de *Coffea arabica* cv. Acaiá Cerrado MG 1474, utilizando miniestacas de mudas com 18 meses de idade é viável.

Os volumes de tubete (50 e 120 cm³) utilizados no presente estudo não é um fator limitante ao sucesso do processo de enraizamento até os 120 dias.

Miniestacas da porção mediana (semiapical, intermediária e semibasal) do ramo ortotrópico proporcionam um melhor crescimento das mudas clonais.

5 REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009.
- BALIZA, D. P. et al. Growth of stem cuttings of coffee cultivars in different environments. **Magistra**, v. 22, n. 2, p. 112–117, 2010.
- BALL, J. B. Recipientes plásticos y enrollamiento de raíces. **Unasyuva**, v. 111, n. 28, p. 5–27, 1976.
- BATES, D. et al. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, 2015.
- BERGO, C. L.; MENDES, A. N. G. Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por meio de enraizamento de estacas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 2, p. 392–398, 2000.
- BUENO, I. F. et al. Avaliação da produção de ramos ortotrópicos em genótipos de cafeeiro catucaí amarelo e siriema clonados in vitro. In: IX SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa Café, 2015. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/3597>>. Acesso em: 25 abr. 2016.
- BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. de. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.
- DUTRA, L. F.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. A Micropropagação de Eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 58, p. 49, 26 fev. 2010.
- FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. **Propagação de plantas frutíferas**. 1. ed. Pelotas: Embrapa, 2005.
- FOX, J.; WEISBERG, S. **An r companion to applied regression**. 2nd edition ed. Washington DC: Sage, 2011.
- GOULART, P. B.; XAVIER, A.; CARDOSO, N. Z. Efeito dos reguladores de crescimento AIB e ANA no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 1051–1058, 2008.
- GOULART, P. B.; XAVIER, A.; DIAS, J. M. M. Effect of cofactors hydroquinone, proline and tryptophane on the rooting of mini-cuttings of

Eucalyptus grandis x *E. urophylla* clones. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1017–1026, out. 2011.

JESUS, A. M. S. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2003. 173 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **Safira: manual de utilização**. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, 2010.

LENTH, R. V. Least-Squares Means: The R Package Lsmeans. **Journal of Statistical Software**, v. 69, n. 1, p. 1–33, 2016.

MORAES, D. G. et al. Enraizamento de miniestacas caulinares e foliares juvenis de *Toona ciliata* M. Roemer. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 1, p. 47–54, 2014.

OLIVEIRA, A. P.; NIENOW, A. A.; CALVETE, E. O. Qualidade do sistema radicular de estacas semilenhosas e lenhosas de pessegueiro tratadas com AIB. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 27, n. 2, 2005.

OLIVEIRA, D. H. et al. Influência do comprimento de estacas e ambientes no crescimento de mudas cafeeiras obtidas por enraizamento. **Coffee Science**, v. 5, n. 2, p. 183–189, 2010.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

REZENDE, T. T. et al. Types of stem cuttings and environments on the growth of coffee stem shoots. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 5, p. 387–391, 2010.

SANTOS, J. L. et al. Propagação vegetativa de estacas de *Passiflora cincinnata* Mast. em diferentes recipientes e substratos comerciais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, p. 581–588, 2012.

SCHWENGBER, J. E. et al. Utilization of diferents containers in propagation of plum cuttings. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 285–288, abr. 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TOFANELLI, M. B. D. et al. Enraizamento de estacas lenhosas e semilenhosas de cultivares de ameixeira com várias concentrações de ácido indolbutírico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 509–513, 2002.

XAVIER, A.; SILVA, D.; LUIZ, R. Evolução da silvicultura clonal de Eucalyptus no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93–98, jun. 2010.

**ARTIGO 2 - RELAÇÕES ENTRE OS CARACTERES DA PARTE
AÉREA E DO SISTEMA RADICULAR EM MUDAS CLONAIAS DE
CAFFEEIROS OBTIDAS POR ESTACAS E MINIESTACAS**

(VERSÃO PRELIMINAR)

**Artigo submetido à revista Ciência Rural
Relations among the characteristics of shoot and root system in coffee
clonal cuttings obtained by cuttings and mini-cuttings**

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho, por meio da análise de correlações canônicas, quantificar a associação entre os caracteres da parte aérea e os do sistema radicular em mudas clonais de cafeeiros obtidas por estaquia e por miniestaquia. Para a realização da análise da correlação canônica nas mudas clonais obtidas por estaquia, foi utilizado um conjunto de dados provenientes de um experimento instalado para a avaliação do uso do fertilizante de liberação controlada e do uso da aplicação de sacarose na produção de mudas clonais. Já para a análise da correlação canônica nas mudas clonais obtidas por miniestaquia, foi utilizado um conjunto de dados provenientes de um experimento instalado para a avaliação do tipo de miniestacas e do volume de tubete na produção de mudas clonais. As análises foram realizadas para verificar as possíveis associações existentes entre um primeiro grupo de caracteres do sistema radicular com um segundo grupo formado pelos caracteres da parte aérea de mudas clonais. Os resultados indicaram a existência de dependência entre os caracteres do sistema radicular com as características da parte aérea em mudas clonais obtidas tanto por estacas, quanto por miniestacas, sendo que altos valores de peso das folhas secas, altura das plantas e números de folhas estão associados a altos valores de peso das raízes secas, área e volume das raízes.

Palavras-chave: Correlação canônica, propagação vegetativa, *Coffea arabica*.

**RELATIONS BETWEEN THE CHARACTERS OF THE SHOOT AND
OF THE ROOT SYSTEM IN CLONAL SEEDLINGS OF COFFEE
PLANTS OBTAINED BY CUTTING AND MINI-CUTTING**

ABSTRACT

With this work, we aimed at quantifying the association between the characters of the shoot and those of the root system in clonal seedling of coffee plants obtained by cutting and mini-cutting, by means of canonical correlation analysis. To perform the canonical correlation analysis of the clonal seedlings obtained by cutting, we used a set of data originated from an experiment installed to evaluate the use of controlled release fertilizers and the application of sucrose in the production of clonal seedlings. To perform the canonical correlation analysis on the seedlings obtained by mini-cutting, we used a set of data originated from an experiment installed for evaluating the types of mini-cutting and the volume of tube in the production of clonal seedlings. The analyses were conducted to verify the possible association between a first group, formed of characters of the root system, with the second group, formed by the characters of the shoot. The results indicate the dependence between the characters of the root system with the characters of the shoot in clonal seedlings obtained either by cutting or mini-cutting, considering that high values of dry leaf weight, plant height and number of leaves are associated with high values of dry root weight and area and volume of the roots.

Keywords: Canonic correlation, vegetative propagation, *Coffea arabica*.

INTRODUÇÃO

A produção de mudas clonais de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) por enraizamento de segmentos caulinares se tornou possível e viável nos últimos anos (JESUS, 2003; REZENDE et al., 2010), tornando-se uma técnica com grande potencial para a multiplicação e disponibilização de plantas elites disponíveis nos programas de melhoramento genético que ainda não podem ser propagadas de forma convencional, por sementes.

A formação de uma nova lavoura com mudas clonais requer os mesmos cuidados e atenções que as lavouras formadas com mudas de sementes, ou seja, a qualidade da muda, seja ela clonal ou seminal, é uma das características mais importantes e determinantes no desenvolvimento e crescimento inicial das plantas. O sucesso da implantação de uma nova lavoura depende basicamente do bom estado vegetativo e sanitário das mudas, o que implica em mudas com equilíbrio no crescimento e desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular (VALLONE et al., 2009).

Vários critérios são utilizados para a determinação da qualidade em mudas, sendo que, os mais importantes são as relações entre caracteres da parte aérea e do sistema radicular, tais como: a relação do peso da parte aérea seca com o peso das raízes secas; relação da altura da parte aérea com o diâmetro do coleto (VALLONE et al., 2009). Todos esses caracteres são influenciados pelos tratos culturais realizados durante a formação de mudas, tais como o fornecimento de nutrientes, manejo de doenças (POZZA et al., 2007), lâmina de água e turno de rega (MARQUES et al., 2013), tipos de substratos e de recipientes (VALLONE et al., 2009, 2010) e níveis de sombreamento (PAIVA, et al., 2003).

O conhecimento das relações entre esses caracteres e os parâmetros de crescimento das mudas permite planejar as melhores estratégias de manejo para produzir mudas de boa qualidade, já que o plantio de mudas de café vigorosas

diminui os gastos com a operação de replantio e promove um rápido crescimento inicial das plantas (ALVES & GUIMARÃES, 2010). Mudanças vigorosas são caracterizadas por apresentar folhas verdes e brilhantes, caule espesso e sistema radicular abundante de raízes absorventes (HENRIQUE et al., 2011).

O conhecimento das relações entre os parâmetros de crescimento das mudas também é importante para a obtenção de mudas de qualidade. ATROCH et al. (2011) observaram que os caracteres do sistema radicular de mudas clonais de guaranazeiro são dependentes dos caracteres da parte aérea, e foi possível observar, com o uso da análise de correlação canônica, que o comprimento dos ramos influenciou o sistema radicular, principalmente em relação ao peso das raízes secas. Os autores concluíram que é possível obter mudas com um melhor sistema radicular selecionando aquelas que possuem maior comprimento dos ramos da parte aérea, podendo dessa forma, praticar a seleção de clones de guaranazeiro para maior peso do sistema radicular sem a necessidade de destruir as mudas, de modo indireto, realizando apenas a avaliação do comprimento dos ramos.

Por meio da análise de correlação canônica é possível estudar as relações entre os caracteres do sistema radicular e da parte aérea e havendo dependência entre esses grupos, é possível inferir sobre o comportamento de um determinado caractere com base em outros, e dessa forma estabelecer estratégias que permitem obter mudas de qualidade superiores.

A análise de correlação canônica foi proposta por HOTELLING (1936) e tem como objetivo principal a identificação e quantificação das relações lineares existentes entre dois conjuntos contendo vários caracteres.

O princípio básico em uma análise de correlação canônica é desenvolver uma combinação linear em cada um dos conjuntos de caracteres tal que a correlação entre os dois conjuntos seja maximizada. De uma maneira geral, considera-se que o primeiro conjunto é estabelecido por p caracteres e o segundo

por q caracteres. O número de correlações canônicas é igual ao número de caracteres do menor conjunto. Nesta análise, o objetivo é estimar a máxima correlação entre as combinações lineares dos caracteres do primeiro conjunto e do segundo conjunto, bem como estimar os respectivos coeficientes de ponderação dos caracteres em cada combinação linear (CRUZ, et al., 2012).

O conhecimento da inter-relação entre os conjuntos distintos de caracteres pode identificar possíveis estruturas de dependência entre os diferentes conjuntos que não seriam facilmente identificáveis pela simples inspeção das correlações entre os pares de caracteres (FERREIRA, 2011).

Dessa forma, o emprego das correlações canônicas no estudo das relações entre os caracteres do sistema radicular e da parte aérea de mudas clonais de cafeeiros, obtidas por enraizamento de segmentos caulinares, pode proporcionar a obtenção de mudas com qualidade superior, por meio da seleção de mudas que apresentam os caracteres da parte aérea que podem ter certa dependência e que se relacionem de forma positiva com os caracteres do sistema radicular.

Objetivou-se com este trabalho estudar a relação entre o grupo de caracteres da parte aérea e o grupo de caracteres do sistema radicular em mudas clonais de cafeeiros obtidas por enraizamento de estacas e de miniestacas, utilizando-se correlações canônicas.

MATERIAL E MÉTODOS

As informações usadas neste estudo são provenientes de dois bancos de dados, sendo um deles originado de 286 mudas clonais de *Coffea arabica* L. obtidas por enraizamento de estacas e o outro originado de 177 mudas clonais de *C. arabica* obtidas por enraizamento de miniestacas. Os experimentos foram conduzidos no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, junto à

Agência de Inovação do Café - INOVACAFÉ, localizada no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

Para a obtenção das mudas clonais, tanto as originadas por enraizamento de estacas e por miniestacas, foram utilizados segmentos caulinares de ramos ortotrópicos de plantas da cultivar Acaia Cerrado MG 1474 com dez anos de idade e de mudas desta cultivar obtidas por sementes e com 18 meses de idade respectivamente. Os segmentos caulinares foram confeccionados, em ambos os experimentos, conforme metodologia proposta por JESUS (2003), de forma a terem um par de folhas cortadas a 1/2 de sua área. Os segmentos caulinares foram mergulhados em solução de hipoclorito de sódio a 0,05% por dez minutos e posteriormente foram lavadas para retirar o excesso da solução. As bases dos segmentos caulinares foram imersas em talco contendo o Ácido-Indol-Butírico (AIB) na concentração de 4.000 mg kg⁻¹, e então colocados em tubetes de 120 mL contendo substrato de areia e vermiculita na proporção de 1:1.

O experimento 1, que originou as mudas provenientes de enraizamento de estacas, foi conduzido no período de julho a novembro de 2011 e foi composto por doze tratamentos arranjados em esquema fatorial 4 x 3, em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos foram constituídos das combinações dos níveis dos fatores adubo de liberação controlada (ausência, 8,33; 16,67 e 25 g L⁻¹) e sacarose (ausência e soluções nas concentrações de 25 e 50 g L⁻¹ de sacarose). Cada parcela foi constituída por oito segmentos caulinares. Foi utilizado o adubo de liberação controlada Osmocote Plus[®], com as seguintes concentrações de minerais: 15% de N; 9% K₂O; 12% de P₂O₅; 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo. O fornecimento foi feito no momento da mistura do substrato. As aplicações das soluções de sacarose via foliar foi realizada a cada 21 dias a partir do início do experimento.

O experimento 2, que originou as mudas provenientes de enraizamento de miniestacas, foi conduzido no período de julho a outubro de 2013 e foram avaliados dez tratamentos em esquema fatorial 5 x 2, constituídos das combinações dos tipos de miniestacas oriundas de diferentes porções do ramo ortotrópico (apical, semiapical, intermediária, semibasal e basal) e dois volumes de tubete (50 e 120 cm³), em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por seis miniestacas. O substrato utilizado foi o de areia lavada e vermiculita na proporção de 1:1 com adubo de liberação controlada Osmocote Plus[®] com as seguintes concentrações de minerais: 15% de N; 9% K₂O; 12% de P₂O₅; 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo, na dose de 12,5 g L⁻¹. Foi fornecida uma solução de sacarose na concentração de 50 g L⁻¹ via foliar, a cada 21 dias a partir do início do experimento.

Aos 138 dias (experimento 1) e aos 120 dias (experimento 2) após a instalação dos experimentos, foram avaliados os seguintes caracteres: peso (g) das raízes secas (PRS); área (cm²) das raízes (ARZ); volume (cm³) das raízes (VRZ); peso (g) do caule seco (PCS); diâmetro (mm) do broto (DIM); altura (cm) da muda (ALT); peso (g) das folhas secas (PFS) e número total de folhas (NOF). Para a quantificação do peso das raízes, do caule (estacas ou miniestacas mais brotos) e das folhas secas, os materiais foram acondicionados separadamente, em sacos de papel identificados e foram levados para uma estufa de circulação de ar forçada a 65 °C, onde permaneceram até atingirem peso constante, e posteriormente foram pesados com o uso de uma balança analítica modelo BG 2000 com precisão 0,01 g. Para a mensuração dos caracteres do sistema radicular (ARZ e VRZ), foram tomadas imagens digitais das raízes e posteriormente, as imagens foram analisadas por meio do *software* Safira (JORGE & SILVA, 2010). O diâmetro do broto foi mensurado logo abaixo do primeiro nó do maior broto da muda, ou seja, foi mensurado no maior broto que

surgiu na estaca ou miniestaca, em mudas que apresentaram dois brotos. A altura foi medida tomando como referência a inserção do broto na estaca ou miniestaca, e também foi mensurada no maior broto daquelas mudas com dois brotos. Para o número total de folhas, foi considerado o somatório do número de folhas novas nos brotos e do número de folhas remanescentes nas estacas ou miniestacas.

Foi realizada análise de correlação canônica para cada conjunto de dados, ou seja, para as mudas produzidas a partir de estacas e para aquelas produzidas a partir de miniestacas. As análises foram realizadas para verificar as possíveis associações existentes entre um primeiro grupo de caracteres do sistema radicular (PRS, ARZ e VRZ) com um segundo grupo formado pelos caracteres da parte aérea (PCS, DIM, ALT, PFS e NOF). Dessa forma, foi possível a determinação de três funções canônicas (pares de variáveis estatísticas canônicas). Foram estimadas as cargas canônicas, ou seja, as correlações entre os caracteres e suas respectivas variáveis estatísticas canônicas, e as cargas canônicas cruzadas, que representam a correlação entre um caractere original de um determinado grupo e a variável estatística canônica do outro grupo.

Para isolar os possíveis efeitos do adubo de liberação controlada e da sacarose (experimento 1) e dos tipos de miniestacas oriundos de diferentes posições no ramo ortotrópico e dos volumes dos tubetes (experimento 2) nos caracteres avaliados, as correlações canônicas foram efetuadas considerando os resíduos (erros) provenientes do ajuste de um modelo multivariado, no qual se considerou como variáveis dependentes os caracteres avaliados e como variáveis independentes os fatores adubo de liberação controlada, sacarose e a interação destes (experimento 1) e os fatores posição da miniestaca no ramo ortotrópico, o volume do tubete e a interação destes (experimento 2).

Antes de ajustar o modelo multivariado, foi ajustado um modelo univariado para a verificação da normalidade dos resíduos de cada caractere

avaliado. O pressuposto de normalidade foi verificado por meio do teste de Shapiro-Wilk. Para os caracteres que tiveram algum indício de fuga da distribuição normal dos resíduos, procedeu-se a transformação de Box-Cox, objetivando a adequação dos resíduos à distribuição normal. Em seguida, os dados originais ou transformados foram padronizados (média zero e variância unitária) e procedeu-se ao ajuste do modelo multivariado para cada conjunto de dados e, em seguida, foram obtidos os resíduos.

Para ambos os conjuntos de dados (resíduos), foi verificada a normalidade multivariada pela análise gráfica dos quantis das distâncias quadráticas de Mahalanobis (D_j^2). Foi realizada também a análise gráfica para a detecção de possíveis *outliers* multivariados, por meio da distância quadrática de Mahalanobis robusta (rD_j^2) (HARDIN & ROCKE, 2004). Na ocorrência de valores de rD_j^2 superiores ao valor do quantil de ordem 0,975 da distribuição quiquadrado (χ^2), os mesmos foram considerados como *outliers* e excluídos do banco de dados.

Todos os procedimentos para a realização das análises foram feitos por meio do *software* R versão 3.2.4 (R CORE TEAM, 2016) com a utilização das bibliotecas *yacca* (BUTTS, 2012) e *MVN* (KORKMAZ, et al., 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos dois conjuntos de dados utilizados para a realização das análises de correlações canônicas, foram observadas evidências da falta de normalidade multivariada, visto que a dispersão das distâncias quadráticas D_j^2 dos resíduos não apresentou uma tendência linear (Figuras 1 e 2). Foram identificadas observações consideradas *outliers* (valores discrepantes) em ambos os conjuntos de dados (Figura 1.A e Figura 2.A). As observações que apresentaram uma rD_j^2 superior aos valores de 19,52 ($\chi_{(8;0,975)}^2$) para o conjunto de dados do

experimento 1, e de 19,7 ($\chi^2_{(8;0,975)}$) para o conjunto de dados do experimento 2, foram consideradas *outliers* e as mesmas foram descartadas (ROUSSEEUW & VAN ZOMEREN, 1990; MINGOTI, 2005). Após a remoção dos dados considerados *outliers*, foi possível identificar um padrão linear, característico quando os dados provêm de uma distribuição multinormal.

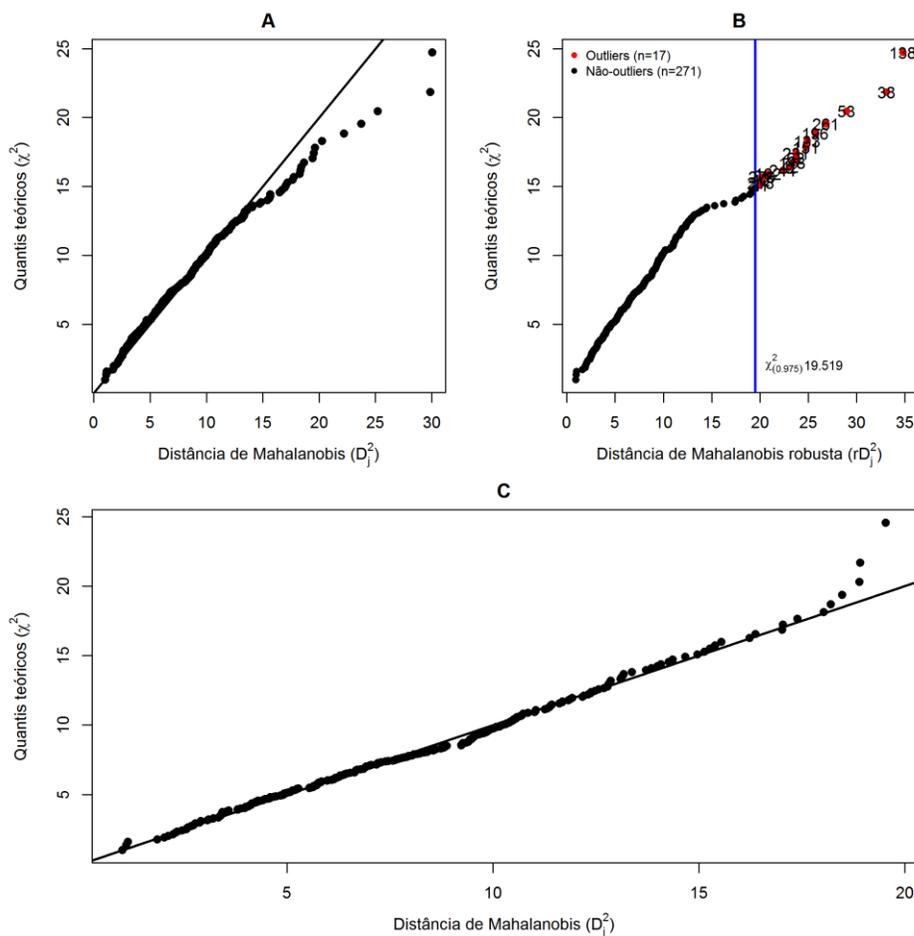


Figura 1 - Representação gráfica das distâncias de Mahalanobis (D_j^2) e robusta (rD_j^2) para o diagnóstico de normalidade multivariada (A e C) e identificação de possíveis observações *outliers* (B) do conjunto de dados do experimento 1.

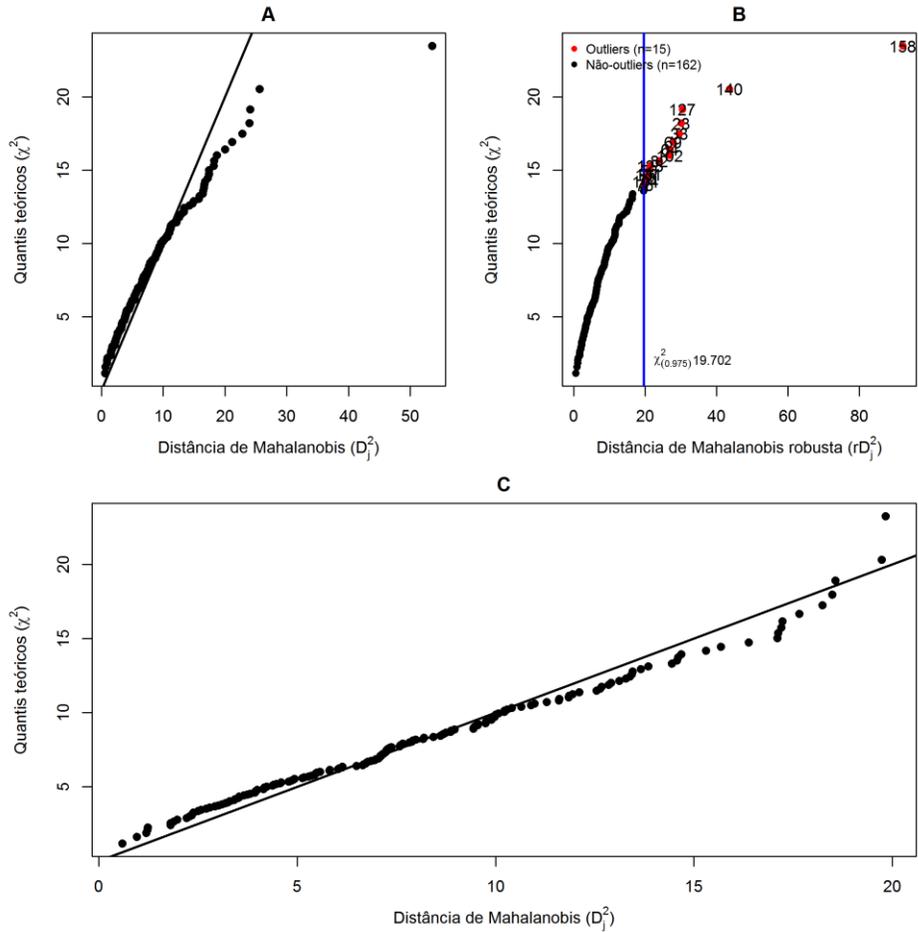


Figura 2 - Representação gráfica das distâncias de Mahalanobis (D_j^2) e robusta (rD_j^2) para o diagnóstico de normalidade multivariada (A e C) e identificação de possíveis observações *outliers* (B) do conjunto de dados do experimento 2.

Na Tabela 1, são apresentadas as correlações canônicas, variâncias compartilhadas, índice de redundância e o teste de Lambda de Wilks para as três funções canônicas.

Tabela 1 - Correlações canônicas (R), variância compartilhada (R^2), variância explicada no grupo de caracteres do sistema radicular ($R^2_{(1)}$), variância explicada no grupo de caracteres da parte aérea ($R^2_{(2)}$), índice de redundância para o grupo de caracteres do sistema radicular ($RI_{(1|2)}$), índice de redundância para o grupo de caracteres da parte aérea ($RI_{(2|1)}$) e teste de Lambda de Wilks para as três funções canônicas entre os grupos de caracteres do sistema radicular e do grupo de caracteres da parte aérea de mudas *Coffea arabica* L. cv. Acaia Cerrado MG 1474 obtidas por enraizamento de estacas.

Função Canônica	R	R^2	$R^2_{(1)}$	$R^2_{(2)}$	$RI_{(1 2)}$	$RI_{(2 1)}$	Teste de Lambda de Wilks		
							GL	F	p-valor
1	0,6579	0,4328	0,8505	0,4104	0,3682	0,1777	15	12,81	0,0000
2	0,2268	0,0514	0,1266	0,1814	0,0065	0,0093	8	2,72	0,0061
3	0,1658	0,0275	0,0229	0,1050	0,0006	0,0029	3	2,50	0,0603

Nas mudas obtidas por enraizamento de estacas, foi constatada uma relação de dependência entre o grupo de caracteres do sistema radicular com o grupo de caracteres da parte aérea, visto que a função canônica 1, ou par canônico 1, foi significativa (Tabela 1), tendo uma correlação canônica de 0,6579. Entretanto, a variância compartilhada (R^2) entre a variável canônica do sistema radicular e a variável canônica da parte aérea dessa função não foi muito expressiva, visto que a quantidade de variância compartilhada foi de 43% ($R^2 = 0,4328$). Essa baixa variância compartilhada deve-se, possivelmente, à baixa proporção de explicação da variância presente no grupo dos caracteres da parte aérea pela variável canônica desse grupo, cujo valor foi de 41% ($R^2_{(2)} = 0,4104$), ao contrário da variável canônica do grupo de caracteres do sistema radicular, que explicou 85% ($R^2_{(1)} = 0,8005$) da variância presente nesse grupo.

Para a segunda função canônica, a quantidade de variância explicada pelas duas variáveis canônicas foi menor, cerca de 10% da variância dos dois grupos de caracteres. Por esse motivo, apenas a primeira função canônica foi utilizada para explicar as relações entre os caracteres do sistema radicular e os da parte aérea das mudas clonais obtidas por enraizamento de estacas.

O grupo dos caracteres do sistema radicular compartilhou aproximadamente 36% da variância com o grupo dos caracteres da parte aérea. Esse valor se refere ao índice de redundância ($RI_{(1|2)}$) para o grupo de caracteres do sistema radicular, que corresponde à proporção da variância observada no grupo dos caracteres do sistema radicular que foi explicada pelos caracteres da parte aérea. Esse índice é equivalente ao se considerar o quadrado de múltiplos coeficientes de correlação entre os caracteres parte aérea e cada caractere do sistema radicular (MINGOTI, 2005).

As relações entre os grupos de caracteres do sistema radicular e os da parte aérea de mudas clonais obtidas por enraizamento de miniestacas caracterizaram-se por uma dependência de alta magnitude, tendo uma correlação

canônica de 0,8541 (Tabela 2) na primeira função canônica. A variância compartilhada entre as duas variáveis estatísticas canônicas da primeira função foi de 0,7378, ou seja, 74% das variâncias observadas nos grupos dos caracteres do sistema radicular e os da parte aérea foram explicadas pelas variáveis canônicas dos dois grupos.

A variável canônica do sistema radicular da primeira função canônica explicou 85% da variância presente no grupo dos caracteres do sistema radicular e a variável canônica da parte aérea explicou 55% da variância do grupo dos caracteres da parte aérea. O grupo dos caracteres do sistema radicular apresentou um alto índice de redundância (0,6272) com o grupo dos caracteres da parte aérea, indicando que, aproximadamente, 63% da variância do grupo dos caracteres do sistema radicular são explicados pelo grupo dos caracteres da parte aérea. Já a explicação da variância presente no grupo dos caracteres da parte aérea pelo grupo dos caracteres do sistema radicular foi menor, 41%.

Para identificar a contribuição de cada um dos caracteres para a relação entre os grupos dos caracteres do sistema radicular e os da parte aérea, optou-se pela análise das cargas canônicas e as cargas canônicas cruzadas. A análise dos pesos canônicos da função canônica pode acarretar em alguns problemas, como, instabilidade e variabilidade dos valores em função da amostra (HAIR et al., 2009).

Tabela 2 - Correlações canônicas (R), variância compartilhada (R^2), variância explicada no grupo de caracteres do sistema radicular ($R^2_{(1)}$), variância explicada no grupo de caracteres da parte aérea ($R^2_{(2)}$), índice de redundância para o grupo de caracteres do sistema radicular ($RI_{(1|2)}$), índice de redundância para o grupo de caracteres da parte aérea ($RI_{(2|1)}$) e teste de Lambda de Wilks para as três funções canônicas entres os grupos de caracteres do sistema radicular e do grupo de caracteres da parte aérea de mudas *Coffea arabica* L. cv. Acaia Cerrado MG 1474 obtidas por enraizamento de miniestacas.

Função Canônica	R	R^2	$R^2_{(1)}$	$R^2_{(2)}$	$RI_{(1 2)}$	$RI_{(2 1)}$	Teste de Lambda de Wilks		
							GL	F	p-valor
1	0,8589	0,7378	0,8501	0,5515	0,6272	0,4069	15	19,25	0,0000
2	0,2682	0,0719	0,1441	0,1175	0,0104	0,0085	8	1,81	0,0748
3	0,1283	0,0165	0,0057	0,0776	0,0000	0,0013	3	0,87	0,4580

As cargas canônicas ou correlações estruturais canônicas referem-se à correlação linear simples entre um dos caracteres nos grupos do sistema radicular ou da parte aérea, e a variável canônica do grupo em questão. A carga canônica reflete, portanto, a variância de um determinado caractere avaliado com a variável estatística canônica do respectivo grupo, ou seja, quantifica a contribuição relativa de um caractere na explicação da variância do grupo (HAIR et al., 2009). Quanto mais alta a carga canônica, maior a importância do caractere no grupo. Já as cargas canônicas cruzadas quantificam as correlações de cada um dos caracteres do sistema radicular diretamente com a variável canônica da parte aérea e vice-versa. Portanto, as cargas canônicas cruzadas permitem uma melhor avaliação direta do relacionamento entre os caracteres do sistema radicular e os da parte.

Na Tabela 3, são apresentadas as cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas (L^2), cargas canônicas cruzadas (CL) e variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas (CL^2) para os caracteres das mudas clonais obtidas por estacas.

Observa-se que no grupo dos caracteres do sistema radicular, todos apresentaram elevadas cargas canônicas, sendo que o PRS apresentou a maior correlação com a variável canônica do sistema radicular (0,9893), seguida da ARZ e VRZ. Todos apresentaram variância compartilhada de alta magnitude, destacando-se a variância compartilhada da PRS (0,9786) sendo esta, portanto, o caractere que foi mais bem explicado pela variável canônica do sistema radicular, já que aproximadamente 98% da variância foram compartilhadas pela variável canônica com este caractere. Em relação aos caracteres da parte aérea, o PFS e NOF apresentaram as maiores correlações com a variável canônica da parte aérea, apresentando cargas canônicas de 0,9578 e 0,7382 respectivamente, porém, apenas a PFS teve maior variância compartilhada pela variável canônica da parte aérea (0,9173).

Ao analisar as cargas canônicas cruzadas, observa-se que no grupo dos caracteres do sistema radicular, o PRS apresenta a maior correlação com a variável canônica da parte aérea (0,6508). Com esse resultado, pode-se inferir que há uma relação entre os caracteres da parte aérea com o PRS nas mudas clonais de estacas. Para as cargas canônicas cruzadas estabelecidas para os caracteres da parte aérea, observa-se que o PFS apresentou uma correlação considerável com a variável canônica do sistema radicular, tendo-se, portanto, evidências de uma relação entre as características do sistema radicular com a PFS.

Tabela 3 - Cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas (L^2), cargas canônicas cruzadas (CL) e variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas (CL^2) referentes às variáveis canônicas da parte aérea e a do sistema radicular da primeira função canônica para mudas obtidas por meio de enraizamento de estacas

Caracteres	L	L^2	CL	CL^2
Parte aérea				
PCS	-0,1256	0,01579	-0,08266	0,006833
DIM	-0,4587	0,2104	-0,3018	0,09106
ALT	-0,6031	0,3638	-0,3968	0,1575
PFS	-0,9578	0,9173	-0,6301	0,397
NOF	-0,7382	0,5449	-0,4857	0,2359
Sistema radicular				
PRS	-0,9893	0,9786	-0,6508	0,4236
ARZ	-0,8810	0,7762	-0,5796	0,336
VRZ	-0,8927	0,7968	-0,5873	0,3449

Observa-se que 42% da variância da PRS e 40% da variância da PFS, aproximadamente, são explicados pela função canônica 1, e que valores maiores dos caracteres PFS, NOF, ALT estão associados a valores maiores de PRS, ARZ e VRZ nas mudas clonais de *Coffea arabica* obtidas a partir de estacas.

Na Tabela 4, são apresentadas as cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas (L^2), cargas canônicas cruzadas (CL) e

variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas (CL^2) para os caracteres das mudas clonais obtidas por enraizamento de miniestacas.

Tabela 4 - Cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas (L^2), cargas canônicas cruzadas (CL) e variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas (CL^2) referentes às variáveis canônicas da parte aérea e a do sistema radicular da primeira função canônica para mudas obtidas por meio de enraizamento de miniestacas

Variáveis originais	L	L^2	CL	CL^2
Parte aérea				
PCS	-0,5268	0,2775	-0,4525	0,2048
DIM	-0,6355	0,4038	-0,5458	0,2979
ALT	-0,8034	0,6454	-0,69	0,4761
PFS	-0,9811	0,9625	-0,8427	0,7101
NOF	-0,6844	0,4684	-0,5878	0,3455
Sistema radicular				
PRS	-0,9999	0,9998	-0,8588	0,7376
ARZ	-0,884	0,7815	-0,7593	0,5766
VRZ	-0,877	0,7691	-0,7533	0,5674

Na relação entre o grupo dos caracteres do sistema radicular e o grupo dos caracteres da parte aérea das mudas obtidas por enraizamento de miniestacas, observa-se que no grupo dos caracteres do sistema radicular, todos os caracteres apresentaram elevadas cargas canônicas, com destaque para o PRS que apresentou a maior correlação de 0,9999 com a variável canônica do sistema radicular, todos os caracteres apresentaram variância compartilhada de alta magnitude, da mesma forma que foi observada para as relações dos grupos dos caracteres das mudas clonais obtidas por enraizamento de estacas.

Em relação aos caracteres da parte aérea, estes apresentaram cargas canônicas maiores do que as observadas em mudas clonais de estacas, sendo que o PFS, ALT e NFO foram os caracteres que tiveram as maiores correlações com a variável canônica da parte aérea. Nesses caracteres, o compartilhamento da variância pela variável canônica da parte aérea foi de 0,9625, 0,8034 e 0,6844 respectivamente.

Ao analisar as cargas canônicas cruzadas, observa-se que no grupo dos caracteres do sistema radicular, os caracteres PSR, ARZ e VRZ apresentam correlações de alta magnitude com a variável canônica da parte aérea (0,8588; 0,7593 e 0,7533 respectivamente). Com esse resultado, pode-se inferir que há uma relação entre os caracteres do sistema radicular com os caracteres da parte aérea em mudas clonais obtidas por enraizamento de miniestacas. O mesmo não foi observado nas mudas clonais de estacas, nas quais apenas o PRS apresentou uma relação considerável ($> 0,70$) com a variável canônica da parte aérea.

Para as cargas canônicas cruzadas estabelecidas para os caracteres da parte aérea, observa-se que o PFS apresentou uma correlação alta (0,8427) com a variável canônica do sistema radicular, tendo-se, portanto, evidências de uma relação alta entre o PFS com os caracteres do sistema radicular. Apesar das cargas canônicas cruzadas para ALT e NOF serem de magnitude um pouco inferior, as mesmas apresentaram, em valor, uma correlação com a variável canônica do sistema radicular maior do que aquelas observadas nas mudas clonais obtidas por estacas.

Na literatura são escassos os trabalhos de associação de caracteres da parte aérea e do sistema radicular, principalmente envolvendo mudas clonais de *Coffea arabica*. Em mudas clonais de guaranazeiro (*Paullinia cupana*), NASCIMENTO FILHO et al. (2012) estudaram as relações entre os caracteres da parte aérea e do sistema radicular e observaram uma alta associação entre os grupos de caracteres, com uma correlação canônica de 0,95. Os autores observaram ainda, uma associação alta entre o comprimento do ramo das mudas com a peso das raízes e concluíram que a seleção baseada em caracteres da parte aérea das mudas clonais de guaranazeiro pode melhorar os caracteres do sistema radicular, principalmente selecionando-se mudas com maior comprimento do ramo. Ainda, segundo os autores, pode-se praticar seleção de clones de guaraná

para maior peso de raiz sem a necessidade de destruir as mudas, de modo indireto, realizando-se apenas mensurações do comprimento dos ramos.

De maneira geral, há uma relação considerável entre os caracteres do sistema radicular, principalmente o PRS, com os caracteres da parte aérea, principalmente o PFS, em mudas clonais obtidas tanto por enraizamento de estacas, quanto por enraizamento de miniestacas. A identificação e a magnitude dessas relações são importantes para o desenvolvimento de estratégias visando à otimização do processo de produção de mudas clonais, visto que se pode obter ganhos nos caracteres do sistema radicular de forma indireta, promovendo ganhos nos caracteres da parte aérea, principalmente no PFS nas mudas clonais de estacas e nos caracteres PFS, ALT e NOF nas mudas clonais de miniestacas.

CONCLUSÕES

Há relação entre o grupo de caracteres do sistema radicular e o grupo de caracteres da parte aérea em mudas clonais de *Coffea arabica* L. cv. Acaiá Cerrado MG 1474 obtidas tanto por enraizamento de estacas, quanto por miniestacas.

Em mudas clonais obtidas por enraizamento de estacas, o maior peso das folhas secas está relacionado com o maior peso das raízes secas.

Para mudas clonais obtidas por enraizamento de miniestacas, o maior peso das folhas secas, altura das mudas e número de folhas estão relacionados com o maior peso das raízes secas, área e volume das raízes.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J.; GUIMARÃES, R. J. Sintomas de desordens fisiológicas em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 169–215.
- ATROCH, A. L.; et al. Correlações canônicas entre características da parte aérea e do sistema radicular em mudas de guaranazeiro. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 2, 4 jul. 2011. Disponível em: <<http://submission.scielo.br/index.php/aa/article/view/49499>>. Acesso em: 23 mar. 2016.
- BUTTS, C. T. **Yacca: yet another canonical correlation analysis package**. .. R package version, 2012.
- CRUZ, C. D.; et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. v. 1
- FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2011.
- HAIR, J. F. et al. **Multivariate data analysis**. 7 edition ed. [s.l.] Pearson, 2009.
- HARDIN, J.; ROCKE, D. M. Outlier detection in the multiple cluster setting using the minimum covariance determinant estimator. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 44, n. 4, p. 625–638, 28 jan. 2004.
- HENRIQUE, P. de C. et al. Physiological aspects of seedling development of coffee grown under colored screens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 458–465, maio 2011.
- HOTELLING, H. Relations between two sets of variates. **Biometrika**, v. 28, n. 3-4, p. 321–377, 1 dez. 1936.
- JESUS, A. M. S. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2003. 173 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

- JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **Safira: manual de utilização**. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, 2010.
- KORKMAZ, S. et al. MVN: An R Package for Assessing Multivariate Normality. **The R Journal**, v. 6, n. 2, p. 151–162, 2014.
- MARQUES, P. A. A. et al. Hydrogel as a substitute for irrigation in screened seed nursery coffee. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 1–7, jan. 2013.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Editora UFMG, 2005.
- NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Associação entre características da parte aérea e do sistema radicular em mudas de guaranazeiro por correlações canônicas. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 2, p. 241–244, 2012.
- PAIVA, L. C. et al. Influence of different shading levels on the growth of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 1, p. 134–140, fev. 2003.
- POZZA, A. A. A. et al. Effects of substrate type and supplementary fertilization on vegetative growth, mineral nutrition, production costs, and brown eye spot of coffee seedlings in stiff plastic containers. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 685–692, jun. 2007.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.
- REZENDE, T. T. et al. Types of stem cuttings and environments on the growth of coffee stem shoots. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 5, p. 387–391, 2010.
- ROUSSEEUW, P. J.; VAN ZOMEREN, B. C. Unmasking Multivariate Outliers and Leverage Points. **Journal of the American Statistical Association**, v. 85, n. 411, p. 633–639, 1990.
- VALLONE, H. S. et al. Recipients and substrates in the production of seedlings and initial development of coffee trees after planting. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1327–1335, out. 2009.

VALLONE, H. S. et al. Effect of different recipients and substrata used in the production of coffee tree seedlings in the initial development in greenhouse under water stress. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 320–328, abr. 2010.

**ARTIGO 3 - RELAÇÕES ENTRE OS CARACTERES DA PARTE
AÉREA E DAS RAÍZES COM O PESO DO SISTEMA RADICULAR DE
MUDAS CLONAIIS DE CAFEEIROS**

(VERSÃO PRELIMINAR)

**Artigo submetido à Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira
Relations among characteristics the shoot and root system with the dry
weight of roots in coffee trees clonal cuttings**

Resumo - Na avaliação de qualidade das mudas de cafeeiros, várias características são utilizadas. Dentre essas, o peso das raízes secas se destaca, visto que, além de representar uma proporção significativa de biomassa alocada pela planta, o desenvolvimento inicial dessas no campo é dependente do bom crescimento do sistema radicular. Dessa forma, objetivou-se com este estudo obter informações sobre as relações de causa e efeito entre o peso das raízes secas e os componentes de crescimento da parte aérea e do sistema radicular de mudas clonais de cafeeiros, por meio da análise de trilha. Utilizou-se neste estudo, um conjunto de dados provenientes de um experimento instalado para a avaliação do tipo de miniestacas e do volume de tubete na produção de mudas clonais de cafeeiros. As correlações entre o peso das raízes secas e os componentes de crescimento da parte aérea e do sistema radicular foram desdobradas por meio da análise de trilha. Observou-se que o aumento do peso das folhas secas, da área e do volume de raízes favorece o aumento do peso das raízes secas. Já o aumento em altura e em número de folhas favorece o aumento do peso das raízes secas de forma indireta, principalmente pelo peso das folhas secas.

Termos para indexação: Clonagem, sistema radicular, *Coffea arabica*.

Relations between the characters of the shoot and of the roots with the weight of the root system of clonal seedling of coffee plants

ABSTRACT

When evaluating the quality of coffee seedlings, many characters are used. Among these, the weight of dry roots is highlighted, given that, in addition to representing a significant portion of the biomass allocated by the plant, their initial development in the field depends on the good growth of the root system. Thus, with this study, we aimed at obtaining information regarding the relations of cause and effect between dry root weight and the growth components of the shoot and of the root system of clonal coffee seedlings, by means of path analysis. We used a set of data originated from an experiment installed for the evaluation of the type of mini-cutting and of the volume of tube in the production of clonal coffee seedlings. The correlations between the weight of the dry roots and the growth components of the shoot and of the root system were unfolded by means of the path analysis. We verified that the increase in the weight of the dry leaves, area and volume of the roots favored the increase in the weight of dry roots. The increase in plant height and number of leaves favors, indirectly, the increase in weight of dry roots, especially with the weight of the dry leaves.

Indexation terms: Cloning, root system, *Coffea arabica*.

Introdução

A cafeicultura é uma atividade de elevada importância no cenário do agronegócio brasileiro, e dentre os fatores que contribuem para o seu desenvolvimento, destaca-se o melhoramento genético do cafeeiro, por disponibilizar aos agricultores cultivares produtivas com qualidades agrônômicas superiores. A introdução de métodos biotecnológicos, como a clonagem de plantas por estaquia, nos programas de melhoramento genético do cafeeiro pode ser útil e favorecer o desenvolvimento de novas cultivares em um período de tempo menor, por possibilitar a seleção e multiplicação de plantas em qualquer etapa de um programa de melhoramento, e assim lançar novas cultivares produtivas e portadoras de características que se expressem em heterozigose.

Para se alcançar altas produtividades e, conseqüentemente, sucesso na produção, a produção de mudas de alta qualidade genética e fitossanitária constitui-se um requisito indispensável. Apesar de ser um dentre vários fatores envolvidos na cadeia produtiva, as mudas devem ser produzidas dentro de padrões mínimos de qualidade para que a lavoura tenha um bom desenvolvimento inicial no campo.

Na cultura do cafeeiro, há consenso sobre a importância do processo de formação de mudas para o sucesso da lavoura (Guimarães, 1995; Guimarães et al., 2004) e que falhas na formação da muda causam desenvolvimento irregular do cafezal, atraso no início da fase produtiva e redução do rendimento da cultura (Guimarães et al., 1989).

A maioria das pesquisas sobre a produção de mudas tem-se concentrado basicamente no crescimento, desenvolvimento e funcionamento da parte aérea. Os estudos relacionados ao sistema radicular têm, na maioria, apenas a quantificação do peso das raízes secas, que é utilizada para determinar a relação raiz/parte aérea (Fernandes et al., 2005). Raramente são mensurados o volume e

a área superficial das raízes, características que permitem avaliar a área potencial para absorção de água e minerais do solo e sua relação com o dossel (Fernandes et al., 2005).

Os caracteres do sistema radicular apresentam uma relação complexa, envolvendo a associação de diferentes fatores influenciados pelo ambiente, como pragas, patógenos, nutricionais e genéticos. Assim, para que seja possível a produção de mudas que apresentem um sistema radicular robusto, bem desenvolvido e que garanta o desenvolvimento da planta no campo, faz-se necessário o conhecimento das associações entre os caracteres que estão envolvidas na qualidade das mudas. Porém, o simples estudo das associações entre esses caracteres não permite conhecer as relações de causa e efeito envolvendo um complexo conjunto de caracteres. Nesse caso, o emprego de metodologias específicas, como, por exemplo, a análise de trilha, auxilia no entendimento das reais relações entre os caracteres (Wright, 1921; Li, 1975).

A análise de trilha ou coeficiente de trilha foi desenvolvida com o objetivo de fornecer meios de se calcular o grau com que um dado efeito é determinado por uma das causas em um sistema complexo de caracteres correlacionados (Cruz et al., 2014). Assumindo que estes caracteres estejam relacionados de forma aproximadamente linear e que as influências das várias causas se combinam, também aproximadamente, por aditividade, o coeficiente de trilha medirá a importância de um dado relacionamento, ou passo de influência, a partir de uma causa até o seu efeito (Carvalho, 1995). O método da análise de trilha tem sido utilizado para estudo de inter-relacionamento de caracteres em várias outras culturas (Carvalho, 1995; Carvalho et al., 1999; Toebe & Cargnelutti Filho, 2013). Para a análise de trilha, o grau de influência de uma variável sobre a outra deve ser expresso em termos quantitativos. A partir de um diagrama causal efetua-se a análise, a qual consiste em subdividir essa influência em efeitos direcionais diretos e indiretos. Desse modo, são

determinados os valores correspondentes a esses efeitos, os quais são denominados coeficientes de caminhamento ou coeficientes de trilha (Wright, 1921; Li, 1975; Carvalho, 1995; Cruz et al., 2014). A complexidade dos fatores que atuam na determinação da qualidade de mudas e a necessidade de maior eficiência no processo de formação destas requerem o conhecimento do sistema de causa e efeito entre esses caracteres, permitindo assim a adoção de estratégias que maximizem o desenvolvimento do sistema radicular. As adaptações do manejo durante a produção de mudas clonais por enraizamento de miniestacas, por meio do conhecimento das relações de causa e efeito entre os caracteres da muda, poderão ser de grande importância para otimizar o processo de produção de mudas clonais de alta qualidade. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho obter informações sobre as relações de causa e efeito entre o peso das raízes secas e os componentes de crescimento da parte aérea e do sistema radicular, por meio da análise de trilha.

Material e Métodos

No presente estudo, utilizou-se um conjunto de dados obtidos por mensurações efetuadas em 177 mudas clonais de *Coffea arabica* obtidas por enraizamento de miniestacas. O experimento foi conduzido no período de julho a outubro de 2013 no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, junto à Agência de Inovação do Café - INOVACAFÉ, localizada no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

Para a obtenção das mudas clonais originadas por enraizamento de miniestacas, foram utilizados segmentos caulinares de ramos ortotrópicos coletados em mudas da cultivar Acaiá Cerrado MG 1474 com 18 meses de idade. Os segmentos caulinares foram coletados conforme metodologia proposta por Jesus (2003), de forma a terem um par de folhas cortadas a 1/2 de sua área. Os segmentos caulinares foram mergulhados em solução de hipoclorito de sódio

a 0,05% por dez minutos e posteriormente lavados para retirar o excesso da solução. As bases das miniestacas foram imersas em talco contendo o Ácido-Indol-Butírico (AIB) na concentração de 4.000 mg kg^{-1} , e então colocadas em tubetes contendo substrato de areia e vermiculita na proporção de 1:1. Neste experimento, foram avaliados dez tratamentos em esquema fatorial 5×2 , constituídos das combinações dos tipos de miniestacas oriundas de diferentes porções do ramo ortotrópico (apical, semiapical, intermediária, semibasal e basal) e dois volumes de tubete (50 e 120 cm^3), em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por seis miniestacas. O substrato utilizado foi o de areia lavada e vermiculita na proporção de 1:1 com adubo de liberação controlada Osmocote Plus® com as seguintes concentrações de minerais: 15% de N; 9% K_2O ; 12% de P_2O_5 ; 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo, na dose de $12,5 \text{ g L}^{-1}$. Foi fornecida uma solução de sacarose com concentração de 50 g L^{-1} via foliar, a cada 21 dias, a partir do início do experimento.

Aos 120 dias após a instalação o experimento, foram avaliados os seguintes caracteres: peso (g) das raízes secas (PRS); área (cm^2) das raízes (ARZ); volume (cm^3) das raízes (VRZ); peso (g) do caule seco (PCS); diâmetro (mm) do broto (DIM); altura (cm) da muda (ALT); peso (g) das folhas secas (PFS) e número total de folhas (NOF). Para a quantificação do peso das raízes, do caule (miniestacas mais brotos) e das folhas secas, os materiais foram acondicionados separadamente, em sacos de papel identificados e foram levados para uma estufa de circulação de ar forçada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, onde permaneceram até atingirem peso constante e, posteriormente, foram pesados com o uso de uma balança analítica modelo BG 2000 com precisão 0,01 g. Para a mensuração das variáveis do sistema radicular (ARZ e VRZ), foram tomadas imagens digitais das raízes e posteriormente, as imagens foram analisadas por meio do *software* Safira (Jorge & Silva, 2010). O diâmetro do broto foi mensurado logo abaixo do

primeiro nó do maior broto da muda, ou seja, foi mensurado no maior broto que surgiu na miniestaca, em mudas que apresentaram dois brotos. A altura foi medida tomando como referência a inserção do broto na estaca ou miniestaca, e também foi mensurada no maior broto daquelas mudas com dois brotos. Para o número total de folhas foi considerado o somatório do número de folhas novas nos brotos e do número de folhas remanescentes nas miniestacas.

Utilizou-se a análise de trilha para desdobrar as correlações entre o peso das raízes secas e os componentes de crescimento da parte aérea e do sistema radicular de mudas clonais em componentes de efeito diretos e indiretos. Para isolar os possíveis efeitos dos tipos de miniestacas oriundos de diferentes posições no ramo ortotrópico e dos volumes dos tubetes nas variáveis respostas, a análise de trilha foi efetuada considerando os resíduos (erros) provenientes do ajuste de um modelo multivariado, no qual se considerou como variáveis dependentes os caracteres avaliados e como variáveis independentes os fatores posição da miniestaca no ramo ortotrópico, o volume do tubete e a interação destes.

Antes de ajustar o modelo multivariado, foi ajustado um modelo univariado para a verificação da normalidade dos resíduos de cada caractere avaliado. O pressuposto de normalidade foi verificado por meio do teste de Shapiro-Wilk. Para os caracteres que tiveram algum indício de fuga da distribuição normal dos resíduos, procedeu-se a transformação de Box-Cox, objetivando a adequação dos resíduos à distribuição normal. Em seguida, os dados originais ou transformados foram padronizados (média zero e variância unitária) e procedeu-se ao ajuste do modelo multivariado e em seguida, foram obtidos os resíduos.

Tomou-se por variável básica o PRS e como variáveis explicativas a ARZ, VRZ, PCS, DIM, ALT, PFS E NOF, conforme o diagrama causal representado na Figura 1.

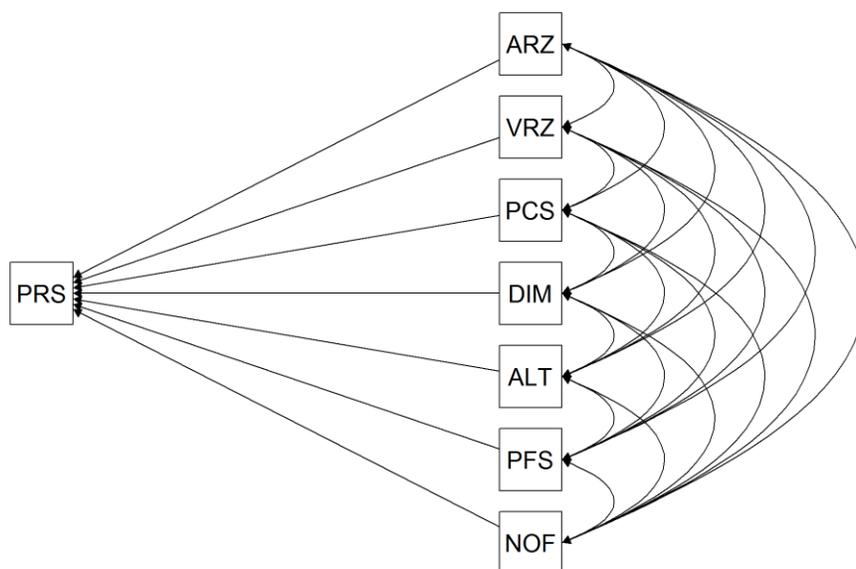


Figura 1 Representação gráfica dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas área das raízes (ARZ), volume das raízes (VRZ), peso do caule seco (PCS), diâmetro do broto (DIM), altura das mudas (ALT), peso das folhas secas (PFS) e número total de folhas (NOF) sobre a variável básica peso das raízes secas (PRS) de mudas clonais de *Coffea arabica* L. cv. Acaiá Cerrado MG 1474 obtidas por meio de enraizamento de miniestacas

Foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade, por meio da análise dos autovalores e autovetores da matriz de correlação das variáveis explicativas do modelo causal, pelo número de condição (NC) e também pelos fatores de inflação de variância, conforme Carvalho (1995).

Para evitar os efeitos da multicolinearidade sobre a estimação dos coeficientes de trilha, a análise de trilha foi feita utilizando o método de crista, ou regressão em crista, o qual Carvalho (1995) adaptou para a análise de trilha.

Todos os procedimentos para a realização das análises foram feitos por meio do *software* R versão 3.2.4 (R Core Team, 2016).

Resultados e Discussão

Na análise de trilha, a confiabilidade dos coeficientes de trilha depende do grau da multicolinearidade existente entre as variáveis explicativas do modelo casual, visto que na presença de multicolinearidade, as variâncias associadas aos estimadores são elevadas, tornando as estimativas dos coeficientes de regressão pouco confiáveis (Carvalho, 1995; Kline, 2010).

Em uma análise prévia dos coeficientes de correlação entre as variáveis explicativas, pode-se detectar a presença de multicolinearidade se houver correlações de magnitude alta entre pares de variáveis. Na Tabela 1, pode-se observar que o maior coeficiente de correlação ocorre entre as variáveis explicativas ARZ e VRZ (0,9876). Correlações de magnitude alta indicam a existência de multicolinearidade. No entanto, é importante ressaltar que essa condição é suficiente para a existência de efeitos danosos da multicolinearidade, mas não necessária, isto é, há a possibilidade de efeitos sérios da multicolinearidade mesmo na ausência de correlação alta entre quaisquer pares de variáveis explicativas (Cruz et al., 2014).

Tabela 1 Coeficientes de correlação linear entre as variáveis explicativas área das raízes (ARZ), volume das raízes (VRZ), peso do caule seco (PCS), diâmetro do broto (DIM), altura das mudas (ALT), peso das folhas secas (PFS) e número total de folhas (NOF) de mudas clonais de *Coffea arabica* L. cv. Acaiá Cerrado MG 1474 obtidas por meio de enraizamento de miniestacas.

	ARZ	VRZ	PCS	DIM	ALT	PFS	NOF
ARZ	1						
VRZ	0,9876	1					
PCS	0,4754	0,4696	1				
DIM	0,5591	0,5662	0,4843	1			
ALT	0,7033	0,6933	0,4326	0,5288	1		
PFS	0,764	0,7551	0,5999	0,546	0,7453	1	
NOF	0,5536	0,5586	0,3651	0,3383	0,6073	0,709	1

Ocorrendo correlação perfeita entre as variáveis explicativas, é possível ajustar perfeitamente infinitos modelos de regressão aos dados, o que impossibilita interpretar qualquer efeito das variáveis explicativas sobre a variável considerada como principal no modelo de regressão (Carvalho, 1995). No entanto, os problemas causados pela multicolinearidade não são devidos simplesmente à presença, mais sim ao grau com que se manifesta.

A análise dos autovalores da matriz de correlação das variáveis explicativas, por meio do número de condição, que é a razão entre o maior e o menor autovalor, bem como a decomposição dessa matriz de correlações em valores singulares e a relação do valor singular maior e os demais, chamado de índice de condição, fornecem informações acerca do grau de multicolinearidade entre as variáveis explicativas. Segundo Montgomery e Peck (1981), o número de condição menor que 100 indica uma multicolinearidade fraca, de 100 a 1.000, de moderada a forte e acima de 1.000 indica uma multicolinearidade severa. Para o índice de condição, valores entre 10 a 30 indicam a ocorrência de multicolinearidade moderada e valores acima de 30 implicam em uma multicolinearidade forte (Belsley, 1991). Desse modo, observando-se esses

valores na Tabela 2 é possível determinar que a multicolinearidade existente na matriz de correlação entre as variáveis explicativas é de moderada a severa, visto que o número de condição foi de 386,86 e entre os índices de condição, foi observado um valor superior a 10.

A análise de trilha, quando realizada com alto grau de multicolinearidade, pode apresentar elevadas estimativas dos efeitos diretos e indiretos com valores em módulo superiores a 1 e, portanto, sem sentido biológico, conforme já verificado nas culturas de pimentão (Carvalho et al., 1999), milho (Toebe & Cargnelutti Filho, 2013) e soja (Carvalho, 1995). Portanto, é imprescindível o diagnóstico de multicolinearidade, uma vez que, a interpretação dos efeitos diretos e indiretos estimados em análises de trilha com alto grau de multicolinearidade não expressam valores reais de relações de causa e efeito entre as variáveis.

Os exames dos coeficientes de correlação, dos autovalores e dos valores singulares são capazes de detectar a presença e intensidade da multicolinearidade, mas são pouco informativos, pois são incapazes de identificar as variáveis envolvidas na multicolinearidade (Carvalho, 1995).

Para a identificação das possíveis variáveis envolvidas na multicolinearidade, pode-se avaliar os fatores de inflação de variância (VIF), os quais quantificam o quanto a variância dos coeficientes estimados da análise de trilha está inflada em comparação a quando as variáveis explicativas não são relacionadas linearmente. Segundo Kutner et al. (2005), valores de VIF maiores que 10 indicam que as estimativas dos coeficientes associados a esses VIFs estão influenciadas pela multicolinearidade. Observando a Tabela 2, nota-se que as variâncias das estimativas dos coeficientes para ARZ e VRZ estão demasiadamente inflacionadas. Além do VIF, a análise simultânea dos valores singulares e das proporções da decomposição da variância dos coeficientes, possibilita a identificação das variáveis envolvidas na multicolinearidade.

Proporções de variância altas em um determinado coeficiente associadas a valores singulares baixos constituem um indicativo de que esse valor singular está associado à multicolinearidade, que por sua vez, está influenciando as variâncias do coeficiente em questão (Carvalho, 1995; Cruz et al., 2014).

Tabela 2 Autovalores (λ_j), valores singulares (μ_j), índices de condição (η_j), fator de inflação de variância (VIF_j) e proporções da decomposição da variância das estimativas dos coeficientes relativos aos efeitos diretos entre o peso das raízes secas e as variáveis explicativas, das mudas clonais de *Coffea arabica* L. cv. Acaíá Cerrado MG 1474 obtidas por enraizamento de miniestacas.

Variável	λ_j	μ_j	η_j	VIF _j	Proporção da decomposição da variância das estimativas dos coeficientes						
					$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_7$
ARZ	4,509	2,126	1,000	43,540	0,0009	0,0009	0,0125	0,0139	0,0133	0,0094	0,0123
VRZ	0,776	0,881	2,411	42,488	0,0003	0,0003	0,3237	0,2298	0,0222	0,0022	0,1409
PCS	0,647	0,804	2,640	1,613	0,0060	0,0063	0,2637	0,0715	0,0003	0,0193	0,1860
DIM	0,527	0,726	2,924	1,645	0,0054	0,0053	0,1868	0,4845	0,1089	0,0000	0,0311
ALT	0,345	0,587	3,616	2,483	0,0003	0,0009	0,0256	0,1882	0,6938	0,0023	0,3616
PFS	0,184	0,429	4,950	4,289	0,0009	0,0019	0,1877	0,0000	0,1545	0,9542	0,2527
NOF	0,012	0,109	19,564	2,115	0,9861	0,9844	0,0000	0,0121	0,0070	0,0125	0,0153
Estimativa dos efeitos diretos					0,5196	0,0477	-0,0988	0,0413	0,0163	0,4827	-0,0488

Analisando a proporção da decomposição da variância dos coeficientes associados ao componente de menor valor singular na Tabela 2, pode-se observar que as variáveis explicativas ARZ e VRZ são as que mais contribuem para o alto grau de multicolinearidade da matriz de correlação, pois apresentam as maiores proporções da decomposição da variância (0,9861 e 0,9844, respectivamente) associadas ao componente que apresenta o menor valor singular (0,1085). Portanto, os efeitos diretos de ARZ e VRZ sobre o PRS não expressam os valores reais das relações de causa e efeito.

O método de análise de trilha baseada na regressão em crista foi utilizado neste trabalho em alternativa ao de mínimos quadrados na presença de multicolinearidade. Esse método para a estimação dos coeficientes de trilha na presença de multicolinearidade foi proposto e usado por Carvalho (1995) baseado na análise de regressão em crista. Na Figura 2, é esquematizado o gráfico de crista para os coeficientes de trilha. Procurou-se determinar o menor valor de k para o qual a maioria dos coeficientes de trilha se estabilizam (Montgomery & Peck, 1981; Carvalho, 1995). Pelo exame do gráfico de crista, verifica-se que essa estabilização para os coeficientes de trilha, que estão influenciados pela multicolinearidade, pode ser considerada aceitável para $k = 0,05$.

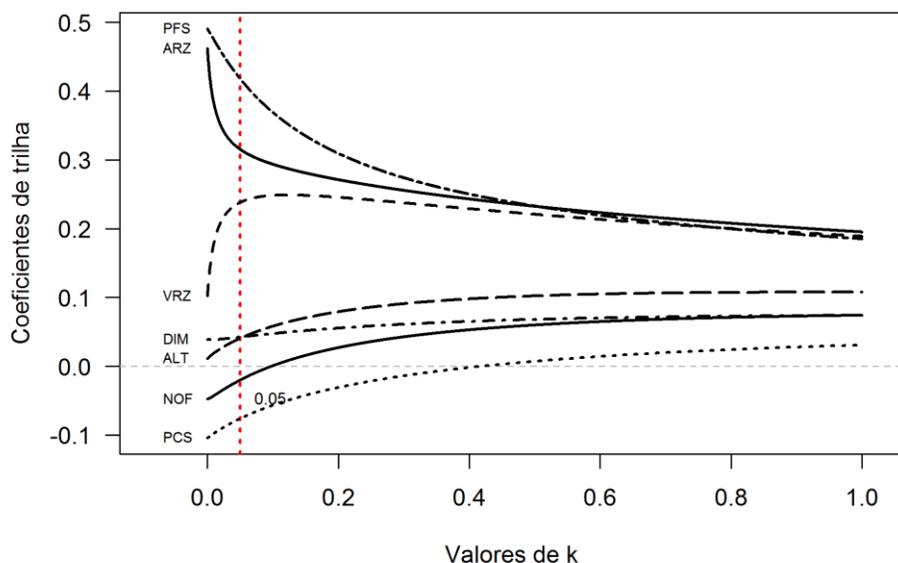


Figura 2 Valores dos efeitos diretos das variáveis explicativas área das raízes (ARZ), volume das raízes (VRZ), peso do caule seco (PCS), diâmetro do broto (DIM), altura das mudas (ALT), peso das folhas secas (PFS) e número de folhas (NOF) sobre o peso das raízes secas (PSR) de mudas clonais de *Coffea arabica* L. cv. Acaiá Cerrado MG 1474 obtidas por meio de enraizamento de miniestacas, em função de valores dos coeficientes de crista (k).

Assim foram estimados os efeitos diretos e indiretos dos sete caracteres de crescimento da parte aérea e do sistema radicular sobre o peso das raízes secas, como apresentados na Tabela 3.

Observa-se que as variáveis explicativas PFS e ARZ apresentaram os maiores valores de correlação e efeito direto sobre a PRS. Além disso, o PFS apresentou razoáveis efeitos indiretos, via ARZ (0,2402) e via VRZ (0,1795), sobre PRS. O mesmo foi observado para as ARZ, que teve um efeito indireto alto, via a PFS e via o VRZ.

Tabela 3 Estimativas dos efeitos diretos (Dir) e indiretos (InDir) da área das raízes (ARZ), volume das raízes (VRZ), peso do caule seco (PCS), diâmetro do broto (DIM), altura das mudas (ALT), peso das folhas secas (PFS) e número total de folhas (NOF) sobre o peso das raízes secas (PRS) de mudas clonais de *Coffea arabica* L. cv. Acaia Cerrado MG 1474, obtidas por enraizamento de miniestacas.

Variáveis	Vias de associação	Estimativas	Variáveis	Vias de associação	Estimativas
ARZ	Dir sobre PRS	0,3309	ALT	Dir sobre PRS	0,0429
	InDir via VRZ	0,2348		InDir via ARZ	0,2211
	InDir via PCS	-0,0360		InDir via VRZ	0,1648
	InDir via DIM	0,0236		InDir via PCS	-0,0327
	InDir via ALT	0,0286		InDir via DIM	0,0224
	InDir via PFS	0,3184		InDir via PFS	0,3106
	InDir via NOF	-0,0109		InDir via NOF	-0,0120
	Total	0,8895		Total	0,7170
VRZ	Dir sobre PRS	0,2502	PFS	Dir sobre PRS	0,4387
	InDir via ARZ	0,3105		InDir via ARZ	0,2402
	InDir via PCS	-0,0355		InDir via VRZ	0,1795
	InDir via DIM	0,0239		InDir via PCS	-0,0454
	InDir via ALT	0,0282		InDir via DIM	0,0231
	InDir via PFS	0,3147		InDir via ALT	0,0303
	InDir via NOF	-0,0110		InDir via NOF	-0,0140
	Total	0,8810		Total	0,8524
PCS	Dir sobre PRS	-0,0796	NOF	Dir sobre PRS	-0,0208
	InDir via ARZ	0,1494		InDir via ARZ	0,1740
	InDir via VRZ	0,1116		InDir via VRZ	0,1328
	InDir via DIM	0,0205		InDir via PCS	-0,0276
	InDir via ALT	0,0176		InDir via DIM	0,0143
	InDir via PFS	0,2500		InDir via ALT	0,0247
	InDir via NOF	-0,0072		InDir via PFS	0,2955
	Total	0,4623		Total	0,5929
DIM	Dir sobre PRS	0,0445	Efeito Residual =	R ² =	0,8539
	InDir via ARZ	0,1757		Efeito Residual =	0,3822
	InDir via VRZ	0,1346		Número de condição =	75,379
	InDir via PCS	-0,0366			
	InDir via ALT	0,0215			
	InDir via PFS	0,2275			
	InDir via NOF	-0,0067			
Total	0,5606				

O VRZ apresentou um menor efeito direto sobre o PRS comparado com os efeitos diretos de PFS e ARZ, apesar de ter uma correlação alta com PRS, e

numericamente, próxima da correlação entre ARZ com PRS. Em razão dos efeitos indiretos do VRZ via PFS e via ARZ serem maiores do que o efeito direto, pode-se afirmar que a correlação de 0,8810 entre VRZ e PRS é resultante, em grande parte, dos efeitos indiretos proporcionados pela PFS e ARZ.

As variáveis DIM e ALT apresentaram efeitos diretos nulos sobre o PRS (0,04), apesar de estarem correlacionados expressivamente com PRS (0,5606 e 0,7170 respectivamente), mas essas correlações são proporcionadas pelos efeitos indiretos, devido, na quase totalidade, à PFS, ARZ e VRZ. O mesmo foi observado para as características PCS e NOF.

Com os desdobramentos das correlações entre os componentes de crescimento da parte aérea e do sistema radicular com o peso das raízes secas de mudas clonais de cafeeiro, foi possível estabelecer e quantificar a importância de cada um dos caracteres no acúmulo de biomassa nas raízes. Existe uma tendência de que mudas clonais com maiores PFS, ARZ e VRZ apresentem maior PRS. PCS, DIM, ALT e NOF não apresentam efeito direto na PRS, apenas efeitos indiretos, principalmente via PFS.

Nascimento Filho et al. (1993), ao estudarem o desdobramento das correlações entre os componentes de crescimento e o peso das raízes secas de mudas clonais de guaranazeiro, observaram que o diâmetro do broto apresentou o maior efeito direto no peso das raízes secas, seguido do comprimento do ramo, área foliar, número de folhas e peso da parte aérea seca. Os autores observaram que para essa espécie, o peso da parte aérea seca teve um efeito negativo de -1,396 e em todas as outras características proporcionou um efeito indireto de alta magnitude e negativo, mesmo tendo apresentado uma correlação com o peso das raízes secas de 0,911. Para mudas clonais de guaranazeiro, segundo os pesquisadores, o número de folhas apresentou baixo efeito direto no peso das raízes secas, da mesma forma que foi observado neste trabalho.

Em mudas de várias espécies o diâmetro do caule é relacionado à qualidade da muda, pois geralmente o maior diâmetro do caule está associado a mudas que têm um crescimento satisfatório tanto da parte aérea, quanto do sistema radicular. Binotto et. al. (2010) observaram que o diâmetro de mudas de *Eucalyptus grandis* produzidas por sementes, apresentou altas correlações com todos os componentes de crescimento, sendo uma das características que apresentou maior efeito direto sobre o índice de qualidade de Dickson, constituindo um bom indicador da qualidade de mudas com a vantagem de não ser necessário a destruição da muda para a avaliação da qualidade.

O crescimento em diâmetro depende da atividade cambial que, por sua vez é estimulada por carboidratos produzidos pela fotossíntese e hormônios translocados das regiões apicais. Logo, o diâmetro de colo é um bom indicador da assimilação líquida, já que depende mais diretamente da fotossíntese (Tatagiba et al., 2011).

O fato do diâmetro, do número de folhas e da altura das mudas clonais de cafeeiro não terem apresentado um efeito direto considerável no peso das raízes secas, neste trabalho, se deve, possivelmente ao desenvolvimento e crescimento inicial das raízes das miniestacas terem iniciado antes do desenvolvimento e crescimento de novas folhas e brotos e ou o crescimento da parte aérea pode ter sido mais lento, comparado ao do sistema radicular. Outro fato importante que pode ter levado a esse baixo efeito direto desses caracteres da parte aérea, com exceção do peso das folhas secas, é o da ausência do desenvolvimento de novas brotações e folhas nas estacas que apenas desenvolveram o sistema radicular.

O efeito direto do peso das folhas secas observado neste trabalho foi o maior dentre os efeitos dos demais caracteres, assim como, os efeitos indiretos, como já detalhado. Neste estudo, os caracteres peso das folhas secas e número das folhas são referentes às folhas novas, desenvolvidas a partir do início do

processo de clonagem, e também às folhas remanescentes, aquelas que já estavam presentes nas miniestacas no momento de preparo para o processo de clonagem. Possivelmente, a contribuição das folhas remanescente no peso das folhas secas, foi maior do que a das folhas novas, o que explica o fato do peso das folhas secas ter apresentado efeito direto alto sobre o peso das raízes secas, em comparação com o número de folhas. Já que para esse caractere, o máximo de contribuição são duas folhas remanescentes, ou seja, proporcionalmente, o número de folhas novas tende a ter uma contribuição maior do que o número de folhas remanescentes.

A obtenção de mudas clonais de cafeeiros por miniestacas com uma maior acumulação de biomassa é favorecida quando se propicia condições necessárias para que a miniestaca tenha um maior acúmulo de biomassa nas folhas, uma maior área e volume do sistema radicular. Assim, é importante realizar práticas de manejo que visem manter, por maior tempo possível, as folhas remanescentes e utilizar substratos que favoreçam o crescimento do sistema radicular.

No processo de propagação vegetativa de *C. arabica*, por meio de enraizamento de miniestacas, a eficiência no enraizamento, o desenvolvimento e crescimento do sistema radicular das mudas são influenciados por fatores ambientais, morfológicos e genético, visto que há certa variação no enraizamento entre diversas cultivares e progênies (Jesus, 2003; Baliza et al., 2010; Oliveira et al., 2010; Rezende et al., 2010). Dessa forma, os resultados obtidos neste trabalho poderão auxiliar os programas de melhoramento genético que visem ao desenvolvimento e à obtenção de híbridos destinados à clonagem, por meio da seleção indireta, selecionando os clones que apresentem uma maior altura e número de folhas nas mudas obtidas por enraizamento de miniestacas, pois dessa forma estará selecionando, de forma indireta, clones que tenham um melhor desempenho no acúmulo de biomassa seca nas raízes.

Conclusão

Maiores peso das folhas secas e área e volume de raízes favorecem o aumento do peso das raízes secas em mudas de cafeeiros obtidas por miniestacas.

Referências

BALIZA, D. P.; REZENDE, T. R.; OLIVEIRA, D H. de; CARVALHO, S. P. de; ÁVILA, F. W.; GUIMARÃES, R. J. Growth of stem cuttings of coffee cultivars in different environments. **Magistra**, v. 22, n. 2, p. 112–117, 2010.

BELSLEY, D. A. **Conditioning diagnostics: collinearity and weak data in regression**. New York: Wiley, 1991.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **CERNE**, v. 16, n. 4, p. 457–464, dez. 2010.

CARVALHO, C. G. P. de; OLIVEIRA, V. R.; CRUZ, C. D.; CASALI, V. W. D. Path analysis under multicollinearity in green pepper. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 603–613, abr. 1999.

CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. 1995. 163 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014. v. 2

FERNANDES, A. C.; RODRIGUES, T. J. D.; MELHEIROS, E. B.; RODRIGUES, L. R. A. Initial growth of shoot and root of three alfalfa cultivars. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 51–56, mar. 2005.

GUIMARÃES, P. T. G.; CARVALHO, M. M.; MENDES, A. N. G.; BÁRTHOLO, G. F. Produção de mudas de café: coeficientes técnicos da fase de viveiro. **Informe Agropecuário**, v. 14, n. 162, p. 5–10, 1989.

GUIMARÃES, R. J. **Formação de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.):** efeitos de reguladores de crescimento e remoção do pergaminho na germinação de sementes e do uso de N e K em cobertura, no desenvolvimento de mudas. 1995. 67 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. **Cafeicultura**. Lavras: Editora UFLA, 2004.

JESUS, A. M. S. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).** 2003. 173 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **Safira: manual de utilização**. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, 2010.

KLINE, R. B. **Principles and practice of structural equation modeling**. 3rd edition ed. [s.l.] The Guilford Press, 2010.

LI, C. C. **Path analysis: a primer**. Pacific Grove, Calif: Boxwood Press, 1975.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. 4th edition. New York: Wiley-Interscience, 1981.

NASCIMENTO FILHO, F. H.; ANDO, A.; CRUZ, C. D.; GARCIA, T. B. Análise de caminhamento em mudas de guaraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 4, p. 447–452, 1993.

KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C.; NETER, J.; WILLIAM, LI. **Applied linear statistical models**. 5. ed. Boston: McGraw-Hill Irwin, 2005.

OLIVEIRA, D. H. BALIZA, D. P.; REZENDE, T. T.; CARVALHO, S. P. de; GUIMARÃES, R. J. Influência do comprimento de estacas e ambientes no crescimento de mudas cafeeiras obtidas por enraizamento. **Coffee Science**, v. 5, n. 2, p. 183–189, 2010.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

REZENDE, T. T.; BALIZA, D. P.; ÁVILA, F. W.; PASSOS, A. M. A.; GUIMARÃES, R. J. Types of stem cuttings and environments on the growth of coffee stem shoots. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 5, p. 387–391, 2010.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; DOS REIS, E. F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 251–261, 2011.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não Normalidade Multivariada E Multicolinearidade Na Análise de Trilha Em Milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 466–477, maio 2013.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, p. 557–585, 1921.

ANEXOS

As médias e os respectivos desvios-padrão dos caracteres avaliados nos dois experimentos utilizados neste trabalho são apresentados na sequência. As Tabelas 1 e 2 referem-se aos caracteres de mudas clonais de *Coffea arabica* L. obtidas por enraizamento de **estacas**. A correlação canônica para os caracteres de mudas clonais obtidas por estaquia apresentada no Artigo 2 foi feita a partir desse banco de dado. Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados as médias e os desvios-padrão dos caracteres avaliados em mudas clonais de *C. arabica* obtidas por enraizamento de **mini-estacas** oriundas de mudas da cultivar Acaíá Cerrado MG-1474, esses dados foram utilizados para a realização de parte das análises apresentadas nos Artigos 1, 2 e 3. Na Tabela 5 encontram-se as médias das proporções de enraizamento, de folhas remanescentes e brotos presentes nas mudas obtidas por enraizamento de **mini-estacas**, esses dados foram utilizados para a realização de parte das análises apresentadas no Artigo 1.

Tabela 1 Médias dos caracteres peso das raízes secas (PRS), área das raízes (ARZ), volume das raízes (VRZ) e peso do caule seco (PCS) de mudas de *Coffea arabica* L. cv. Acaiaí Cerrado MG 1474, obtidas por enraizamento de estacas.

Sacarose (g L ⁻¹)	Osmocote (g L ⁻¹)	PRS		ARZ		VRZ		PCS	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
0	0,0	0,054	0,071	6,433	7,868	0,126	0,155	0,505	0,126
	8,3	0,096	0,054	15,450	7,387	0,349	0,204	0,473	0,128
	16,7	0,063	0,044	13,960	10,820	0,348	0,299	0,511	0,198
	25,0	0,083	0,034	13,700	5,660	0,333	0,168	0,568	0,176
25	0,0	0,082	0,071	10,100	8,556	0,228	0,200	0,559	0,192
	8,3	0,111	0,054	17,630	7,576	0,453	0,221	0,596	0,177
	16,7	0,085	0,055	12,810	7,529	0,297	0,194	0,534	0,148
	25,0	0,085	0,048	14,220	7,233	0,362	0,230	0,612	0,179
50	0,0	0,066	0,070	7,493	7,361	0,174	0,185	0,621	0,203
	8,3	0,082	0,060	10,970	7,852	0,251	0,192	0,617	0,220
	16,7	0,103	0,066	14,100	7,537	0,326	0,189	0,496	0,129
	25,0	0,090	0,038	12,880	5,243	0,312	0,158	0,448	0,164

Tabela 2 Médias dos caracteres diâmetro do broto (DIM), altura da muda (ALT), peso das folhas secas (PFS) e número total de folhas (NOF) de mudas de *Coffea arabica* L. cv. Acaia Cerrado MG 1474, obtidas por enraizamento de estacas

Sacarose (g L ⁻¹)	Osmocote (g L ⁻¹)	DIM		ALT		PFS		NOF	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
0	0,0	1,895	1,056	1,556	1,436	0,310	0,136	5,167	2,239
	8,3	2,469	0,332	4,262	2,059	0,455	0,159	10,120	2,365
	16,7	2,212	0,590	4,898	3,097	0,436	0,156	8,750	2,786
	25,0	2,659	0,370	5,216	2,260	0,515	0,150	10,080	2,569
25	0,0	2,168	0,744	1,460	0,941	0,349	0,162	5,417	2,733
	8,3	2,708	0,307	4,570	2,300	0,480	0,192	10,080	2,992
	16,7	2,753	0,246	5,152	2,291	0,492	0,151	9,708	2,545
	25,0	2,643	0,320	5,599	2,430	0,575	0,167	11,290	3,029
50	0,0	2,272	0,786	1,778	0,924	0,344	0,120	5,708	2,545
	8,3	2,637	0,648	3,721	1,733	0,432	0,197	9,208	4,374
	16,7	2,490	0,428	5,829	2,453	0,560	0,160	11,080	2,701
	25,0	2,473	0,389	4,843	2,258	0,496	0,122	9,750	2,212

Tabela 3 Médias dos caracteres peso das raízes secas (PRS), área das raízes (ARZ), volume das raízes (VRZ), diâmetro médio das raízes (DRZ) de mudas de *Coffea arabica* L. cv. Acaia Cerrado MG 1474, obtidas por enraizamento de mini-estacas.

Posição mini-estaca	Volume tubete (cm ³)	PRS		ARZ		VRZ		DRZ	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Apical	50	0,073	0,043	30,130	21,550	1,619	1,546	0,991	0,344
	120	0,068	0,046	34,630	26,740	1,728	1,429	1,105	0,348
Semi-apical	50	0,058	0,046	33,500	23,190	1,816	1,516	0,988	0,317
	120	0,059	0,039	28,660	14,730	1,317	0,813	1,043	0,191
Intermediária	50	0,060	0,055	29,800	26,680	1,511	1,415	0,900	0,416
	120	0,081	0,063	38,460	29,570	1,974	1,592	1,008	0,321
Semibasal	50	0,085	0,051	40,600	24,590	2,072	1,293	1,084	0,183
	120	0,104	0,049	41,710	24,270	2,199	1,402	1,161	0,247
Basal	50	0,061	0,040	35,060	28,360	1,932	1,775	1,136	0,285
	120	0,087	0,043	44,300	22,380	2,445	1,650	1,100	0,143

Tabela 4 Médias dos caracteres peso do caule seco (PCS), diâmetro do broto (DIM), altura da muda (ALT), peso das folhas secas (PFS) e número total de folhas (NOF) de mudas de *Coffea arabica* L. cv. Acaia Cerrado MG 1474, obtidas por enraizamento de mini-estacas

Posição mini-estaca	Volume tubete (cm ³)	PCS		DIM		ALT		PFS		NOF	
		Média	Desvio-padrão								
Apical	50	0,253	0,098	1,818	0,365	5,400	3,347	0,438	0,187	6,667	1,435
	120	0,246	0,100	1,842	0,490	5,284	2,989	0,422	0,254	5,700	2,940
Semi-apical	50	0,569	0,167	1,695	0,322	7,584	3,701	0,388	0,315	9,263	2,746
	120	0,553	0,186	1,700	0,275	7,005	2,766	0,372	0,228	8,727	2,164
Intermediária	50	0,435	0,085	1,634	0,337	5,797	3,308	0,437	0,292	8,357	2,530
	120	0,414	0,126	1,704	0,262	6,965	3,492	0,508	0,403	7,200	2,984
Semibasal	50	0,413	0,114	1,742	0,286	6,511	2,994	0,602	0,211	8,778	2,333
	120	0,435	0,123	1,826	0,387	9,100	3,915	0,655	0,293	8,545	3,419
Basal	50	0,498	0,182	1,643	0,285	6,944	3,161	0,404	0,257	8,500	3,033
	120	0,553	0,161	1,903	0,382	8,922	3,160	0,524	0,243	9,348	3,142

Tabela 5 Proporções médias de mudas com duas folhas remanescentes (PMF), proporção de mudas com dois brotos (PMB) e proporção de mini-estacas enraizadas (PME) de mudas de *Coffea arabica* L. cv. Acaiá Cerrado MG 1474, obtidas por enraizamento de mini-estacas.

Posição mini-estaca	Volume tubete (cm ³)	PMF		PMB		PME	
Apical	50	0,833	0,719	0,250	0,188	0,500	0,625
	120	0,650		0,150		0,714	
Basal	50	0,842	0,805	0,474	0,415	0,950	0,875
	120	0,773		0,364		0,821	
Intermediária	50	0,857	0,765	0,571	0,500	0,700	0,708
	120	0,700		0,450		0,714	
Semi-apical	50	0,778	0,613	0,778	0,516	0,450	0,646
	120	0,545		0,409		0,786	
Semibasal	50	0,813	0,692	0,500	0,487	0,850	0,833
	120	0,609		0,478		0,821	