



AMADOR EDUARDO DE LIMA

**TÉCNICAS INOVADORAS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE
CAFÉ POR SEMENTES E ESTACAS**

**LAVRAS-MG
2021**

AMADOR EDUARDO DE LIMA

**TÉCNICAS INOVADORAS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ POR
SEMENTES E ESTACAS**

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.

Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

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

Lima, Amador Eduardo de.

Técnicas inovadoras na produção de mudas de café por
sementes e estacas / Amador Eduardo de Lima. - 2021.

96 p. : il.

Orientador(a): Rubens José Guimarães.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2021.
Bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. *Coffea canephora*. 3. Hidroponia. I.
Guimarães, Rubens José. II. Título.

AMADOR EDUARDO DE LIMA

**TÉCNICAS INOVADORAS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ POR
SEMENTES E ESTACAS**

**INNOVATIVE TECHNIQUES IN SEEDLINGS COFFEE PRODUCTION BY
SEEDS AND STEM CUTTINGS**

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 12 de fevereiro de 2021.

Dr. Alex Mendonça de Carvalho
Dra. Danielle Pereira Baliza
Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho
Dr. Virgílio Anástacio da Silva

UNESP
IF Sudeste MG
Embrapa
UFLA

Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

*Aos meus pais, Sebastião e Divina,
Aos meus irmãos e sobrinhos
À Elisa e ao nosso filho Gabriel
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela saúde, por sempre estar presente escutando as minhas preces e me fortalecendo nesta caminhada.

Aos meus pais, pelo apoio, amor, incentivo, e por estarem presentes, torcendo, e me dando força, mesmo à distância. Por me ensinarem os valores que hoje são muito importantes na minha vida, sempre me mostrando que para alcançar os meus objetivos é necessário muito trabalho, responsabilidade e dedicação.

Aos meus irmãos, pela amizade, carinho, incentivo e companheirismo.

À Elisa, por estar sempre presente, me ajudando, fortalecendo e me impulsionando a alcançar meus sonhos. Pelo amor, carinho, paciência, amizade, companheirismo e incentivo. Obrigado por trazer ao mundo o nosso Gabriel!

À toda a minha família, por estarem juntos durante esta jornada.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia e ao setor de cafeicultura, pela oportunidade de aperfeiçoamento concedida.

Às agências de fomento, FAPEMIG, Capes, CNPq e FINEP, pelo apoio por meio da aquisição, manutenção de equipamentos, e compra de materiais de consumo para a realização deste trabalho.

Ao professor Rubens José Guimarães, pela orientação, confiança, paciência, atenção, comprometimento e exemplo de excelência profissional.

Ao professor Samuel Pereira de Carvalho, que também esteve junto durante esta jornada, pelas vezes que me auxiliou, pela amizade, ensinamentos e parceria.

Ao professor Nilton Nagib Jorge Chalfun, pela disponibilidade, divisão de conhecimentos e considerações importantes no projeto.

Aos demais participantes da banca, pela disponibilidade, inspiração e por todos os ensinamentos repassados.

Aos demais professores do Departamento de Agricultura, pela valiosa contribuição na minha formação acadêmica e profissional.

Aos servidores do Laboratório de Microscopia Eletrônica (Aline Ferreira, Elisa, prof. Eduardo Alves), Cultura de tecidos (Evaldo e prof. José Eduardo), Inovacafé (Débora, Mauro e Milene).

À Marli, pela paciência e prestatividade ao longo desses anos.

Agradeço a Elisa e ao Samuel, que me auxiliaram na condução dos experimentos e análises laboratoriais. Foram muitas as pessoas que se dispuseram a me ajudar ao longo desta jornada. Saibam que sou muito grato, sei da ajuda de cada um, e agradeço a grande disposição.

A todos que de alguma forma caminharam comigo nesta jornada, minha eterna gratidão!

RESUMO

A produção de mudas com qualidade é importante para o desenvolvimento da cafeicultura, e a utilização de técnicas inovadoras de produção e clonagem podem auxiliar na melhoria genética e na qualidade das mudas. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho, avaliar a produção de mudas de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* em diferentes sistemas de produção e recipientes. Para o acompanhamento do crescimento das mudas foram avaliadas semanalmente a permanência de folhas, número de brotos e sobrevivência de estacas. Ao final dos processos de produção de mudas, foram realizadas análises de crescimento (altura da muda, diâmetro de caule, número total de pares de folhas, área foliar, área radicular, peso da matéria seca da parte aérea e raiz), fisiológicas (teores de clorofila a, b e total e condutância estomática) e anatômicas (microscopia eletrônica de varredura e microanálise de raios x). Mudas de *Coffea arabica* L. por estaquia, produzidas em sistema hidropônico modificado apresentam maior crescimento e melhores características anatômicas e fisiológicas que as produzidas em casa de vegetação com sistema de nebulização. Mudas obtidas por estaquia da espécie *Coffea canephora*, com utilização de tubetes de 50 ou 120 cm³, apresentam em sistema hidropônico modificado, maior taxa de sobrevivência de estacas, além de maior crescimento e melhores características anatômicas e fisiológicas que as produzidas em viveiro. Mudas de *Coffea arabica* produzidas por sementes, apresentam melhor desenvolvimento em sistema inovador de produção de mudas de café em hidroponia modificada em combinação com o uso de sacos de polietileno como recipiente.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. *Coffea canephora*. Hidroponia. Recipientes.

ABSTRACT

The production of quality seedlings is an important factor for the development of coffee growing, the innovative production and cloning techniques can help genetic improvement and quality of the seedlings. Thus, the aim was to evaluate the seedlings production of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* in different production systems and containers. In order to monitor the growth of seedlings, leaf permanence, number of shoots and cuttings survival were evaluated weekly. At the end of the seedling production process, growth (height, stem diameter, total number of leaf pairs, leaf area, root area, dry matter weight of the aerial part and root), physiological characteristics (chlorophyll content a, total b and stomatal conductance) and anatomical (scanning electron microscopy and x-ray microanalysis) were analyzed. *Coffea arabica* L. cuttings, produced in a modified hydroponic system has greater growth and better anatomical and physiological characteristics than those produced in a greenhouse with a nebulization system. *Coffea canephora* stem cuttings, using tubettes of 50 or 120 cm³, present in a modified hydroponic system a higher survival rate of cuttings, in addition to greater growth and better anatomical and physiological characteristics than those produced in nurseries. *Coffea arabica* seedlings, produced by seeds, present the best development in a production innovative system of coffee seedlings in modified hydroponics in combination with the use of polyethylene bags as containers.

Keywords: *Coffea arabica*. *Coffea canephora*. Hydroponics. Containers

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	10
1 INTRODUÇÃO GERAL	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 PRODUÇÃO DE MUDAS EM <i>Coffea arabica</i> L	12
2.2 PRODUÇÃO DE MUDAS EM <i>Coffea canephora</i> Pierre	15
2.3 SISTEMA HIDROPÔNICO CONVENCIONAL	17
2.4 SISTEMA HIDROPÔNICO MODIFICADO ou HIDROMUDAS	20
REFERÊNCIAS	21
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	26
ARTIGO 1 - MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA PROPAGADAS POR ESTAQUIA EM SISTEMA CONVENCIONAL E HIDROPÔNICO MODIFICADO EM DOIS VOLUMES DE TUBETES	26
1 INTRODUÇÃO	28
2 MATERIAL E MÉTODOS	29
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
CONCLUSÕES	47
ARTIGO 2 - PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Coffea canephora</i> POR MEIO DE ESTACAS EM VIVEIRO E SISTEMA HIDROPÔNICO UTILIZANDO DIFERENTES RECIPIENTES	50
1 INTRODUÇÃO	52
2 MATERIAL E MÉTODOS	54
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
CONCLUSÕES	70
ARTIGO 3 - PRODUÇÃO DE MUDAS DE DIFERENTES CULTIVARES DE <i>Coffea arabica</i> EM SISTEMA HIDROPÔNICO MODIFICADO E VIVEIRO UTILIZANDO SACOS DE POLIETILENO E TUBETES	75
1 INTRODUÇÃO	77
2 MATERIAL E MÉTODOS	78
3 RESULTADO E DISCUSSÃO	81
CONCLUSÕES	92

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cafeicultura é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, sendo o país o maior produtor e exportador mundial dessa *commodity*, atividade essa que contribui para a geração de empregos e renda. Como a maioria das propriedades são pequenas e utilizam em grande parte mão de obra da agricultura familiar, a cultura contribui para a permanência das famílias no campo. Nos últimos 15 anos houve um grande incremento na produtividade nacional, que se deve principalmente ao desenvolvimento de novas tecnologias (CONAB, 2020).

O aumento do consumo e a diminuição dos estoques mundiais vêm promovendo uma crescente demanda de café e, conseqüentemente, a procura por mudas vem aumentando para atender ampliações de áreas de cultivo, renovações de lavouras e utilização de novas cultivares com características agrônômicas desejáveis e superiores às já existentes.

Para a formação de uma boa lavoura é essencial o uso de mudas de qualidade, cultivares adaptadas e produtivas. A produção de mudas de café arábica e canéfora acontece predominantemente em viveiros com o cultivo tradicional em sacos de polietileno e substrato formado por terra de subsolo, esterco bovino curtido e fertilizantes. Esse método apesar de eficiente e de custo reduzido pode trazer diversos problemas como a utilização de solo contaminado, que pode levar doenças, pragas e plantas invasoras para as áreas a serem plantadas, utilização de grande volume de substrato, além da possibilidade de ocorrência de pião torto. Sendo assim, existe a necessidade de desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas técnicas de produção de mudas visando otimizar o uso de substrato, água, obtenção de mudas vigorosas que apresentem melhores características agrônômicas, em menor tempo, com menor risco de disseminação de pragas e doenças.

A produção de mudas em tubetes vem despertando o interesse de pesquisadores e também do setor comercial. A semeadura em tubetes induz o desenvolvimento descendente das raízes do cafeeiro sem problemas de enovelamento das mesmas como pode ocorrer nos sacos de polietileno. O sistema de hidroponia é conhecido por utilizar menor quantidade de água e substrato, além de fornecer os nutrientes necessários via solução nutritiva e diminuir a incidência de doenças sendo muito utilizado em diversas culturas agrícolas, principalmente em espécies hortícolas.

O sistema hidropônico modificado (CHALFUN; FAQUIN, 2008) tem se mostrado promissor para a obtenção de mudas de espécies frutíferas e ornamentais, com excelente qualidade para serem implantadas no campo (GOMES *et al.*, 2019; LOCARNO *et al.*, 2011, SOUZA *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2015). Contudo, estudos com essa técnica ainda são incipientes, principalmente para a produção de mudas de café.

Neste contexto, a utilização do sistema hidropônico modificado para a produção de mudas de café é uma técnica promissora, pouco estudada, e que pode contribuir para a melhoria do sistema produtivo de mudas. Desta maneira, objetivou-se com este trabalho, avaliar a produção de mudas de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* em diferentes sistemas de produção e recipientes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PRODUÇÃO DE MUDAS EM *Coffea arabica* L

O desenvolvimento e potencial produtivo de uma lavoura começa com o preparo adequado da área, correção de solo e aplicação de fertilizantes necessários. Além disso, é importante a utilização de sementes de qualidade e mudas vigorosas, livres de pragas, doenças, plantas daninhas, juntamente com a utilização de cultivares com alto potencial produtivo.

Em *Coffea arabica* L., a formação de novas lavouras é feita por mudas a partir de sementes, método possível na propagação dessa espécie, pois as plantas são autógamas, com pequena variação entre si (OLIVEIRA *et al.*, 2010). A produção de mudas por sementes é dificultada pelo processo de produção dessas sementes, que são consideradas de classe intermediária entre as recalcitrantes e ortodoxas, ou seja, toleram certo grau de desidratação, mas sua longevidade é reduzida, não suportando longos períodos de armazenamento (COELHO *et al.*, 2020; ELLIS; HONG; ROBERTS, 1990). Com dificuldades no armazenamento, a maioria dos produtores de mudas utilizam sementes colhidas no mesmo ano do semeio em viveiro, processo esse que tende a ser longo, pois geralmente as sementes são colhidas em maio/junho, semeadas em julho, e necessitam de mais seis a sete meses para formação no viveiro. Desta forma as mudas estarão prontas para o transplante em campo, em dezembro ou janeiro do ano seguinte, perdendo grande parte do período chuvoso.

Já o processo de produção de mudas por estaquia é amplamente utilizado em *Coffea canephora*, no entanto, pouco utilizado em *Coffea arabica* L., pois ainda há necessidade de aperfeiçoamentos e propostas de novos processos de produção. Porém, muitos trabalhos científicos vêm sendo realizados para o desenvolvimento, aprimoramento e avaliação da produção de mudas de estacas caulinares de café arábica, como os desenvolvidos por Jesus *et al.* (2013), Oliveira *et al.* (2010), Rezende *et al.* (2010) e Silva *et al.* (2010).

De acordo com Rezende *et al.* (2017), observa-se aumento no interesse da utilização da técnica de propagação vegetativa via enraizamento de segmentos nodais, visando aproveitar a possibilidade de vigor híbrido na geração F₁, garantindo assim, que os respectivos fenótipos se manifestem nos descendentes, e possivelmente obter incrementos em produtividade. Sendo assim, essa técnica pode representar uma revolução no cultivo

desta espécie. Quando os parentais se complementam bem geneticamente, os híbridos podem ser mais produtivos que os genitores (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006). Na busca por híbridos superiores, outra possibilidade interessante, é a introdução de caracteres de interesse, como resistência/tolerância a doenças e pragas, porte baixo e uniformidade de maturação dos frutos (JESUS *et al.*, 2010).

Na produção de mudas por estaquia, durante o processo de enraizamento, as estacas são diretamente influenciadas por fatores ambientais, estado fisiológico, maturação, tipo e comprimento da estaca e época de coleta (FACHINELLO *et al.*, 1995). De acordo com Jesus *et al.* (2010), as estruturas primárias das raízes caulinares adventícias de café não diferem das estruturas das raízes de mudas obtidas por sementes.

O tamanho da estaca pode influenciar a quantidade de carboidratos de reserva e o volume de auxinas, influenciando no pegamento, rapidez de enraizamento e crescimento das mudas (BRAGA *et al.*, 2006). Em *C. arabica*, a clonagem é realizada a partir de segmentos de ramos ortotrópicos com no mínimo 3 cm de comprimento, contendo pelo menos duas gemas de brotação, as quais são colocadas para enraizar em substrato adequado e em casa de vegetação com condições controladas (BALIZA *et al.*, 2010).

Objetivando contribuir na obtenção de uma metodologia apropriada para produção de mudas de *Coffea arabica* L. via enraizamento de estacas, Oliveira *et al.* (2010) estudaram a influência do comprimento da estaca caulinar e de ambientes sobre o crescimento das mudas e verificaram que estacas com maior comprimento possibilitam maior desenvolvimento das mudas.

Jesus *et al.* (2013) realizaram o enraizamento de estacas com uso de sacarose e diferentes concentrações do regulador de crescimento ácido indol-3-butírico (AIB), via talco inerte, e verificaram que o tempo requerido para enraizamento variou entre 90 a 120 dias, sendo que esse regulador favoreceu o enraizamento das estacas, embora na sua ausência, as estacas também tenham manifestado capacidade rizogênica.

Estudando a propagação vegetativa, Rezende *et al.* (2010) testaram o enraizamento de diferentes tipos de estacas caulinares de *Coffea arabica* L., sendo elas provenientes de três tipos de segmentos (herbáceos, semilenhosos e lenhosos) e verificaram que as estacas semilenhosas apresentaram a maior média para comprimento da raiz principal e peso da matéria seca da planta.

No processo de produção de mudas de cafeeiro o controle da radiação solar é importante e pode estar relacionado ao seu sucesso. Tatagiba *et al.* (2010), ao estudarem o crescimento vegetativo e a produção de mudas de café arábica mantidas a pleno sol e sob

diferentes níveis de sombra, verificaram maior crescimento e formação de mudas mais vigorosas com a utilização de 22 e 50% de sombreamento. Observaram também, que houve uma tendência de aumento da altura e da área foliar das mudas com o aumento do sombreamento, enquanto que o diâmetro do coleto foi reduzido pelo sombreamento de 88%.

A qualidade e os custos de produção de mudas também podem ser influenciados pelo tipo de recipiente e suas dimensões. A disponibilidade de nutrientes e água, e consequentemente o volume e arquitetura do sistema radicular, estão relacionados com os volumes dos recipientes (SCHORN *et al.*, 2019).

No processo de produção de mudas de cafeeiros, a utilização de saquinhos de polietileno ainda é a forma mais usual, no entanto, a utilização de tubetes vem ganhando visibilidade devido a vantagens como a existência de estrias no sentido longitudinal em seu interior, direcionando as raízes no sentido vertical, impedindo o enovelamento e o crescimento em forma de espiral dentro do recipiente, eliminando o problema de ‘pião torto’, que pode causar prejuízos para os produtores de café, além de possibilitar menor custo e período de produção de mudas, facilidades de manejo e transporte (GUIMARÃES *et al.*, 1998; VALLONE *et al.*, 2010).

Com relação aos substratos no processo de produção de mudas de cafeeiros, em saquinhos, normalmente utiliza-se a composição 70% de solo subsuperficial + 30% de esterco bovino, e para produção em tubetes o substrato mais utilizado é constituído de casca de pinus moída, compostada e enriquecida com nutrientes, entretanto, pesquisadores vêm desenvolvendo outras misturas de substratos, visando encontrar alternativas melhores e mais baratas às existentes no mercado (VALLONE *et al.*, 2010). Neste sentido, existe uma tendência na substituição da utilização de terra e esterco de animais por substratos comerciais (SILVA *et al.*, 2013), que favorecem melhor manejo, menor custo com mão de obra e menores riscos de contaminação por plantas invasoras e, principalmente, por nematóides. Neste contexto, iniciativas governamentais vêm sendo adotadas, a exemplo do estado de São Paulo, que fez alteração na sua legislação de produção de mudas (SAA, 2018) visando substituir a utilização de solo como substrato a partir do ano 2022.

A utilização da vermiculita tem se destacado como matéria-prima, por ser leve, uniforme, isenta de microrganismos patogênicos e por possuir alta capacidade de retenção de nutrientes (PINTO, 2017). Além disso, a utilização de vermiculita pode ser combinada com outras fontes como casca de pinus, fibra de coco e casca de arroz carbonizada no alcance das características ideais de substratos (KRATZ *et al.*, 2013).

Em tubetes, é usual a utilização de adubos de liberação lenta, sendo o osmocote® um dos mais conhecidos e utilizados no Brasil. Esse produto é constituído de grânulos recobertos por uma resina orgânica, solúveis em água, que retardam a liberação dos macro e micronutrientes presentes em cada grânulo. Os nutrientes neles contidos são dissolvidos por meio do vapor d'água do substrato que penetra na resina (ALMEIDA *et al.*, 2019).

Neste contexto, torna-se importante o estudo de diferentes cultivares de café em vários tipos de recipientes e substratos, visando uma melhoria na utilização de recursos, facilidade de manejo e aumento da qualidade de mudas.

2.2 PRODUÇÃO DE MUDAS EM *Coffea canephora* Pierre

No âmbito da cafeicultura, a espécie *C. canephora* Pierre possui grande importância econômica e social para diversos países produtores, especialmente para os principais produtores mundiais que são Vietnã e Brasil. No Brasil, seu cultivo está concentrado nos estados do Espírito Santo, Rondônia e Bahia, sendo que a produção estimada para a safra 2020 está entre 13,95 e 16,04 milhões de sacas (CONAB, 2020). Sua utilização se dá, principalmente, como matéria-prima básica na indústria de cafés solúveis e na composição dos 'blends' com café arábica nas indústrias de café torrado e moído. Os menores valores de comercialização e maior rendimento industrial (por possuir mais sólidos solúveis), em relação ao café arábica, proporcionam uma expressiva capacidade de competição no mercado (IVOGLO *et al.*, 2008).

A propagação de *Coffea canephora* Pierre pode ser realizada de forma sexuada (sementes) ou assexuada (clones por estacas). A espécie possui 100% de alogamia, sendo a fecundação cruzada, e as progênies derivadas das plantas geralmente são heterozigotas e heterogêneas. Neste processo de reprodução sexuada, ocorre a união dos gametas com a fecundação do óvulo que culminam na diferenciação celular e formação das sementes. As sementes geralmente possuem baixa germinação, desuniformidade e baixo potencial de armazenamento. A reprodução assexuada ocorre com utilização de propágulos vegetativos oriundos de estacas de ramos ortotrópicos. As mudas originadas por esse processo recebem a denominação de mudas clonais (FERRÃO *et al.*, 2017).

Devido a alta variabilidade genética, associada a autoincompatibilidade e a facilidade de propagação vegetativa, o uso da estaquia favorece o estabelecimento de programas de melhoramento, visando ganhos genéticos mais rápidos em relação a plantas de espécies propagadas somente de forma sexuada (FERRÃO *et al.*, 2017), além de

proporcionar uniformidade fenotípica das plantas no campo, o que facilita o manejo e colheita (MISTRO *et al.*, 2019).

A seleção clonal de *C. canephora* é a principal prática no Brasil, promovendo altos ganhos genéticos, uniformidade e maior frequência de alelos favoráveis (MISTRO *et al.*, 2019), sendo utilizada como forma de produção de híbridos intraespecíficos (FERRÃO *et al.*, 2017).

Devido as vantagens proporcionadas por esta técnica em relação à propagação por semente de cafeeiros, ela vem sendo utilizada há vários anos para *C. canephora* Pierre (PARTELLI *et al.*, 2006), podendo apresentar de 95 – 100% de ‘pegamento’ e enraizamento, sendo comumente utilizadas estacas com cinco centímetros de comprimento (FONSECA *et al.*, 2007).

Para a formação das mudas, geralmente são utilizados sacos plásticos de polietileno ou tubetes de diversos tamanhos e modelos. Os sacos de polietileno variam de 9 a 11 cm de largura e 18 a 20 cm de comprimento para mudas de sementes e 11 a 20 cm de largura e 21 cm de comprimento para mudas clonais além de apresentarem perfurações para facilitar a drenagem da água excedente. A utilização de tubetes proporciona uma redução na quantidade necessária de mão de obra, além de otimizar os tratos culturais, utilizar menor quantidade de substrato e facilitar a logística e transporte (FERRÃO *et al.*, 2017).

As dimensões e tipos de recipientes influenciam diretamente a qualidade e os custos da produção de mudas (MORGADO *et al.*, 2000), visto que, recipientes com dimensões superiores às ótimas resultam em ônus, desperdiçando substratos, fertilizantes e outros materiais. Neste sentido, são importantes pesquisas com diferentes recipientes e substratos para diversas espécies (SILVA *et al.*, 2010).

O substrato ideal é o que satisfaz as exigências físicas, químicas e que contém quantidades adequadas de ar, água e nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA *et al.*, 2010). Esses autores verificaram que bloco prensado, saquinho e tubete grande foram os recipientes mais indicados para a produção das mudas de *C. canephora*.

O recipiente mais utilizado para produção de mudas de *C. canephora* é o saco plástico de polietileno, utilizando como substrato padrão uma mistura de 70% a 80% de subsolo peneirado, esterco bovino de 30% a 20% e 5 Kg de superfosfato simples por cada metro cúbico de substrato (FERRÃO *et al.*, 2017).

Jaeggi *et al.* (2018) estudaram diferentes substratos e recipientes na produção de mudas do cafeeiro da espécie *Coffea canephora* e verificaram que substratos alternativos

(composto de leguminosas; composto de gramíneas e vermicomposto) foram eficientes na produção de mudas e podem substituir o substrato convencional nesta fase de desenvolvimento, proporcionando mudas de boa qualidade. Além disso, observaram que maiores desenvolvimentos refletiram em maior qualidade das mudas nos recipientes de maior volume (tubete de 280 cm³ e sacola de 615 cm³).

2.3 SISTEMA HIDROPÔNICO CONVENCIONAL

De origem grega, o termo hidroponia deriva de duas palavras: hidro, que significa água, e ponos, que significa trabalho (CARMELLO; FURLANI, 1994).

A utilização de cultivo de plantas sem solo é antiga, com registros que datam de milhares de anos, a exemplo dos cultivos sobre tábuas flutuantes praticados pelos povos astecas, os jardins suspensos da Babilônia e registros feitos em hieróglifos que relataram os experimentos de Teophrastus sobre nutrição de plantas (SORREANO; RODRIGUES; BOARETTO, 2012).

O primeiro documento sobre o uso da técnica de hidroponia data de 1600, quando Jan Van Helmont verificou por meio de pesquisas, que as plantas podem absorver nutrientes juntamente com a água. Em 1860, o botânico alemão Julius von Sachs demonstrou não ser necessário a utilização de solo na nutrição de plantas, cultivando plantas somente em meio líquido até a maturidade (EPSTEIN; BLOOM, 2006). William Frederick Gericke, em 1930, visando aperfeiçoar a técnica, desenvolveu pesquisas que se tornaram referência para o cultivo hidropônico, com potencial uso na aplicação comercial (RESH, 1997). No entanto, somente na década de 60, foi realizado o uso comercial da técnica em plantação de tomate no Canadá, usando-se gotejamento em serragem (ALVES *et al.*, 2015).

Martinez e Clemente (2011), descrevem a hidroponia como uma técnica de cultivo sem solo, realizada apenas com utilização de água ou substratos inertes, onde a nutrição ocorre por meio de solução com nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento da cultura.

A exigência nutricional varia de acordo com a espécie e condição de cultivo, sendo necessário indicações específicas de soluções nutritivas para cada situação. Essa exigência se refere à quantidade de nutrientes requeridos pela cultura no seu processo de crescimento e desenvolvimento (SORREANO; RODRIGUES; BOARETTO, 2012).

Existem diversos tipos de sistemas hidropônicos que se diferenciam quanto à forma de sustentação da planta (meio líquido e substrato), ao reaproveitamento da solução nutritiva (não circulantes ou circulantes) e ao fornecimento da solução nutritiva (contínua ou intermitente). Com relação ao reaproveitamento da solução nutritiva, os sistemas hidropônicos são classificados em abertos e fechados. No primeiro caso, a solução nutritiva é aplicada uma única vez às plantas e, posteriormente, descartada, assemelhando-se à fertirrigação. No sistema fechado, a solução nutritiva aplicada é recuperada e reutilizada, sendo periodicamente corrigida em sua composição, seja por meio da adição de água, ou de nutrientes minerais (BEZERRA NETO, 2017).

Bezerra Neto (2017) descreve os sistemas de cultivo: hidroponia de aeração estática (*floating*); técnica do filme nutriente (NFT) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes; aeroponia; cultivo por submersão e drenagem (*flood and drain*); cultivo com substratos.

No sistema de hidroponia de aeração estática (*floating*) as plantas são mantidas em recipientes, sem substrato, com as raízes completamente submersas na solução nutritiva, e para proporcionar a respiração das raízes, existe um sistema de bombeamento de ar. Normalmente, utiliza-se placas de poliestireno (isopor) com furos, onde as plantas são colocadas para dar sustentação. É necessário um grande volume de solução nutritiva ou ajuste frequente da mesma para impedir que a absorção de nutrientes pelas raízes produza mudanças significativas nas concentrações dos nutrientes e no pH do meio. Um tipo especial deste sistema de cultivo e que tem sido empregado em cultivos comerciais é o chamado de piscinão, que possui um grande tanque, com cerca de 30 a 40 cm de profundidade, no qual são colocadas diversas placas de poliestireno com as plantas a serem cultivadas. Este sistema de cultivo é adequado apenas para plantas leves, como alface, coentro etc., não sendo indicado para plantas de maior porte como o tomate, pepino, uva, dentre outros.

No sistema denominado ‘técnica do filme nutriente (NFT) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes’, as plantas são cultivadas em canais de cultivo por onde a solução nutritiva circula, intermitentemente, em intervalos definidos e controlados por um temporizador. As raízes das plantas ficam apenas parcialmente submersas na lâmina de solução nutritiva que circula, de forma a permitir a respiração normal das raízes. É considerado viável comercialmente para o cultivo de diferentes culturas, em especial para as hortaliças folhosas. Não utiliza substrato e é classificado entre as técnicas de cultivo hidropônico como um sistema fechado, isto é, a solução nutritiva circula pelos canais de cultivo sendo reutilizada continuamente (BEZERRA NETO; BARRETO, 2000).

No sistema de aeroponia, solução nutritiva é fornecida por nebulização intermitente. Nesta técnica, as plantas ficam fixadas pelo caule em um suporte, com as raízes mantidas suspensas no ar, dentro de câmaras opacas protegidas da luz e, a umidade relativa do ar, no ambiente radicular, fica próxima a 100%. Este sistema é pouco utilizado comercialmente devido ao custo de implantação e dificuldades operacionais. Já no sistema de ‘cultivo por submersão e drenagem (*flood and drain*)’, as plantas são cultivadas, sem substrato, em vasos com as raízes completamente submersas na solução nutritiva, semelhantemente à técnica de aeração estática, porém, diferindo desta, porque intermitentemente, a solução nutritiva é completamente drenada para o depósito e em seguida bombeada novamente para encher os vasos onde são cultivadas as plantas. Neste sistema de cultivo não há necessidade de bombear o ar para arejar as raízes porque as mesmas conseguem respirar após cada drenagem da solução nutritiva.

Por fim, no sistema de ‘cultivo com substratos’ são utilizados recipientes (vasos, tubos de PVC, tubetes, canaletas, filmes plásticos, canteiros de alvenarias, telhas, sacos etc) para o cultivo das plantas e utiliza-se um substrato inerte ou pouco ativo quimicamente como pó de coco, areia lavada, cascalho e argila expandida, para dar sustentação às plantas. É considerado um sistema de cultivo aberto, isto é, a solução nutritiva não retorna para o depósito. O fornecimento da solução nutritiva pode se dar de diversas formas, como por exemplo: capilaridade, gotejamento, inundação e circulação. Para ser considerado como um cultivo hidropônico, o substrato deve ser inerte, diferentemente da fertirrigação aplicada em solos.

A utilização do cultivo hidropônico possui maior custo inicial em relação a outros tipos de cultivo, no entanto, pode proporcionar vantagens como maior eficiência da mão de obra, alta capacidade de produção, menor período para obtenção de mudas, menores riscos de adversidades climáticas, independência de clima e de solo, produção em período fora de sazonalidade, menores gastos com insumos e água, produção em ambiente com menores riscos de agentes patogênicos e alta qualidade do produto (CAMAÑES *et al.*, 2009; CHALFUN; FAQUIN, 2008; FAQUIN; FURTINI NETO; VILELA, 1996). Existem ainda outros benefícios como melhorias de condições de trabalho por meio de melhor ergonomia, redução do tempo de produção e otimização da estrutura física (LOCARNO, 2011).

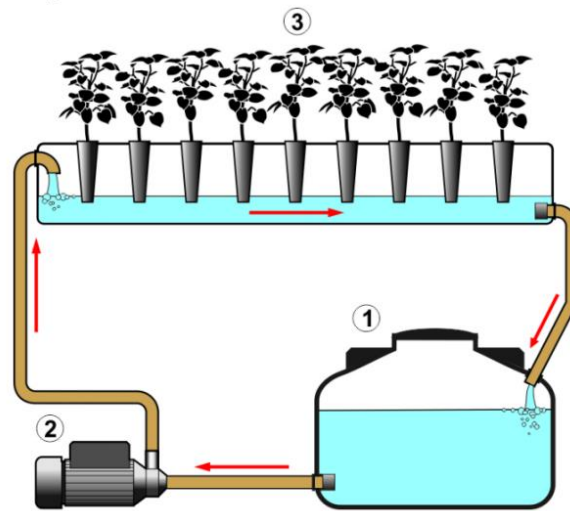
Na cultura do café, Carvalho *et al.* (2015) e Ferreira *et al.* (2013), estudaram a eficiência de absorção, translocação, e de uso dos macronutrientes e micronutrientes em genótipos de *C. canefora* para sua utilização como porta-enxerto, com uso parcial de sistema hidropônico na produção de mudas. No entanto, são escassos trabalhos científicos

com a utilização de sistemas hidropônicos para produção de mudas seminais ou clonais utilizando integralmente esse sistema.

2.4 SISTEMA HIDROPÔNICO MODIFICADO ou HIDROMUDAS

Uma adaptação aos tipos de sistemas hidropônicos existentes foi proposta por Chalfun e Faquin (2008) (Figura 1) e tem possibilitado uma boa qualidade e produtividade para o cultivo de diversas espécies vegetais em várias fases de desenvolvimento.

Figura 1- Esquema ilustrativo do funcionamento do sistema hidropônico modificado.



Fonte: Chalfun e Faquin (2008)

As plantas são cultivadas em recipientes (tubetes, vasos, sacos de polietileno etc) contendo substrato inerte, posicionadas em suporte sobre caixas rasas niveladas, denominadas piscinas, que podem ser feitas de madeira revestida com lona plástica, pvc ou fibra. A solução nutritiva é armazenada em um reservatório de 1000 a 5000 litros. Também faz parte do sistema um conjunto motobomba associado a um temporizador, que possibilita o controle da circulação da solução nutritiva nas piscinas em período de tempo preestabelecido. Durante o processo, o excesso de solução retorna para a caixa de armazenamento, por gravidade, sendo mantida nas piscinas uma lâmina de solução nutritiva de 2 a 15 cm em contato com as raízes. Nas piscinas os recipientes contendo um substrato inerte são apoiados em um suporte e ficam em contato parcial com a solução nutritiva ocorrendo a irrigação das plantas por capilaridade. Sobre as piscinas utiliza-se lona plástica dupla face branco-preto com a face branca voltada para cima, objetivando evitar a

incidência de luz solar sobre a solução e, com isso, a proliferação de algas. O sistema é instalado em ambiente protegido como casa de vegetação (CHALFUN; FAQUIN, 2008).

Esse sistema hidropônico, proposto por Chalfun e Faquin (2008) tem sido estudado e avaliado em diferentes espécies, principalmente frutíferas. Gomes *et al.* (2019) utilizaram o sistema e avaliaram a produção de brotos e a viabilidade dos mesmos em duas variedades de laranjeira, e observaram que a produção de mudas de citros foi viável neste sistema. Souza *et al.* (2013), estudaram a produção de porta-enxertos de limoeiro ‘Cravo’ por meio da determinação do diâmetro ótimo dos porta-enxertos para execução de enxertia da cultivar tangerineira ‘Ponkan’ e avaliação da produção de mudas enxertadas. Esses autores também observaram resultados satisfatórios, sendo a técnica viável para a propagação das mudas. Outros resultados que indicam o sucesso da técnica foram encontrados por Souza *et al.* (2015) estudando o acúmulo de nutrientes em pereiras e Souza *et al.* (2011) em pessegueiro, demonstrando a viabilidade da produção de porta-enxertos e enxertos.

Embora diversos trabalhos tenham verificado o potencial de utilização da técnica em outras culturas, com relação à cafeicultura os estudos realizados são preliminares e as informações são escassas, não existindo ainda protocolos estabelecidos e consagrados para produção de mudas de cafeeiro com utilização desta técnica. Ressalta-se que o avanço desta tecnologia para a produção de mudas de cafeeiro, é importante para que possam ser feitas melhorias no processo de produção de mudas e sua possível aplicação comercial.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, U. O. de *et al.* Slow release fertilizers in the production of seedlings fruit. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, Rio Branco, v. 6, n. 1, p. 518-527, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/2188>. Acesso em: 21 out. 2020.
- ALVES, R.V. *et al.* Social and fashion technology generation herbs from concentrate from desalination. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 237-245, jan./abr. 2015. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/SOCIAL-AND-FASHION-TECHNOLOGY-GENERATION-HERBS-FROM-Alves-Lima/641ac6d448b6fa0c075809e079554f7330cd4f2e?p2df>. Acesso em: 21 out. 2020.
- BALIZA, D.P. *et al.* Crescimento de estacas caulinares de cultivares de café em ambientes diferentes. **Magistra**, [S.l.], v. 22, p. 113-118, 2010. Disponível em: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/issue/archive>. Acesso em: 21 out. 2020.

BEZERRA NETO, E. **Cadernos do semiárido: riquezas e oportunidades**. 2. ed. Hidroponia. Pernambuco: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia, 2017. 88 p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. **As técnicas de hidroponia**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, v. 8-9, p.107- 137, 2011, 2012.

BRAGA, M.F. *et al.* Enraizamento de estacas de três espécies silvestres de Passiflora. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 284-288, ago. 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452006000200029&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 21 out. 2020.

BUENO, L.C.S.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. de. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 319 p.

CARMELLO, Q.A.C.; FURLANI, P.R. **Hidroponia: cultivo de plantas sem solo**. Piracicaba: ESALQ/SEBRAE, 1994. 41 p.

CARVALHO, J.P.F. *et al.* Dinâmica de macronutrientes em genótipos de *Coffea canephora* com potencial para utilização como porta-enxerto. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 176 - 183. 2015. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/809>. Acesso em: 21 out. 2020.

CAMAÑES, G. *et al.* Ammonium transport and CitAMT1 expression are regulated by N in Citrus plants. **Planta**, Berlin, v. 229, n. 2, p. 331, jan. 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19023591/>. Acesso em: 21 out. 2020.

CHALFUN, N.N.J.; FAQUIN, V. **Hidromudas: processo de produção de porta enxertos e mudas frutíferas, florestais e ornamentais enxertadas em hidroponia**. (BRN.PI 0802792-7). Rio de Janeiro: INPI, 2008.

COELHO, S.V.B. *et al.* Ultrastructural damage in coffee seeds exposed to drying and to subzero (°C) temperatures. **Coffee science**, Lavras, v. 15, p. 1-8, 2020. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1760>. Acesso em: 21 out. 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira - café, safra 2020**, Brasília: Conab, 2020. V. 6, p. 1- 62.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. An intermediate category of seed storage behaviour I. **Coffee Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 41, n. 9, p.1167-1174, 1990.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FACHINELLO, J.C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J.C.; KERSTEN, E.; FORTES, G. R. de L. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. 2. ed. Pelotas: UFPEL, 1995. 178 p.

FAQUIN, V.; FURLANI NETO, A.E.; VILELA, L.A.A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 50 p.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. da.; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H. **Café Conilon**. 2. ed. Vitória, ES: Incaper, 2017.

FERREIRA, A.D. *et al.* Dinâmica dos micronutrientes em cafeeiros enxertados. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 2, p. 262-269, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000200016>. Acesso em: 21 out. 2020.

FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; FERRÃO, M.A.G.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPIE, P.S.; BITTENCOURT, M.L.C. Jardins clonais, produção de sementes e mudas. *In*: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; MUNER, L.H. de (Eds.). **Café Conilon**. Vitória: Incaper, 2007. p. 229-252.

GOMES, W.A. *et al.* Leading systems and viability of citric buds in hydroponics. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 364-369, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252019000200364&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 21 out. 2020.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. **Produção de mudas de cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 60 p.

IVOGLO, M.G. *et al.* Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 823-831, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052008000400003&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 21 out. 2020.

JAEGGI, M.E.P. da C. *et al.* Alternative substrates in different containers for production of conilon coffee seedlings. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 80-89, 2018. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1382>. Acesso em: 21 out. 2020.

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, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-737X2010000200006&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 21 out. 2020.

JESUS, A.M.S. *et al.* Aspectos fitotécnicos de estacas caulinares de cafeeiro enraizadas. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 12, n. 4, p. 308-319, 2013. Disponível em: <http://saber.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/5546>. Acesso em: 21 out. 2020.

KRATZ, D. *et al.* Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1103-1113, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/983068/propriedades-fisicas-e-quimicas-de-substratos-renovaveis>. Acesso em: 21 out. 2020.

LOCARNO, M. **Propagação de roseiras em sistema hidropônico**. 2011. 75 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, MG, 2011.

MARTINEZ, H.E.P.; CLEMENTE, J.M. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa: UFV, 2011. 76 p.

MISTRO, J.C. *et al.* Effective population size and genetic gain expected in a population of *Coffea canephora*. **Crop Breeding and Applied Biotechnolog.**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 1-7, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-70332019000100001&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 11 may 2020.

MORGADO, I.F. *et al.* Nova metodologia de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden utilizando resíduos prensados como substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 27-35, 2000. Disponível em: <http://revistaarvore.org.br/1977-2002/24-1-2000/>. Acesso em: 21 out. 2020.

OLIVEIRA, D.H. Influence of cutting length and environment on the growth of coffee seedlings obtained by rooting. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 183-189, 2010. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/351>. Acesso em: 21 out. 2020.

PARTELLI, F.L. *et al.* Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café ‘Conilon’ propagadas por sementes e por estacas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 949-954, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000600008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 23 out. 2020.

PINTO, F.A.P. **Enraizamento de estacas de Coffea arabica L. em sistema hidropônico**. 2017. 48 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2017.

RESH, H.M. **Cultivos hidropônicos: nuevas técnicas de producción**. 4. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1997. 509 p.

REZENDE, T.T. *et al.* Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por miniestacas. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 91 - 99, 2017. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8265>. Acesso em: 21 out. 2020.

REZENDE, T.T. *et al.* Efeitos de tipos de estacas caulinares e do ambiente sobre o crescimento de mudas de café. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 5, p. 387-391, set./out. 2010. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/20225>. Acesso em: 21 out. 2020.

SAA. Secretária de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Defesa Agropecuária. **Resolução SAA - 49, de 23-10-2018**. Estabelece no Estado de São Paulo, normas para o cadastramento de viveiro para produção de mudas de café, depósito e cadastro de Engenheiro Agrônomo - Responsável Técnico e institui normas técnicas de Defesa Sanitária Vegetal para produção, comércio, transporte e utilização de muda de café.

SCHORN, L.A. *et al.* Definição de idades ótimas para expedição de mudas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) em função de sua qualidade e volume de recipientes. **Biotemas**, [S.l.], v. 32, n. 4, p. 19-27, 2019. Acesso em: 14 maio. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2019v32n4p19/42048>. Acesso em: 23 out. 2020.

SILVA, A.P. *et al.* Coffee seedlings in different substrates and protected environments. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 589-600, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162013000400001&script=sci_arttext. Acesso em: 21 out. 2020.

SILVA, J.A. *et al.* Desenvolvimento de mudas de *Coffea canephora* Piere ex A. Froehner em diferentes combinações de substrato e recipiente. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 38-48, 2010. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3936/Coffee%20Science_v5_n1_p38-48_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 23 out. 2020.

SORREANO, M.C.M.; RODRIGUES, R.R.; BOARETTO, A.E. **Guia de nutrição para espécies florestais nativas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 254 p.

SOUZA, A. das G. *et al.* Massa seca e acúmulo de nutrientes em mudas enxertadas de pereira em sistema hidropônico. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 37, n. 1, p. 240-246, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452015000100240&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 21 out. 2020.

SOUZA, A.G. *et al.* Produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ em sistema hidropônico. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 44, n. 4, p. 902-909, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902013000400029. Acesso em: 21 out. 2020.

SOUZA, A. das G. *et al.* Production of peach grafts under hydroponic conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 322-326, mar./abr. 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542011000200013&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 21 out. 2020.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E.F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 251-261, 2010. Disponível em: http://sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5413/Coffee%20Science_v5_n3_p251-261_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 21 out. 2020.

VALLONE, H.S. *et al.* Diferentes recipientes e substrato na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, jan./fev. 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542010000100006. Acesso em: 21 out. 2020.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA PROPAGADAS POR ESTAQUIA EM SISTEMA CONVENCIONAL E HIDROPÔNICO MODIFICADO EM DOIS VOLUMES DE TUBETES

RESUMO

A produção de mudas de qualidade é importante para a cultura do café, sendo a estaquia uma opção de propagação que tem possibilitado a clonagem de indivíduos superiores. Objetivou-se com este trabalho avaliar a produção de mudas clonais de *Coffea arabica* em dois sistemas de produção (hidropônico modificado e o tradicional em casa de vegetação com nebulização), utilizando tubetes de dois volumes (50 e 120 cm³). Para o acompanhamento do crescimento das mudas foram avaliadas semanalmente a permanência de folhas, número de brotos e sobrevivência. Aos 140 dias após o estaqueamento foram realizadas análises finais de crescimento (altura, diâmetro de caule, número total de folhas, área foliar, área, volume, diâmetro e comprimento radicular, pesos das matérias secas da parte aérea e raiz), fisiológicas (clorofila a, b e total e condutância estomática) e anatômicas (densidade, funcionalidade e abertura estomática). Para a análise estatística foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) no esquema fatorial 2 x 2, com seis repetições de dez plantas por parcela. O sistema hidropônico modificado permite a produção de mudas de *Coffea arabica* L. por estaquia, com maior crescimento e melhores características fisiológicas e anatômicas que as produzidas em sistema convencional, sendo viável sua produção em tubetes de 50 e 120 cm³.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Estacas. Hidroponia. Recipientes.

ABSTRACT

The quality seedlings production is important for coffee growing and stem cuttings enable superior plants clones. The aim of this research was to evaluate the clonal seedlings production of *Coffea arabica* in two production systems (modified hydroponic and in a greenhouse with fogging), using two volumes of tubes (120 and 50 cm³). To monitor the development of the seedlings, the permanence of leaves, number of shoots and survival were evaluated weekly. At 140 days after planting, growths analysis (height, stem diameter, total number of leaf pairs, leaf area, root area, dry matter of the aerial part and root) were analyzed, physiological (chlorophyll content and stomatal conductance) and anatomical (stomatal density, functionality and opening). For a statistical analysis used the completely randomized design (DIC) in the factorial scheme 2 x 2, with six replications of ten plants per plot. The modified hydroponic system enable the production of *Coffea arabica* L. seedlings by cutting, with greater growth and better anatomical and physiological characteristics than those produced in a conventional system, being possible to produce them in tubes of 50 and 120 cm³.

Keywords: *Coffea arabica*. Stem cuttings. Hydroponics. Containers

1 INTRODUÇÃO

A qualidade das mudas é um fator essencial a se considerar quando se deseja implantar ou renovar lavouras cafeeiras, pois possibilita uma maior probabilidade de estabelecimento e sucesso da cultura em campo e, conseqüentemente, a obtenção de altas produtividades.

Em café arábica, a formação de lavouras se dá principalmente por mudas oriundas da propagação por sementes, devido ao fato de as plantas serem autógamas com pequena variação entre os futuros indivíduos (OLIVEIRA *et al*, 2010). Em contrapartida, para o *Coffea canéfora*, o processo de produção de mudas mais utilizado é por estaquia, pois a espécie é alógama. Contudo, muitos experimentos vêm sendo realizados para o desenvolvimento, aprimoramento e avaliação da produção de mudas de estacas caulinares de café arábica.

Jesus (2003) propôs um sistema para a formação de mudas de café arábica utilizando estacas caulinares, em ambiente protegido com controle de umidade, temperatura e uso de ácido Indolbutírico (AIB) para melhor enraizamento.

Sabe-se que vários fatores podem influenciar durante o processo de enraizamento de estacas, como a época de coleta, comprimento, tipo, estágio de maturação, estado fisiológico e condições ambientais (FACHINELLO *et al*, 1995). Assim, vários estudos foram realizados com o intuito de aperfeiçoar esta técnica (BALIZA *et al*, 2010; JESUS *et al*, 2013;; OLIVEIRA *et al*, 2010; REZENDE *et al*, 2017).

As mudas obtidas por estacas caulinares são consideradas clones, e por meio desta técnica inovadora de produção de mudas em café arábica, pode-se multiplicar híbridos F₁ de alto desempenho. Assim, o aperfeiçoamento dessa técnica de produção de mudas pode levar a um grande avanço no melhoramento genético do cafeeiro, pois em programas de melhoramento convencionais os híbridos demoram várias gerações para atingir a homozigose, e assim, o processo de desenvolvimento de novas cultivares é difícil, oneroso e demorado.

No processo de produção de mudas, também o tipo de recipiente e suas dimensões podem influenciar na qualidade e no custo de produção. A utilização de saquinhos de polietileno ainda é a forma mais usual para a produção de mudas de cafeeiro, no entanto, a utilização de tubetes vem aumentando devido a vantagens como a existência de estrias no sentido longitudinal em seu interior, direcionando as raízes no sentido vertical, além de

possibilitar menor custo e período de produção de mudas (GUIMARÃES *et al*, 1998; VALLONE *et al*, 2010).

Existem no mercado diferentes tamanhos de tubetes e a possibilidade de utilização dos de menor volume, desde que não haja prejuízos na qualidade do produto final é almejada, pois pode diminuir a quantidade de substrato utilizado, além de otimizar o espaço físico necessário no sistema de produção e facilitar o manejo e transporte.

Visando o desenvolvimento de novas tecnologias para produção de mudas, um sistema hidropônico com modificações foi desenvolvido por Chalfun e Faquin (2008), que tem sido estudado com resultados promissores em espécies perenes, como em citrus (GOMES *et al*, 2019; SOUZA *et al*, 2013) e pereira (SOUZA *et al*, 2015). No entanto, na cafeicultura não existem metodologias estabelecidas (protocolos) para produção de mudas por estacas neste sistema de cultivo. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a produção de mudas de café arábica por estaquia em sistema hidropônico modificado e comparar com o sistema convencional, utilizando tubetes com diferentes volumes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Locais:

O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura e no Setor de Horticultura, localizados no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras - MG.

2.2 Obtenção de estacas:

Para a obtenção das estacas, foram selecionadas plantas matrizes de *Coffea arabica* L. Os segmentos nodais foram obtidos de ramos ortotrópicos da cultivar Mundo Novo 379/19, os quais foram seccionados na base e levados para a casa de vegetação, onde os ramos ortotrópicos foram cortados, na região mediana, em segmentos de 5 cm, de forma a terem um par de folhas que foram cortadas mantendo um terço de sua área original. Posteriormente, as estacas foram mergulhadas em solução de hipoclorito de sódio a 0,05% por dez minutos e lavadas em água corrente. Em seguida, as bases das estacas foram

imersas em talco contendo o Ácido-Indolbutírico (AIB) na concentração de 4.000 mg kg⁻¹ (REZENDE *et al.*, 2017).

As estacas de *Coffea arabica*, foram levadas para dois sistemas de produção de mudas: metodologia considerada como tradicional utilizada por Rezende *et al.* (2017) e hidropônico modificado (CHALFUN, FAQUIN, 2008) e em cada um dos sistemas, colocadas para enraizar em tubetes de dois tamanhos/volumes (50 e 120 cm³).

2.3 Sistema tradicional para produção de mudas por estaquia em *Coffea arabica*:

Após a preparação das estacas, estas foram colocadas em tubetes contendo vermiculita e areia na proporção 1:1, com adubo de liberação lenta 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 (REZENDE *et al.*, 2017), as quais foram cultivadas em ambiente controlado com sistema de nebulização e controle de temperatura (26 °C) e umidade relativa do ar (90%).

2.4 Sistema hidropônico modificado:

As estacas obtidas foram colocadas em tubetes contendo vermiculita. Utilizou-se a metodologia proposta por Chalfun e Faquin (2008), sendo conduzido no sistema de ‘piscina’ com a circulação da solução nutritiva (sistema fechado) com utilização de MaxSol F21 960g, nitrato de cálcio 720g e Quelato de ferro EDDHA 40g, diluídos em 1000 litros de água em um reservatório. A solução circulou nas piscinas por meio de um conjunto motobomba associado ao acionamento do temporizador com duração de 15 minutos, quatro vezes ao dia. O excesso da solução nutritiva na ‘piscina’ retornava ao reservatório por gravidade, através de tubulação própria. A reposição dos nutrientes da solução nutritiva ocorreu por meio do controle da condutividade elétrica, sendo que os valores eram ajustados com a adição da solução estoque de macro e micronutrientes, preparada de acordo com as recomendações dos autores citados. O pH da solução nutritiva foi mantido entre 5,5 e 6,5 e as trocas de solução nutritiva foram feitas a cada 30 dias. A média de temperatura e umidade relativa do ar durante a condução do experimento foram de 28,4°C e 41,5%, respectivamente.

2.5 Análises:

Foram realizadas avaliações semanalmente para acompanhamento do crescimento das mudas, por meio da mensuração do número de folhas remanescentes, número de brotos e sobrevivência das estacas por parcela.

Aos 140 dias após o estaqueamento foram realizadas as seguintes avaliações:

Avaliações de crescimento:

Contagem do número total de folhas (NTF), número total de brotos (NTB) e número de ramos plagiotrópicos (NRP).

Altura das mudas (cm): foi mensurada com a utilização de régua milimetrada, considerando a distância do colo das mudas até a gema terminal da brotação ortotrópica.

Diâmetro médio de brotos (DMB) (mm): foi mensurado com utilização de paquímetro digital milimetrado modelo ZAAS-PAQDIGITAL-150mm, considerando o colo dos brotos.

Tamanho médio de brotos (TMB) (mm): Mensurou-se o tamanho do broto, considerando a distância da sua base (ramificação na estaca) até o ápice com utilização de paquímetro digital milimetrado modelo ZAAS-PAQDIGITAL-150mm.

Folhas remanescentes (FR): foram contadas o número de folhas remanescentes das estacas.

Sobrevivência de estacas (SE) (%): porcentagem do número de estacas que produziram mudas (pegamento).

Peso da matéria seca da parte aérea e sistema radicular: as folhas, caules e raízes foram destacadas das estacas (as quais foram descartadas). Em seguida os tecidos vegetais foram acondicionados em sacos de papel do tipo Kraft, levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65 °C, até atingirem peso constante e pesados em balança de precisão, em gramas.

Área foliar total (AFT) (cm²): as folhas foram destacadas das mudas, em seguida escaneadas com o auxílio do aparelho LI 3100 da marca LI-COR (LI-COR, 1996).

A partir dos dados de área foliar e peso de matéria seca foram estimados os parâmetros: razão de área foliar (RAF) em cm².g⁻¹, também conhecido como quociente de área foliar, obtido por meio da razão entre a área foliar total (AFT) e peso da massa seca

total (PMST) da planta; área foliar específica (AFE) em $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$, que relaciona a superfície com o peso da matéria seca da própria folha, sendo obtida por meio da razão da AFT pelo peso da matéria seca das folhas (PMSF); razão de peso foliar (RPF) em g.g^{-1} , obtida pela razão da PMSF pela PMST; massa foliar específica (MFE) em mg.cm^{-2} , sendo está a razão da PMSF pela AFT (BENINCASA, 2003).

Análises de raízes: as estacas foram retiradas dos recipientes, cuidadosamente lavadas em água, posicionadas em superfície com escala (cm) de coloração preta para geração de contraste com as raízes brancas e fotografadas com câmera profissional. Posteriormente, para análise dos dados de área (mm^2), volume (mm^3), comprimento (cm) e diâmetro das raízes (mm), as imagens foram analisadas utilizando o *software* SAFIRA (JORGE, SILVA, 2010).

Avaliações fisiológicas:

Foram mensurados de forma indireta os teores de clorofila a, b e total, obtidos por meio de leituras realizadas no tecido foliar com a utilização do medidor portátil clorofiLOG - CFL1030 (Falker automação agrícola), que fornece valores denominados índices de clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorvância das clorofilas (BARBIERI JÚNIOR *et al.*, 2012).

A condutância estomática (CE) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi obtida a partir do fluxo de vapor da folha através dos estômatos para o ambiente externo com utilização do porômetro (SC-1 Decagon Devices), com leituras realizadas na região mediana do limbo completamente estendido, no período compreendido entre 08:00 e 10:00 horas.

Avaliações anatômicas:

Análise de Microscopia eletrônica de varredura (MEV): Foram coletadas folhas das estacas de cafeeiros, as quais foram fixadas em solução Karnovsky por 24 horas, lavadas três vezes por 10 minutos em tampão cacodilato 0,05M, desidratadas em gradientes progressivos de acetona (25, 50, 75, 90% por 10 minutos e na concentração de 100% três vezes de 10 minutos), levadas ao aparelho de ponto crítico (Bal-Tec), metalizadas em evaporador de ouro (Bal-Tec 050) e observadas em microscópio eletrônico de varredura modelo Carl Zeiss LEO Evo40 XVP do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise

Ultraestrutural da UFLA. Utilizou-se o software Imagetool para determinação da densidade estomática (número estômatos por mm²) contando-se do número de estômatos por área, em amostras compostas por quatro repetições do tecido foliar vegetal de cada tratamento e, em cada uma delas, foram observadas a superfície foliar em cinco campos de visão, totalizando 20 eletromicrografias por tratamento, em magnificação de 500x. Para mensuração da abertura (μm) e funcionalidade estomática (diâmetro polar dividido pelo diâmetro equatorial), utilizou-se as mesmas amostras e foram observadas 10 eletromicrografias ampliadas em 4000x por tratamento.

Microanálise de energia dispersiva de raios x (EDX): Foram coletadas amostras de folhas e raízes das estacas de cafeeiros, as quais foram cuidadosamente seccionadas transversalmente com auxílio de bisturi, montadas em stubs de alumínio, secadas em estufa a 60 °C por 24 horas, metalizadas com cobertura de carbono. Em seguida foram realizadas as leituras dos elementos químicos presentes nas amostras em porcentagem e mapeamento, indicando a localização desses nutrientes no tecido vegetal, com utilização do detector Bruker de energia dispersiva de raios x acoplado ao microscópio eletrônico de varredura modelo Carl Zeiss LEO Evo40 XVP do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da UFLA.

2.6 Análise estatística

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 x 2, sendo 2 sistemas de produção de mudas de estaquia (Hidropônico modificado e metodologia tradicional) e 2 tamanhos de tubetes (50 e 120cm³) perfazendo 4 tratamentos distintos, com seis repetições e dez plantas por parcela. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade, para análise de variância utilizou-se o *software* de análises estatísticas SISVAR[®] (FERREIRA, 2011), e para o agrupamento das médias utilizou-se o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o processo de produção de mudas, verificou-se ao longo do tempo, que as estacas começaram a morrer a partir dos 30 dias após o estaqueamento (DAE) e aos 70 DAE observou-se diminuição da sobrevivência, com diferentes intensidades, para todos os

tratamentos (Figura 1A). Ao final do experimento, pode-se notar que as mudas produzidas no sistema hidropônico modificado (SHM) em tubetes de 120 cm³ não diferiram quanto à sobrevivência das estacas quando comparadas às mudas produzidas no sistema de casa de vegetação com nebulização (Tabela 1). No caso da utilização de tubetes de 50 cm³, foi possível verificar que as mudas produzidas em casa de vegetação com nebulização foram 67,87% superiores às produzidas no SHM (Tabela 1). Concomitantemente, observou-se que o número de folhas remanescentes foi maior no sistema de casa de vegetação a partir dos 21 DAE, com poucas perdas ao longo do tempo (Figura 1B), independentemente do tamanho/volume dos tubetes utilizados (Tabela 1), possibilitando assim, maior quantidade de reservas metabólicas, as quais são fundamentais para o estabelecimento de rotas bioquímicas envolvidas no processo de formação de raízes e brotos das mudas (HARTMANN *et al*, 2011).

Os maiores valores obtidos para sobrevivência das estacas e o número de folhas remanescentes no sistema de casa de vegetação com sistema de nebulização, podem ser explicados pela alta umidade relativa do ar, em torno de 90% desse sistema, o que pode ter proporcionado melhor condição de pegamento das estacas devido ao menor estresse por desidratação e assim ter favorecido também a permanência das folhas.

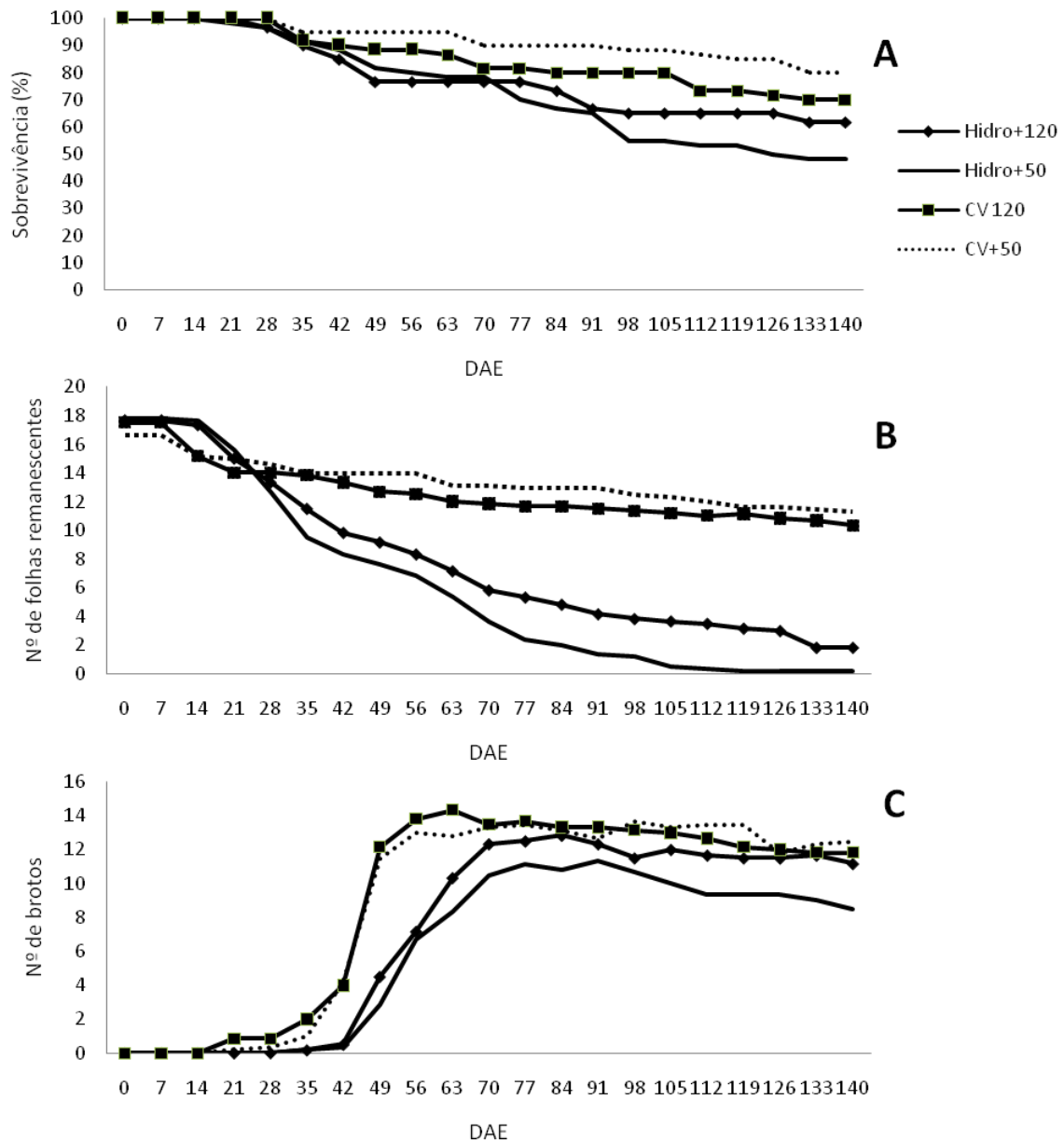


Figura 1. Sobrevivência (A), número de folhas remanescente (B) e número de brotos (C), avaliadas durante 120 dias no processo de produção de mudas por estaquia de *Coffea arabica* em sistema de casa de vegetação com nebulização (CV) e sistema hidropônico modificado (SHM), em dois tamanhos de tubetes. DAE: Dias após o estaqueamento. Hidro + 120: mudas cultivadas em SHM com utilização de tubetes de 120 cm³. Hidro + 50: mudas cultivadas em SHM com utilização de tubetes de 50 cm³. CV + 120: mudas cultivadas em CV com a utilização de tubetes de 120 cm³. CV + 50: mudas cultivadas em CV com a utilização de tubetes de 50 cm³.

O início do processo de formação de brotos ocorre em nível celular e microscópico em fase anterior a que se consegue observar. Visualmente, verificou-se a formação de brotos, em diferentes quantidades, em todos os tratamentos. Nos tratamentos realizados em

casa de vegetação (convencional) houve precocidade no processo de formação dos brotos, aos 21DAE, quando comparado aos tratamentos do sistema hidropônico, onde começou a ocorrer com 42DAE. A precocidade na emissão de brotos não é necessariamente uma característica desejável, visto que ocorre uma priorização na disponibilização de metabólitos para a formação de brotos em detrimento das raízes, que pode funcionar como um forte dreno consumidor das reservas de carboidratos e compostos nitrogenados (LIMA *et al*, 2006). A partir dos 70DAE houve uma tendência de estabilização do número de brotos para todos os tratamentos, com maiores quantidades de brotos no ambiente tradicional (Figura 1C). Porém aos 140DAE (ao final do experimento), o número total de brotos foi semelhante nas mudas produzidas nos dois sistemas de produção testados, independente do volume do tubete utilizado (Tabela 1).

Tabela 1. Características de crescimento (altura da muda, número total de folhas - NTF, comprimento de maior raiz - CMR, número total de brotos - NTB, tamanho médio de broto - TMB, diâmetro médio de broto - DMB, número de ramos plagiotrópicos - NRP, folhas remanescentes - FR e sobrevivência de estacas - SE) avaliados em mudas de *Coffea arabica*, produzidas por estaquia em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e casa de vegetação (CV), e dois tamanhos de tubete ao final do experimento.

Sistema	Altura (cm)		NTF		CMR (cm)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	5.960 Ab	9.778 Aa	7.310 Aa	8.741 Aa	13.625 Ab	26.283 Aa
CV	5.628 Aa	5.621 Ba	4.571 Ba	5.377 Ba	10.817 Aa	11.937 Ba
Sistema	NTB		TMB (mm)		DMB (mm)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	1.818 Aa	1.688 Aa	25.323 Ab	60.507 Aa	2.928 Aa	2.883 Aa
CV	1.715 Aa	1.883 Aa	24.191 Aa	27.955 Ba	2.368 Ba	2.408 Ba
Sistema	NRP		FR		SE (%)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	0.50 Aa	1.61 Aa	0.000 Bb	0.583 Ba	46.66 Ba	58.33 Aa
CV	0.50 Aa	1.25 Aa	1.497 Aa	1.588 Aa	78.33 Aa	66.66 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

A altura das mudas produzidas em tubetes de 120 cm³ em sistema hidropônico modificado (9,78 cm) foi superior aos valores obtidos nas mudas dos demais tratamentos, com diferença de pelo menos 64% (Tabela 1).

O número de folhas é um importante indicativo para determinar a prontidão das mudas para serem comercializadas e plantadas (BRASIL, 2012). Quando se avaliou o número total de folhas (NTF) pôde-se constatar que, independente do tamanho dos tubetes

utilizados, os valores obtidos para as mudas produzidas no sistema hidropônico modificado foram maiores em até 91,24% quando comparado ao sistema convencional (8,74 para mudas em sistema hidropônico modificado em tubetes de 120 cm³ e 4,57 para mudas em sistema convencional e tubetes de 50 cm³). Nesse sentido, pode-se inferir que as mudas produzidas em SHM foram formadas mais rapidamente que as produzidas no sistema convencional, o que possibilita otimização do processo produtivo e antecipação do plantio com melhor aproveitamento do período chuvoso. Esse fato, juntamente à menor juvenildade de indivíduos clonais, pode possibilitar antecipação no plantio e na produção de grãos na primeira colheita em relação a plantas de origem seminal (CARVALHO *et al.*, 2008).

Rezende *et al.* (2017), estudando estacas caulinares de café arábica em tubetes com volume de 50 e 120 cm³ em casa de vegetação com nebulização, também não verificaram diferenças no desenvolvimento de parte aérea e sistema radicular das mudas avaliadas aos 120 dias, e de acordo com os autores, devido ao curto período de cultivo, o recipiente de menor volume não restringiu o desenvolvimento.

Ao se avaliar o comprimento da maior raiz verificou-se maiores valores nas mudas produzidas em sistema hidropônico modificado, em tubetes de 120 cm³, com diferença de pelo menos 92,95% a mais que os valores encontrados nos demais tratamentos (26,28 cm para mudas em sistema hidropônico modificado em tubetes de 120 cm³ e 13,62 cm para mudas produzidas no mesmo sistema, porém em tubetes de 50 cm³) (Tabela 1). O maior comprimento das raízes possibilita maior exploração do substrato em profundidade. No SHM, esse maior crescimento pode ser explicado pelo fato da solução nutritiva ficar em ambiente sem luz, favorecendo maior desenvolvimento do sistema radicular fora do tubete, já no sistema de CV os tubetes ficam suspensos, com isso, a luz atinge a base do recipiente limitando o crescimento radicular para fora deste. Segundo Taiz *et al.* (2017) a auxina produzida nos meristemas apicais regula o geotropismo e fototropismo envolvido no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea.

Os sistemas de produção e os tamanhos de tubetes utilizados no presente trabalho não proporcionaram diferenças nas mudas de cafeeiro com relação ao número de brotos, no entanto o tamanho de brotos foi maior para as mudas produzidas em tubetes maiores (120 cm³) em sistema hidropônico modificado com superioridade de pelo menos 116,42% em relação aos demais tratamentos (60,51 cm para mudas em sistema hidropônico modificado em tubetes de 120 cm³ e 27,96 para mudas produzidas em sistema convencional, em

tubetes de 120 cm³). Na avaliação do diâmetro de brotos foram observados maiores valores quando se utilizou o sistema hidropônico modificado, independente do tamanho do tubete utilizado, com diferenças que podem chegar a 23,63% (Tabela 1).

Não se observou diferenças significativas no número de ramos plagiotrópicos ao avaliar as mudas produzidas nos dois sistemas de produção e dois tamanhos de tubetes (Tabela 1).

Assis *et al.* (2014) e Castanheira *et al.* (2019), estudaram a restrição hídrica em café e verificaram melhor desenvolvimento vegetativo em plantas sem restrição de água. No presente trabalho, embora nenhum dos sistemas tenha oferecido condição de restrição hídrica, verificou-se melhor desempenho nas mudas produzidas no SHM, o que pode ter ocorrido devido ao fato de parte das raízes das mudas permanecerem em constante contato com a solução nutritiva. Em organismos vegetais, a água está envolvida diretamente nas reações metabólicas, como no transporte e translocação de solutos, turgidez celular, abertura e fechamento de estômatos, penetração do sistema radicular no solo sendo que alterações no fluxo hídrico podem ocasionar danos nos processos celulares (TAIZ *et al.*, 2017).

O sistema de produção de mudas por estacas em casa de vegetação com nebulização, foi proposto por Jesus (2003) e tem sido recomendado para a produção de mudas clonais de café arábica. Ressalta-se que, neste estudo, de maneira geral, as mudas produzidas em sistema hidropônico modificado apresentaram menor porcentagem de sobrevivência para o menor recipiente, no entanto, apresentaram maiores valores médios de altura, número de folhas, comprimento de raízes e tamanho de brotos, que são características determinantes para a produção de mudas de qualidade e alto vigor (Tabela 1). Assim, infere-se que possíveis alterações no SHM, com inclusão de nebulização no ambiente de produção, podem ser indicadas visando aumentar também a sobrevivência e a permanência de folhas das estacas.

Maior peso da matéria seca foliar (PMSF), de caule (PMSC), radicular (PMRS) e total (PMST) foram observadas em mudas produzidas no sistema hidropônico modificado, considerando o tubete de 120 cm³ com superioridade de até 336,45%, 553,57%, 348,38% e 366,50%, respectivamente, que os demais tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Peso da matéria seca foliar (PMSF), peso da matéria seca de caule (PMSC), peso da matéria seca de raiz (PMSR), peso da matéria seca total (PMST), área foliar total (AFT), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão de peso foliar (RPF) de mudas de *Coffea arabica*, produzidas por estaquia em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e casa de vegetação (CV), e dois tamanhos de tubete (50 e 120 cm³).

Sistema	PMSF (g)		PMSC (g)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	0.620 Aa	1.305 Aa	0.179 Aa	0.366 Aa
CV	0.299 Aa	0.319 Ba	0.056 Aa	0.052 Ba
Sistema	PMSR (g)		PMST (g)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	0.094 Aa	0.278 Aa	0.894 Aa	1.950 Aa
CV	0.062 Aa	0.084 Ba	0.418 Aa	0.456 Ba
Sistema	AFT (cm ²)		RAF (cm ² .g ⁻¹)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	1195462.5 Aa	1872430.1 Aa	1406.0 Ba	1250.5 Ba
CV	1162852.5 Aa	1127255.5 Aa	3020.5 Aa	2697.5 Aa
Sistema	AFE (cm ² .g ⁻¹)		RPF (g.g ⁻¹)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	1993.401 Ba	1755.506 Ba	0.776 Ba	0.804 Aa
CV	4240.963 Aa	3901.092 Aa	0.843 Aa	0.857 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

A área foliar total (AFT) das mudas não variou entre os sistemas e tamanhos de tubetes. As mudas produzidas em casa de vegetação apresentaram maiores valores de razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) nos dois tamanhos de tubete e maiores valores para razão de peso de folhas (RPF) com utilização de tubete de 50 cm³. Maiores valores de RAF podem estar associados à menor eficiência do aparato fotossintético, pois é necessária maior área foliar para produzir a mesma quantidade de peso de matéria seca, resultando em menor acúmulo de fotoassimilados na planta (GOBBI *et al.*, 2011). Isso corrobora com os dados encontrados neste trabalho, onde a AFT não diferiu entre tratamentos, no entanto, houve um menor acúmulo de peso de matéria seca nas mudas produzidas em casa de vegetação com tubetes de 120 cm³ (Tabela 2).

Maiores valores de AFE foram observadas nas mudas produzidas em CV, Gobbi *et al.* (2011) relatam que maior AFE pode estar associada a alterações anatômicas que ocorrem no processo de captação luminosa e eficiência fotossintética, indicando que as folhas com menor peso de matéria seca em relação a área foliar apresentam limbo foliar menos espesso. A RPF expressa a quantidade de peso da matéria de seca da folha em

relação ao peso da matéria seca total da planta, ou seja, quanto maior esta razão, maior o peso das folhas em relação a PMST. Na casa de vegetação as mudas produzidas nos tubetes de 50 cm³ apresentaram maiores valores de até 10,43% que os demais tratamentos.

Diferenças significativas foram observadas para as características fisiológicas. Em mudas cultivadas no SHM, observou-se maiores teores de clorofila a, b e total, quando da utilização do tubete de 50 cm³, com superioridade de até 15,58%, 53,00 % e 25,85%, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Clorofila a, b e total avaliados, em mudas de *Coffea arabica* produzidas por estaquia em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e casa de vegetação (CV), e dois tamanhos de tubete.

Sistema	Clorofila a (ICF)		Clorofila b (ICF)		Clorofila total (ICF)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	442.7 Aa	427.8 Aa	221.7 Aa	166.5 Ab	664.4 Aa	594.3 Ab
CV	383.0 Bb	411.3 Aa	144.9 Ba	171.5 Aa	527.9 Ba	582.8 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Os teores de clorofila a e b são indicadores úteis envolvidos no metabolismo das plantas que estão positivamente relacionados à ativação do maquinário fotossintético (RAMÍREZ-OLVERA *et al.*, 2019).

Partelli *et al* (2014) verificaram maiores teores de clorofila b e total em plantas de café cultivadas em ambientes menos sombreados, o que pode estar relacionado a maior espessura foliar, e também observaram que a área foliar aumentou com o sombreamento. Neste estudo, a AFE foi maior em mudas cultivadas em casa de vegetação, indicando que neste sistema as folhas foram menos espessas e apresentaram menores valores de clorofila, quando utilizando recipiente de menor volume (Tabelas 2 e 3).

A condutância e densidade estomática foram até 338.07% e 56.28% maiores em mudas conduzidas no SHM para os dois tamanhos de tubetes e a funcionalidade estomática foi 14.58% maior na CV para as mudas produzidas em tubetes de 120 cm³ (Tabela 4). Fisiologicamente, a regulação estomática é um processo fundamental para o desenvolvimento de plantas de café, e está intrinsecamente relacionado à fotossíntese e às relações hídricas, além de auxiliar no entendimento sobre a adaptação, sobrevivência e o crescimento da planta (CRAPARO *et al.*, 2017).

Tabela 4. Condutância (CE), densidade (DEN), funcionalidade (FUN) e abertura estomática (AE) de mudas de *Coffea arabica* produzidas por estaquia em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e casa de vegetação (CV), e dois tamanhos de tubete.

Sistema	CE ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		DEN (n° estômatos. mm^{-2})	
	50 cm^3	120 cm^3	50 cm^3	120 cm^3
SHM	149.606 Aa	185.392 Aa	203.493 Aa	180.219 Ab
CV	41.375 Ba	54.815 Ba	130.210 Ba	133.356 Ba
Sistema	FUN		AE (μm)	
	50 cm^3	120 cm^3	50 cm^3	120 cm^3
SHM	1.706 Aa	1.804 Ba	3.411 Aa	2.576 Ab
CV	1.946 Aa	2.067 Aa	2.515 Ba	2.743 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Observou-se menor densidade estomática nas mudas produzidas em CV quando comparado ao SHM (Tabela 4, Figura 2A). Em ambientes com menor disponibilidade hídrica, verifica-se aumento na densidade e diminuição no tamanho dos estômatos, para que haja uma menor perda de água da planta para o ambiente pela transpiração, contribuindo para o equilíbrio das trocas gasosas (CASTRO *et al.*, 2009). No sistema em casa de vegetação, além do fornecimento constante de água por nebulização, houve maior umidade relativa do ar (90%) o que pode ter contribuído para a menor densidade estomática nas folhas destes tratamentos.

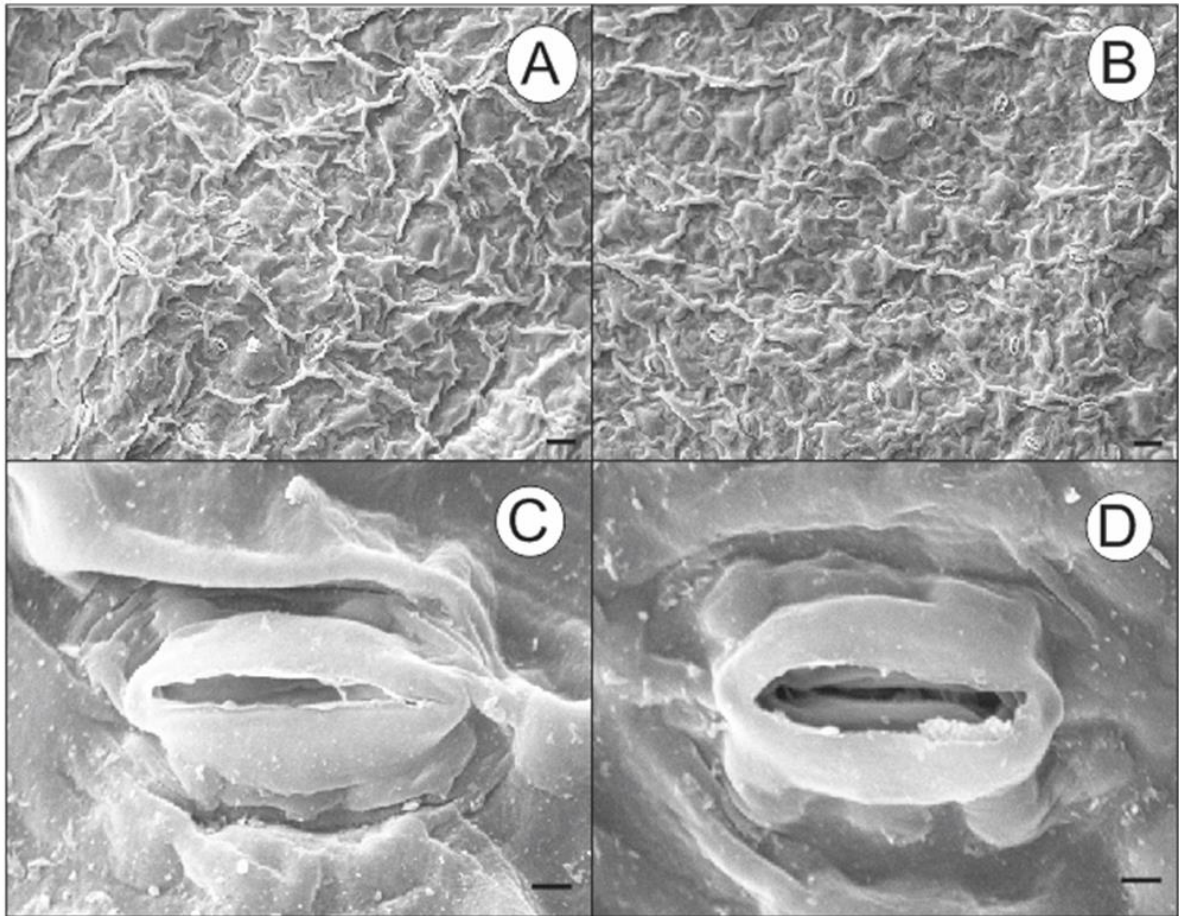


Figura 2 Eletromicrografias da superfície foliar de mudas de *Coffea arabica* evidenciando a densidade e abertura estomática em mudas produzidas em diferentes sistemas. A: Mudas produzidas em casa de vegetação com sistema de nebulização. B: Mudas produzidas em sistema hidropônico modificado. Detalhe de abertura estomática. C: Mudas produzidas em sistema hidropônico modificado. D: Mudas produzidas em casa de vegetação com sistema de nebulização. A e B: Barra de escala = 20 μm , C e D: 2 μm .

No entanto, observou-se que a funcionalidade estomática foi maior nas mudas produzidas em casa de vegetação, considerando o recipiente de 120 cm (Tabela 4). Embora as mudas produzidas neste sistema apresentem menor densidade estomática, a maior funcionalidade pode estar relacionada com o bom desenvolvimento das mudas neste sistema e ter contribuído para o suprimento das necessidades fisiológicas.

De acordo com Oliveira, Miglioranza (2014) por meio do estudo de análises anatômicas é possível observar modificações na densidade, tamanho de estômatos e demais características estomáticas que podem promover tolerância a condições de estresses como por exemplo, à seca, radiação e alagamentos.

Os estômatos foliares regulam os fluxos de trocas gasosas (CO_2 e H_2O) (CRAPARO et al., 2017) e possibilitam as plantas submetidas à estímulos bióticos ou abióticos se

adaptarem (CHAVES *et al.*, 2003), visando aumentar a fotossíntese e reduzir a perda hídrica (JONES, 2014). Sendo assim, neste estudo, verifica-se com os resultados das análises fisiológicas (Tabela 3 e 4) que as mudas se adaptaram aos sistemas de cultivo e os resultados da produção de mudas em SHM evidenciam o potencial de utilização deste sistema inovador.

Importantes informações sobre a interação das plantas com o microambiente podem ser obtidas através do monitoramento da condutância estomática (CRAPARO *et al.*, 2017). Valores mais baixos de condutância estomática foram associados a menor taxa de fotossíntese em trabalho conduzido por Costa e Marengo (2007). Os maiores valores de clorofila, condutância e densidade estomática no SHM (Tabelas 3 e 4), indicam que esses fatores estão envolvidos no metabolismo fotossintético e, conseqüentemente, na produção de fotoassimilados, os quais promoveram melhor desenvolvimento vegetal associado ao maior acúmulo de peso de matéria seca neste tratamento (Tabelas 1 e 2). Além disso, a abertura estomática foi maior no SHM em tubetes de 50 cm³ (Tabela 4).

Quanto à quantificação de volume, área superficial e diâmetro de raízes, não houve diferenças significativas entre os sistemas e tamanhos de tubetes. Os dados obtidos através do software Safira são complementares aos dados de PMSR, pois os resultados do programa indicam como estas raízes estão distribuídas, se são raízes de maior ou menor calibre, e com isso, tem-se informações sobre a área superficial de contato e absorção. Sendo assim, pode-se verificar que ambos os tratamentos apresentaram quantidades satisfatória e boa distribuição do sistema radicular das mudas (Tabela 5).

Tabela 5. Volume, área superficial, diâmetro e comprimento de raízes de mudas de *Coffea arabica* produzidas por estaquia em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e casa de vegetação (CV), e dois tamanhos de tubete.

Sistema	Volume (mm ³)		Área superficial (mm ²)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	2678.6 Aa	5041.8 Aa	7424.9 Aa	14567.9 Aa
CV	1409.2 Aa	2065.2 Aa	5102.3 Aa	6514.2 Aa
Sistema	Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)	
	50 cm ³	120 cm ³	50 cm ³	120 cm ³
SHM	0.906 Aa	0.653 Aa	13.792 Ab	24.950 Aa
CV	0.689 Aa	0.676 Aa	10.891 Aa	12.363 Ba

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Em relação ao comprimento de raízes, foi verificada superioridade de 101,86% em mudas produzidas no SHM com tubetes de 120 cm³ quando comparado às mudas conduzidas em casa de vegetação. Dentro do SHM também houve maior comprimento de raízes (80,90%) em mudas em tubetes de 120 cm³ quando em comparação ao de menor volume (Tabela 5), o que pode estar relacionado ao maior comprimento do recipiente de 120 cm³. De acordo com Bakker *et al.* (2006), a densidade e a distribuição de raízes profundas pode ser influenciada pela disponibilidade de nutrientes do solo.

Por meio da análise de espectroscopia dispersiva de raios-x, foram detectados nas folhas os seguintes elementos químicos: oxigênio, potássio, cálcio, flúor, magnésio, alumínio, fósforo, enxofre, silício, cloro e sódio.

Foi observado nas folhas, para todos os tratamentos, que a maioria dos elementos químicos estão depositados de forma homogênea neste tecido vegetal, com exceção do cálcio e o potássio que foram localizados em menor intensidade na região vascularizada (Figura 3).

A porcentagem dos elementos químicos não diferiu quanto ao tamanho do recipiente e sistema de produção utilizado, evidenciando que ambos os ambientes de cultivo e recipientes proporcionaram adequada nutrição mineral para o desenvolvimento e crescimento das mudas. Belan *et al.* (2015) utilizaram esta técnica na verificação da distribuição de elementos químicos no tecido foliar de café e observaram em tecido sadio porcentagens de cálcio e potássio, similares aos verificados neste trabalho, aproximadamente 4 e 10%, respectivamente.

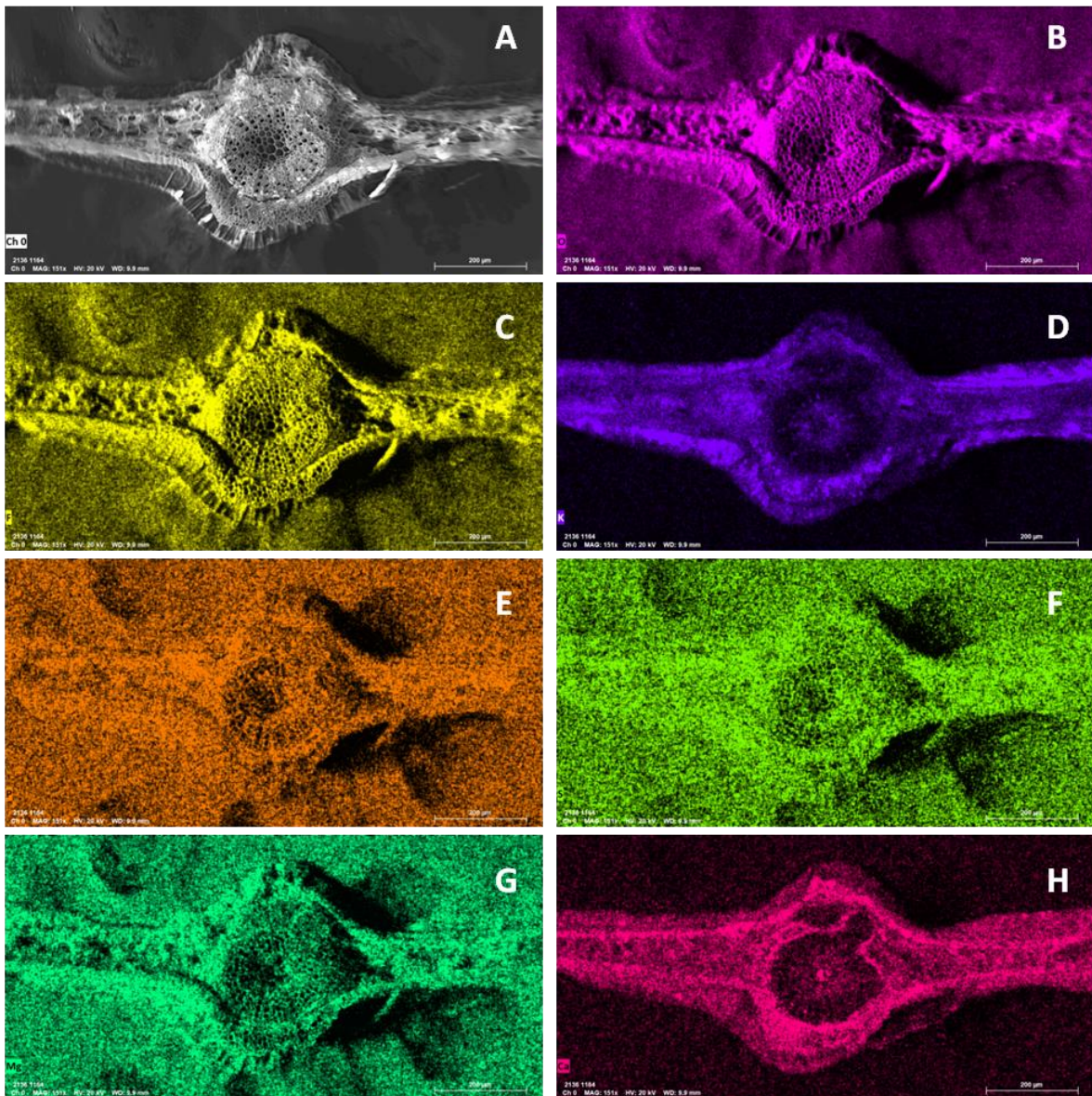


Figura 3 Eletromicrografias de varredura com microanálise de raios x de elementos químicos localizados em folhas de *Coffea arabica* de mudas produzidas por estaquia em sistema de casa de vegetação com nebulização e hidropônico modificado. A: Corte transversal de limbo de café evidenciando o mesófilo e feixe vascular (região analisada). Mapeamento indicando localização de elementos químicos B: Oxigênio, C: Fluor, D: potássio, E: Fósforo, F: Enxofre, G: Magnésio, H: Cálcio.

Nas raízes, com exceção do sódio, foram detectados os mesmos elementos químicos verificados da análise foliar. A localização dos elementos químicos encontrados nas raízes não variou entre os tratamentos e os principais nutrientes estão apresentados na Figura 4. Assim como nas folhas, o cálcio e potássio estão menos abundantes na região vascularizada do xilema e verificou-se que o cálcio se depositou com maior intensidade na região externa das raízes próximo ao floema.

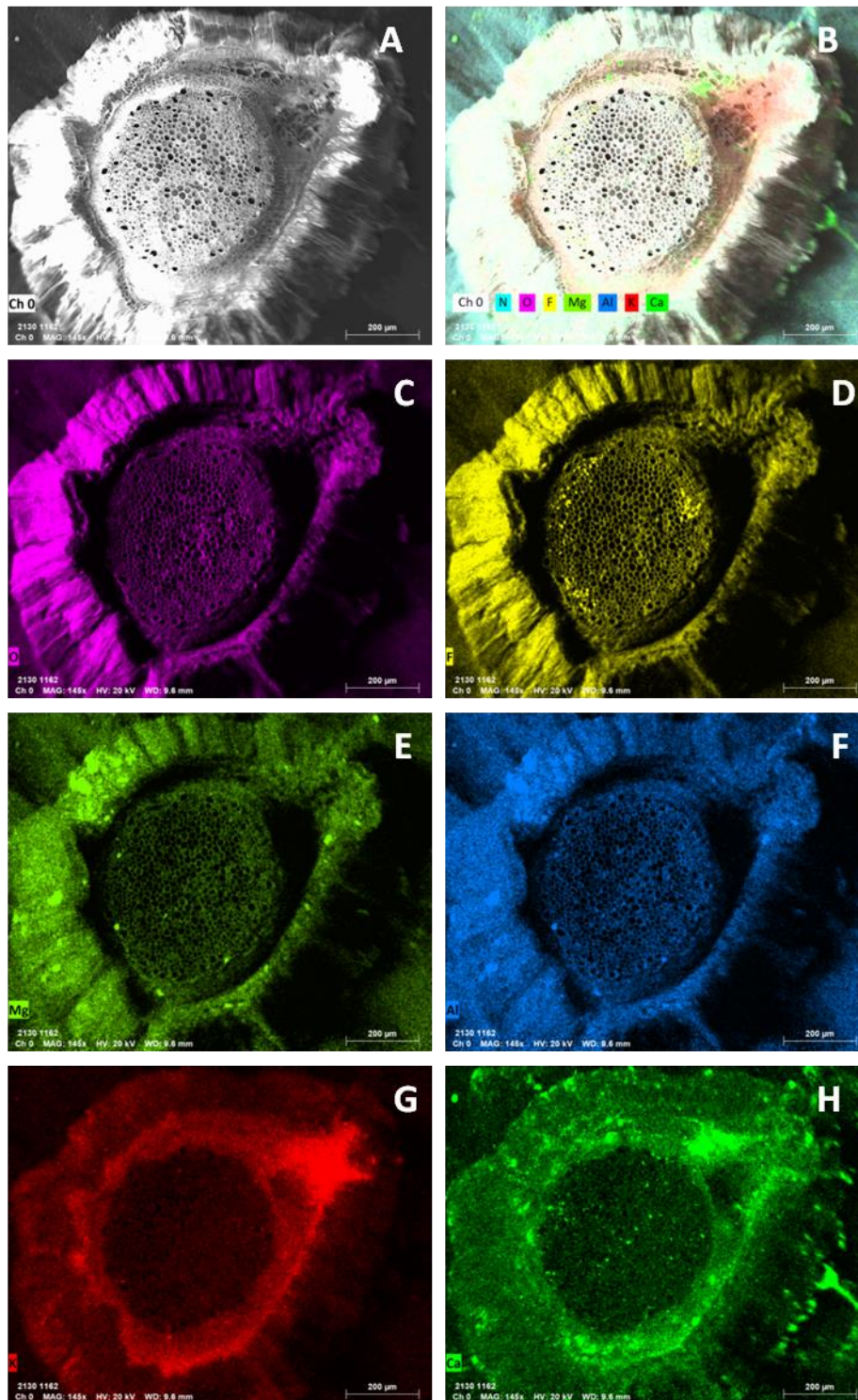


Figura 4 Eletromicrografias de varredura com microanálise de raios x de elementos químicos localizados em raízes de *Coffea arabica* de mudas produzidas por estaquia em sistema de casa de vegetação com nebulização e hidroponico modificado. A: Corte transversal de raízes de mudas de café (região analisada). Mapeamento indicando localização de elementos químicos B: Sobreposição da localização dos elementos químicos encontrados. C: Oxigênio, D: Fluor, E: Magnésio, F: Alumínio, G: Potássio, H: Cálcio.

CONCLUSÕES

O sistema hidropônico modificado possibilita a produção de mudas de *Coffea arabica* L. por estaquia, com melhor crescimento biométrico e boas características fisiológicas e anatômicas em comparação ao método convencional, sendo viável sua produção em tubetes de 50 e 120 cm³ com superioridade no recipiente de maior volume.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, G.A. *et al.* Correlation between coffee plant growth and yield as function of water supply regime and planting density. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 30, n. 3, p. 666-676, 2014.
- BALIZA, D. P. *et al.* Crescimento de estacas caulinares de cultivares de café em ambientes diferentes. **Magistra**, [S.l.], v. 22, p. 113-118, 2010.
- BAKKER, M.R.; AUGUSTO, L.; ACHAT, D.L. Fine root distribution of trees and understory in mature stands of maritime pine (*Pinus pinaster*) on dry and humid sites. **Plant Soil**, [S.l.], v. 286, p. 37-51, 2006.
- BARBIERI JUNIOR, E. *et al.* Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012.
- BELAN, L.L. *et al.* Nutrients distribution in diseased coffee leaf tissue. **Australasian Plant Pathology**, [S.l.], v. 44, p. 105-111, 2015.
- BENINCASA, M. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**, Jaboticabal: Funep, 2003. 42 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 35, de 29 de novembro de 2012**. Estabelece normas para a produção e comercialização de material de propagação de cafeeiro (*Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) e os seus padrões, com validade em todo o território nacional, visando à garantia de sua identidade e qualidade. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 3 dez. 2012. Seção 1, p. 11-23.

CARVALHO, M.; JESUS, A.M.S.; CARVALHO, S.P.; GOMES, C.N.; SOARES, A.M. Comportamento em condições de campo de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente e por sementeira. **Coffee Science**, Lavras, v.3, p.108-114, 2008.

CASTANHEIRA, D.T. *et al.* Agronomic techniques for mitigating the effects of water restriction on coffee crops. **Coffee science**, Lavras, v. 14, p. 104, 2019.

CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CHALFUN, N.N.J.; FAQUIN, V. **Hidromudas: processo de produção de porta enxertos e mudas frutíferas, florestais e ornamentais enxertadas em hidroponia**. (BRN.PI 0802792-7). Rio de Janeiro: INPI, 2008.

CHAVES, M.M.; MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, [S.l.], v. 30, p. 239-264, 2003.

COSTA, G.F.; MARENCO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 7, n. 2, p. 229-234, jun. 2007.

CRAPARO A.C.W. *et al.* Application of thermography for monitoring stomatal conductance of *Coffea arabica* under different shading systems. **Science of the Total Environment**. [S.l.], v. 609, p. 755-763, 2017.

FACHINELLO, J.C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J.C.; KERSTEN, E.; FORTES, G. R. de L. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. 2. ed. Pelotas: UFPEL, 1995. 178 p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GOBBI, K.F. *et al.* Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 7, p. 1436-1444, 2011.

GOMES, W.A. *et al.* Leading systems and viability of citric buds in hydroponics. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 364-369, June. 2019.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. **Produção de mudas de cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 60 p.

HARTMANN, H.T. *et al.* **Plant propagation: Principles and practices**. 8. ed. Boston: Prentice Hall, 2011. 915 p.

JESUS, A.M.S. *et al.* Aspectos fitotécnicos de estacas caulinares de cafeeiro enraizadas. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 12, n. 4, p. 308-319, 2013.

- JESUS, A.M.S. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2003. 173 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- JONES, H.G. **Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology**. 3. ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014.
- JORGE, L.A.C.; SILVA, D.J.C.B. **SAFIRA**: manual de utilização. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010. 29 p.
- LIMA, R.L.S. *et al.* Comprimento de estacas e parte do ramo na formação de mudas de Aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 83-86, 2006.
- OLIVEIRA, E.C.; MIGLIORANZA, E. Densidade e distribuição estomática em mandioca *Manihot esculenta* Crantz cultivar IAC 576-70. **Scientia Agropecuaria**, Trujillo, v. 5, n. 3, p. 135-140, 2014.
- OLIVEIRA, D.H. *et al.* Influence of cutting length and environment on the growth of coffee seedlings obtained by rooting. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 183-189, 2010.
- PARTELLI, F.L. *et al.* Microclimate and development of 'Conilon' coffee intercropped with rubber trees. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 11, p. 872-881, 2014.
- RAMÍREZ-OLVERA, S.M. *et al.* Silicon stimulates initial growth and chlorophyll *a/b* ratio in rice seedlings, and alters the concentrations of Ca, B, and Zn in plant tissues, **Journal of Plant Nutrition**, [S.l.], v. 42, n. 16, p. 1928-1940, 2019.
- REZENDE, T.T. *et al.* Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por miniestacas. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 91-99, 2017.
- SOUZA, A.G. *et al.* Massa seca e acúmulo de nutrientes em mudas enxertadas de pereira em sistema hidropônico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 240-246, 2015.
- SOUZA, A.G. *et al.* Produção de mudas de tangerineira 'Ponkan' em sistema hidropônico. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 44, n. 4, p. 902-909, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- VALLONE, H.S. *et al.* Diferentes recipientes e substrato na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542010000100006. Acesso em: 21 out. 2020.

ARTIGO 2

PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Coffea canephora* POR MEIO DE ESTACAS EM VIVEIRO E SISTEMA HIDROPÔNICO UTILIZANDO DIFERENTES RECIPIENTES

RESUMO

A produção de mudas de qualidade é um fator determinante para o estabelecimento e sucesso das lavouras cafeeiras. Visando maximizar o potencial produtivo, tem-se buscado a obtenção mudas de alta qualidade, que apresentem elevado vigor, potencial genético para características desejáveis e boa qualidade sanitária. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a produção de mudas de *Coffea canephora* por estaquia em sistema hidropônico modificado e em viveiro convencional, utilizando diferentes recipientes. As estacas caulinares foram avaliadas semanalmente quanto a permanência de folhas, número de brotos e sobrevivência. Ao final do experimento foram realizadas análises de crescimento (altura, diâmetro de caule, número total de pares de folhas, área foliar, área radicular, peso da matéria seca de folhas, caule e raiz), fisiológicas (teores de clorofila a, b e total e condutância estomática) e anatômicas (densidade, funcionalidade e abertura estomática). Para a análise estatística foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com cinco tratamentos (tubetes de 50 cm³ em sistema hidropônico modificado, tubetes de 120 cm³ em sistema hidropônico modificado, tubetes de 50 cm³ em viveiro convencional, tubetes de 120cm³ em viveiro convencional, e mudas produzidas em sacos de polietileno em viveiro convencional) e seis repetições de dez plantas por parcela. As mudas produzidas em sistema hidropônico modificado com utilização de tubetes de 50 e 120 cm³ apresentam melhor crescimento vegetativo e características fisiológicas em relação às produzidas em viveiro. A condução de mudas em sistema hidropônico modificado com utilização de tubetes de 120 cm³ proporciona maior sobrevivência de estacas, número de folhas remanescentes e emissão de brotos. Em viveiro, a utilização de sacos de polietileno proporciona melhor qualidade e sobrevivência de mudas em relação ao uso de tubetes, independente do volume.

Palavras-chave: Café canéfora. Anatomia. Estaquia. Microscopia.

ABSTRACT

The seedlings production is determining factor for the establishment and success of coffee crops. Seedlings with high quality has been sought, which has high vigor, genetic potential and good sanitary quality. Thus, the objective of this work was to evaluate a production of *Coffea canephora* seedlings by cuttings in a modified hydroponic system and nursery, using different containers. The cuttings were evaluated weekly for leaf permanence, number of shoots and survival. At the end of the experiment, growth analysis (height, stem diameter, total number of leaf pairs, leaf area, root area, shoot dry matter, stem and root), physiological (chlorophyll a, b and total and stomatal conductance) and anatomical (stomatal density, functionality and opening) were performed. For the statistical analysis, a completely randomized design (DIC) was used with five treatments (tubettes in modified hydroponic system 50 cm³, tubettes in modified hydroponic system 120 cm³, tubettes in conventional nursery 50 cm³, tubettes in conventional nursery 120 cm³, and polyethylene bags in conventional nursery) and six replications of ten plants per plot. Seedlings produced in a modified hydroponic system using tubes of 50 and 120 cm³ have better phytotechnical and physiological quality than those produced in a nursery. The conduction of seedlings in a modified hydroponic system using 120 cm³ tubes provides greater survival of cuttings, number of remaining leaves and emission of sprouts. In nurseries, the use of polyethylene bag provides better quality and survival of seedlings in relation to the use of tubes, regardless of volume.

Keywords: Conilon coffee. Anatomy. Stem cuttings. Microscopy.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo, e a espécie *Coffea canephora* apresenta grande importância econômica a nível mundial e nacional, sendo muito utilizada na indústria de cafés solúveis e em *blends* com o café arábica. O interesse pelo plantio dessa espécie de café tem aumentado entre os cafeicultores, e, conseqüentemente, a demanda por mudas para implantação e renovação de áreas (CONAB, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2014).

A *Coffea canephora* apresenta autoincompatibilidade gametofítica, um mecanismo altamente eficaz no controle da autofecundação e no cruzamento de indivíduos aparentados, o que induz a planta a alogamia (SOUZA *et al.*, 2015, VERDIN FILHO *et al.*, 2014), e dificulta a utilização de sementes para sua propagação, visto que as mudas formadas a partir deste processo não reproduzem as características de interesse da planta mãe e resultam em lavouras desuniformes e heterogêneas (GIURIATTO JÚNIOR *et al.*, 2020). A utilização de estacas clonais tem sido tecnologia largamente utilizada para a produção de mudas com boas características agronômicas (PARTELLI *et al.*, 2019).

Assim, a produção de mudas por estaquia tem sido o principal meio de propagação da espécie na produção comercial de mudas visando obter variedades uniformes e produtivas (COVRE *et al.*, 2015; PARTELLI *et al.*, 2014; RONCHI *et al.*, 2015; VERDIM FIHO *et al.*, 2014). Fisiologicamente, é possível produzir mudas por estaquia pois existem vários processos envolvidos como desdiferenciação, rediferenciação, alongamento e divisão celular em resposta a concentração de auxina, formando assim, raízes adventícias em órgãos vegetativos (TAIZ *et al.*, 2017).

O método da clonagem possibilita a exploração do valor genotípico da planta matriz (PAIVA *et al.*, (2012), no entanto, essa técnica por si só, não garante a qualidade fisiológica das mudas. No processo de produção de mudas com boa qualidade fisiológica, é desejável, dentre outras características, a adequada formação do sistema radicular e também da parte aérea. Neste sentido, resultados de pesquisas têm apontado que alguns fatores podem influenciar o enraizamento das estacas vegetais, como os fatores exógenos (temperatura, luz, umidade e substrato) (SOUZA; GENTIL, 2013), fatores endógenos (relacionados ao balanço hormonal, quantidade de carboidratos de reserva, composição química do tecido) (OLIVEIRA *et al.*, 2012), idade dos propágulos e lignificação (HARTMANN *et al.*, 2011), anatomia das estacas (JESUS *et al.*, 2010), dentre outros.

No processo de produção de mudas de *Coffea canephora*, seja via propagação sexuada ou assexuada, o substrato utilizado em grande maioria é composto por uma mistura de solo subsuperficial (70%), esterco bovino (30%) enriquecido com superfosfato simples e outros fertilizantes. Apesar de eficiente e proporcionar alto vigor as mudas, esse substrato não é padronizado e pode carregar consigo pragas, doenças e plantas daninhas. Com a utilização de substratos inertes esse problema sanitário é praticamente inexistente (FERRÃO *et al.*, 2017).

Outro fator importante a se considerar é que a maioria das mudas são conduzidas em sacos de polietileno (BRAUN *et al.*, 2009), que apesar de eficiente e de baixo custo, utilizam volume muito grande de substrato, o que dificulta o enchimento e manuseio além de requerer grandes áreas nos viveiros. Em contrapartida, alguns produtores têm utilizado tubetes, no intuito de diminuir o volume de substrato utilizado e o envelhecimento das raízes, além de melhorar facilidades de manejo, aplicação de defensivos, ergonomia do trabalhador, logística, transporte e possibilidade de reutilização do recipiente.

Na sua grande maioria, as mudas são formadas em viveiros, com sistema de irrigação constante, o que resulta em alto consumo de água. Chalfun e Faquim (2008), desenvolveram um sistema hidropônico modificado, no qual uma solução nutritiva fica em uma ‘piscina’ em contato com as mudas e circula por meio da utilização de um sistema de motobomba acionado por um temporizador o qual é ligado a um reservatório com a solução nutritiva. Este sistema tem sido estudado e tem alcançado sucesso na produção de mudas de espécies perenes, como em citrus (GOMES *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2013) e pereira (SOUZA *et al.*, 2015) e tem apresentado diversas vantagens quanto ao sistema usual de cultivo para essas espécies, como menor tempo de formação das mudas, melhor qualidade sanitária, além de menor consumo de água.

Para a produção de mudas clonais de café canéfora, ainda não existem metodologias estabelecidas (protocolos) para o sistema de cultivo hidropônico. Assim, objetivou-se com este trabalho, avaliar a produção de mudas de *Coffea canephora* por estaquia em sistema hidropônico modificado e em viveiro (convencional), utilizando diferentes recipientes e substratos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Locais:

O experimento foi conduzido no viveiro do Setor de Cafeicultura, e no Setor de Horticultura, localizados no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG.

2.2 Obtenção de estacas e sistemas de cultivo:

Foram selecionadas plantas matrizes de *Coffea canephora* da cultivar Conilon 213, pertencente ao banco de germoplasma do setor de cafeicultura da UFLA. Os segmentos nodais foram obtidos de ramos ortotrópicos, os quais foram seccionados na base (inserção com o ortotrópico primário da planta matriz) e levados para a casa de vegetação, onde a parte mediana desses foi utilizada para a produção de estacas, cortadas em bisel, em segmentos de aproximadamente 5 cm, de forma a conterem um par de folhas cortadas à um terço de sua área. Posteriormente, as estacas foram mergulhadas em solução de hipoclorito de sódio a 0,05% por dez minutos, lavadas em água e inseridas nos diferentes recipientes e sistemas de cultivo.

Assim, as estacas foram conduzidas em viveiro e sistema hidropônico modificado (SHM) (CHALFUN; FAQUIN, 2008), com utilização de dois tamanhos de tubetes (50 e 120 cm³) e sacos de polietileno (SP) de dimensões 9 x 18cm, totalizando cinco tratamentos: Viveiro + SP, Viveiro + Tubete 50 cm³, Viveiro + Tubete 120 cm³, SHM + Tubete 50 cm³, SHM + Tubete 120 cm³. Nos tratamentos conduzidos no viveiro, em sacos de polietileno, utilizou-se como substrato solo subsuperficial (70%) + esterco bovino (30%) enriquecido com 2 kg de calcário dolomítico; 5 kg de superfosfato simples e 0,5 kg de cloreto de potássio, para cada m³ de substrato, e em tubetes (50 e 120 cm³) utilizou-se substrato comercial - Plantmax[®] + adubo de liberação lenta - Osmocote[®]. Nos tratamentos em SHM utilizou-se vermiculita. Para cada tratamento foram utilizadas seis repetições com dez plantas por parcela.

No processo de produção de mudas em viveiro de plantas (local convencional de produção), utilizou-se tubetes (dois volumes distintos) e sacos de polietileno, os quais permaneceram sobre bancada construída a 80 cm do solo. Para controle da radiação solar

utilizou-se sombrite 50% e para irrigação por aspersão o turno de rega duas vezes ao dia com duração de 30 minutos cada irrigação. Registrou-se a média de 28,7°C de temperatura e 43,7% de umidade relativa do ar durante a condução do experimento.

Para produção das mudas em sistema hidropônico modificado, as estacas foram colocadas em tubetes de 50 e 120 cm³ contendo vermiculita (substrato inerte). Utilizou-se a metodologia proposta por Chalfun e Faquin (2008), sendo conduzido no sistema de ‘piscina’ com a circulação da solução nutritiva com utilização de MaxSol F21 960g, nitrato de cálcio 720g e 40g de Quelato de ferro EDDHA diluídos em água em um reservatório com capacidade para 1000 litros. A solução circulou nas piscinas pelo conjunto de motobomba associado ao acionamento do temporizador quatro vezes ao dia, por 15 minutos a cada acionamento. O excesso da solução nutritiva na ‘piscina’ retornava ao reservatório por gravidade, através da tubulação própria. A reposição dos nutrientes da solução nutritiva ocorreu de acordo com o controle da condutividade elétrica, sendo que os valores foram ajustados com a adição da solução estoque de macro e micronutrientes, preparada de acordo com as recomendações dos autores citados. O pH da solução nutritiva foi mantido entre 5,5 e 6,5 e as trocas de solução nutritiva foram feitas a cada 30 dias. A média de temperatura e umidade relativa do ar durante a condução do experimento foram de 28,4°C e 41,5%, respectivamente.

2.3 Análises:

Desde a instalação do experimento, foram realizadas avaliações semanais para acompanhamento do desenvolvimento das mudas, por meio da mensuração de número de folhas remanescentes, número de brotos e sobrevivência das estacas.

Aos 150 dias após o estaqueamento (DAE) foram realizadas as seguintes avaliações:

Avaliações de crescimento e fisiológicas:

Contagem do número total de folhas (NTF), número total de brotos (NTB) e número de ramos plagiotrópicos (NRP)

Altura das mudas (cm): foi mensurada com a utilização de régua milimetrada, considerando a distância do colo das mudas até a gema terminal da brotação ortotrópica.

Diâmetro médio de brotos (DMB) (mm): foi mensurado com utilização de paquímetro digital milimetrado modelo ZAAS-PAQDIGITAL-150mm, considerando o colo dos brotos.

Tamanho médio de brotos (TMB) (mm): Mensurou-se o tamanho do broto, considerando a distância da sua base (ramificação na estaca) até o ápice com utilização de paquímetro digital milimetrado modelo ZAAS-PAQDIGITAL-150mm.

Folhas remanescentes- FR: foram contadas o número de folhas remanescentes das estacas.

Sobrevivência de estacas (SE) (%): porcentagem do número de estacas que produziram mudas (pegamento).

Para determinação do peso de matéria seca de folhas (PMSF), caule (PMSC), raízes (PMSR) e total (PMST), destacou-se das mudas as folhas, caules e raízes que em seguida foram acondicionadas em sacos de papel do tipo Kraft, levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65 °C, até atingirem peso constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas em balança de precisão, em gramas.

Área foliar total (AFT) (cm²): as folhas foram destacadas das mudas, em seguida escaneadas com o auxílio do aparelho LI 3100 da marca LI-COR.

A partir dos dados de área foliar e peso da matéria seca foram estimadas as seguintes características: razão de área foliar (RAF) em cm². g⁻¹, também conhecida como quociente de área foliar, obtida por meio da razão entre a área foliar total (AFT) e peso da matéria seca total (PMST) da planta; área foliar específica (AFE) em cm². g⁻¹, que relaciona a superfície com o peso da matéria seca da própria folha, sendo obtida por meio da razão da AFT pelo peso da matéria seca das folhas (PMSF); razão de peso foliar (RPF) em g.g⁻¹, obtida pela razão da PMSF pela PMST; massa foliar específica (MFE) em mg.cm⁻², sendo esta a razão da PMSF pela AFT (BENINCASA, 2003).

As raízes foram analisadas pelo *software* SAFIRA, 'Sistema de Análise de Fibras e Raízes', desenvolvido pela Embrapa Instrumentação, em que as estacas foram retiradas dos recipientes, cuidadosamente lavadas em água, posicionadas ao lado de escala (cm) em superfície preta para geração de contraste e fotografadas com auxílio de câmera profissional. Posteriormente, realizou-se análise dos dados de volume (mm³), área (mm²), comprimento (cm) e diâmetro das raízes (mm) (JORGE; SILVA, 2010).

Foram mensurados de forma indireta os teores de clorofila a, b e total, obtidos por meio de leituras realizadas no tecido foliar com a utilização do medidor portátil clorofiLOG

- CFL1030 (Falker automação agrícola), que fornece valores denominados índices de clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorvância das clorofilas (BARBIERI JÚNOR *et al.*, 2012).

A condutância estomática (CE) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi obtida a partir do fluxo de vapor da folha através dos estômatos para o ambiente externo com utilização do porômetro (SC-1 Decagon Devices), e as leituras realizadas na região mediana do limbo completamente estendido, no período entre de 8 às 10 horas.

Avaliações anatômicas:

Microscopia eletrônica de varredura (MEV): Foram coletadas folhas das estacas de cafeeiros, as quais foram fixados em solução Karnovsky por 24 horas, lavados três vezes por 10 minutos em tampão cacodilato 0,05M, desidratados em gradientes progressivos de acetona (25, 50, 75, 90% por 10 minutos e na concentração de 100% três vezes de 10 minutos), levados ao aparelho de ponto crítico (Bal-Tec), metalizadas em evaporador de ouro (Bal-Tec 050) e observadas em microscópio de varredura modelo Carl Zeiss LEO Evo40 XVP do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da UFPA. Utilizou-se o software Imagetool para determinação da densidade estomática (número estômatos por mm^2), com a realização da contagem do número de estômatos por área. Para isso foram utilizadas amostras compostas por quatro repetições do tecido foliar vegetal de cada tratamento e, em cada uma delas foram observadas a superfície foliar em cinco campos de visão, totalizando 20 eletromicrografias por tratamento, em magnificação de 500x. Para mensuração da abertura (μm) e funcionalidade estomática, utilizou-se as mesmas amostras e foram observadas 10 eletromicrografias ampliadas em 4000x por tratamento.

Microanálise de energia dispersiva de raios x (EDX): Amostras de folhas e raízes das estacas de cafeeiros coletadas foram cuidadosamente seccionadas transversalmente com auxílio de bisturi, montadas em stubs de alumínio, secas em estufa a 60 graus °C por 24 horas, metalizadas com cobertura de carbono e posteriormente foram realizadas as leituras dos elementos químicos presentes na amostras, em porcentagem e mapeamento indicando a localização desses nutrientes no tecido vegetal, com utilização do detector Bruker de energia dispersiva de raios x acoplado microscópio de varredura modelo Carl Zeiss LEO

Evo40 XVP do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da Universidade Federal de Lavras-UFLA.

2.4 Análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos, sendo: sistema hidropônico modificado em tubetes de 50 cm³, sistema hidropônico modificado em tubetes de 120 cm³, viveiro com tubete de 50 cm³, viveiro com tubetes de 120 cm³, viveiro com utilização de sacos de polietileno. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade e para análise de variância utilizou-se o *software* de análises estatísticas SISVAR[®] (FERREIRA, 2011), para o agrupamento das médias utilizou-se o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que a partir dos 35 dias após o estaqueamento (DAE), ocorreu a diminuição da sobrevivência das estacas para todos os tratamentos, sendo que nas mudas produzidas em SHM em tubetes de 120 cm³ foram verificadas menores perdas ao longo do processo produtivo, seguidas das produzidas neste sistema em menores recipientes e em viveiro com sacos de polietileno. Dentre as mudas produzidas pelos tratamentos conduzidos em viveiro, maiores porcentagens de sobrevivência das estacas foram observadas com utilização de sacos de polietileno. As mudas produzidas em tubetes (50 ou 120 cm³) não sobreviveram (Figura 1A, Tabela 1).

Concomitantemente, observou-se que aproximadamente aos 10 DAE começaram a ocorrer perdas de folhas remanescentes para todos os tratamentos, sendo que ao longo do processo produtivo foram mais acentuadas nas mudas produzidas em viveiro, principalmente com a utilização de tubetes, e essas perdas foram menores em mudas produzidas no SHM com tubetes de 120 cm³ (Figura 2 B, Tabela 1). O enraizamento das estacas pode estar reacionado à presença de folhas remanescentes ou pelo menos parte delas, devido a translocação de carboidratos e auxinas para a base do corte, atuando como estimulante ao enraizamento (HARTMANN *et al.*, 2011) e, conseqüentemente, promovendo maior sobrevivência.

Giuriatto Júnior *et al.* (2020) estudaram estacas caulinares retiradas de diferentes posições da haste ortotrópica secundária para obtenção de mudas de *Coffea canephora*, e

verificaram que durante o período de desenvolvimento de mudas clonais é possível identificar três fases, sendo que a inicial acontece aproximadamente nos primeiros 80 dias com crescimento lento, intermediária que é caracterizada pelo rápido crescimento e final que ocorre após 125 DAE com crescimento lento.

A emissão de brotos é uma característica diretamente relacionada ao crescimento e desenvolvimento das estacas. Neste sentido, nas mudas dos tratamentos conduzidos em SHM (tubetes de 50 e 120 cm³) e viveiro com utilização de sacos de polietileno, observou-se maior número de brotações, no entanto, essas tiveram início somente a partir dos 52 DAE. A partir deste momento, as mudas produzidas pelos tratamentos citados tiveram crescimento rápido do número de brotos, com superioridade para as mudas dos tratamentos em sistema hidropônico modificado, especialmente no caso de mudas produzidas em tubetes de 120 cm³. A demora para o início da emissão de brotações pode ser devido a falta de raízes absorventes, responsáveis por absorver água e nutrientes, sendo esta fase crítica na propagação de mudas por estaquia (LIMA *et al.*, 2006). A emissão de brotos se estendeu, de modo geral, até os 112 DAE (Figura 1 C).

Já no caso das mudas produzidas em viveiro, com utilização de tubetes (50 ou 120 cm³) a emissão de brotos foi muito pequena, dado esse, coerente com a pouca sobrevivência e pequeno número de folhas remanescentes (Figura 1A, B e C). De forma geral, as plantas produzidas em SHM com utilização de tubete de 120 cm³ apresentaram comportamento superior aos demais estudados (Tabela 1).

Sacos de polietileno com utilização de solo subsuperficial são a forma mais usual de produção de mudas de *Coffea canephora*, no entanto, a utilização de tubetes de 280 cm³ tem possibilitado a formação de mudas com sistema radicular bem desenvolvido. Apesar do relativo sucesso obtido na produção de mudas clonais com tubetes, resultados de pesquisas indicam que tubetes de menor volume podem ocasionar danos radiculares, sendo assim, o uso de tubetes para produção de mudas clonais de café conilon ainda precisa ser pesquisado e aprimorado levando em consideração detalhes importantes, como capacidade e formato do recipiente, nutrição de plantas, manejo em viveiro, dentre outros (FERRÃO *et al.*, 2019). Diante do exposto, torna-se necessário e útil o estudo da viabilidade de produção de mudas em tubetes de diferentes volumes, visto que a possibilidade de diminuição no volume de recipiente possibilita economia de custos com substrato, água, espaço físico em viveiro, mão de obra, dentre outros e a comparação da produção em sistema convencional e

hidropônico oferece possibilidade de avanços tecnológicos e uma nova alternativa ao processo produtivo de mudas de café.

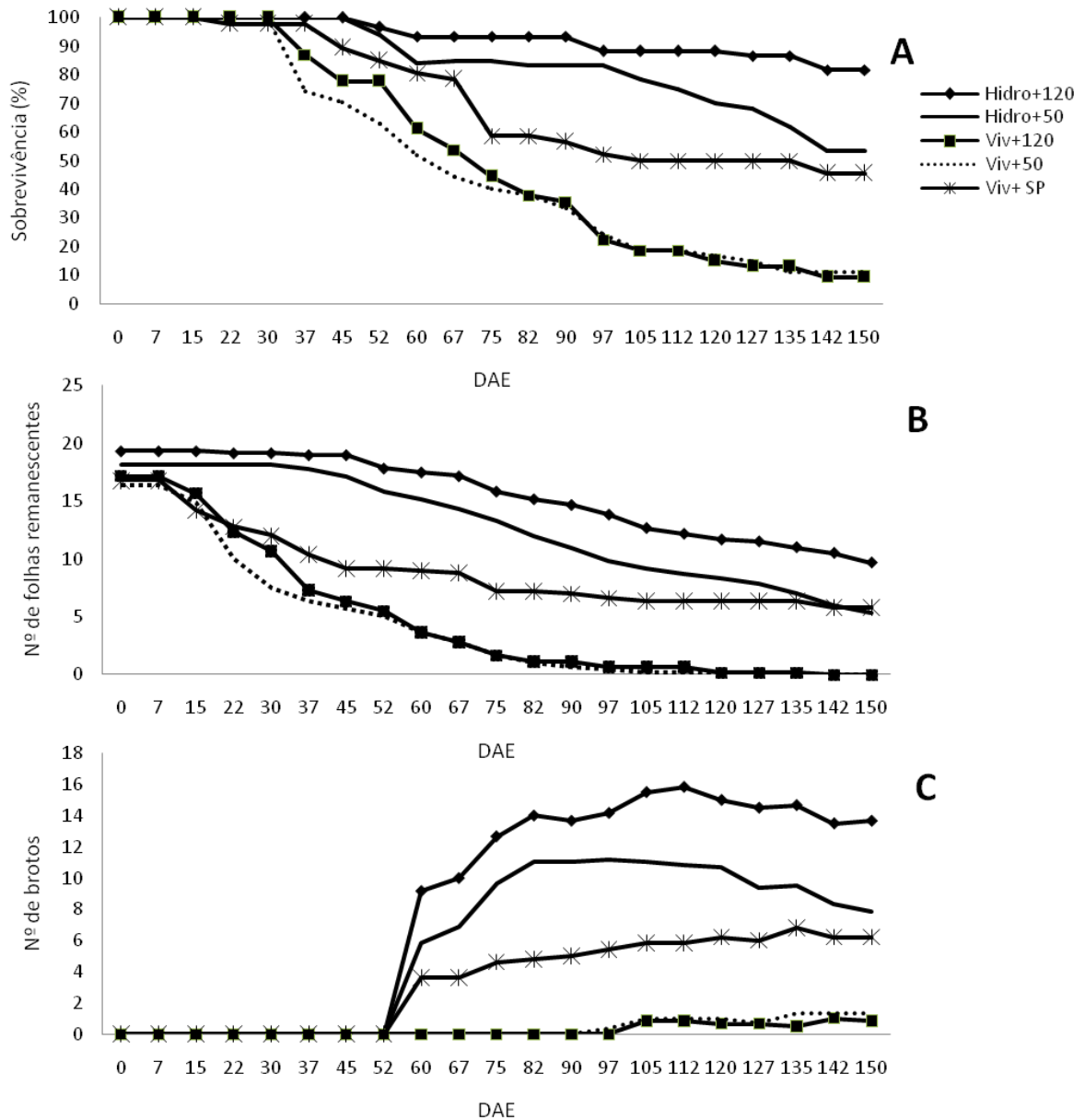


Figura 1. A: Sobrevivência, B: número de folhas remanescente e C: número de brotos, avaliadas durante 120 dias no processo de produção de mudas por estaquia de *Coffea canephora* em sistemas de produção hidropônico modificado (Hidro) e viveiro (Viv), em diferentes recipientes (tubete de 50 cm³ - 50, tubete de 120 cm³ - 120 e saco de polietileno- SP). DAE: Dias após o estaqueamento.

Tabela 1. Características de crescimento (sobrevivência de estacas- SE, número de folhas remanescente -NFR, altura, número total de folhas - NTF, comprimento de maior raiz - CMR, número de ramos plagiotrópicos- NRP, número total de brotos - NTB, tamanho médio de broto - TMB, diâmetro médio de broto - DMB) avaliados em mudas de *Coffea canephora*, produzidas por estaquia em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e viveiro (V), em diferentes recipientes (tubete de 50 cm³ - T 50, tubete de 120 cm³- T 120 e saco de polietileno- SP).

Tratamentos	SE (%)	NFR	Altura (cm)
SHM T 50	51.667 b	1.438 a	8.887 a
SHM T 120	75.000 a	1.527 a	7.733 a
V T 50	0.000 c	0.000 c	0.000 b
V T 120	0.000 c	0.000 c	0.000 b
V SP	42.000 b	1.040 b	7.443 a
	NTF	CMR (cm)	NRP
SHM T 50	8.860 a	33.205 a	2.235 a
SHM T 120	7.028 b	26.715 b	1.570 a
V T 50	0.000 d	0.000 d	0.000 b
V T 120	0.000 d	0.000 d	0.000 b
V SP	5.432 c	17.980 c	0.500 b
	NTB	TMB (mm)	DMB (mm)
SHM T 50	1.455 a	52.660 a	3.780 a
SHM T 120	1.568 a	39.135 b	3.470 b
V T 50	0.000 b	0.000 c	0.000 c
V T 120	0.000 b	0.000 c	0.000 c
V SP	1.407 a	42.027 b	3.530 b

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

As características de crescimento estão diretamente relacionadas ao desenvolvimento de mudas, sendo importantes para a verificação da adaptação ao sistema de cultivo. Pode-se observar que as mudas produzidas em tubetes de 50 ou 120 cm³ em ambiente de viveiro não sobreviveram e, portanto, não apresentaram valores diferentes de zero para todas as características de crescimento avaliadas (Tabela 1 e Figura 1B).

As mudas produzidas em SHM estiveram sempre entre as de maior crescimento, em todas as características avaliadas, sem diferença entre aquelas produzidas nos dois tamanhos de tubetes quanto ao NFR, altura, NRP, e NTB, com diferenças que podem chegar a 46,82% no NFR e 347% no NRP em relação às mudas produzidas em sacos de polietileno. Vale ressaltar que mudas com maiores valores de ramos plagiotrópicos e diâmetro da base são desejáveis, pois essas características possuem alta correlação com a produtividade em safras futuras (BUSTAMANTE *et al.*, 2004; CONTARATO *et al.*, 2010).

As mudas produzidas em SHM e em tubetes de 50 cm³ foram superiores as produzidas em tubetes de 120 cm³ quanto ao NTF, CMR, TMB e DMB, apesar da menor sobrevivência (31,11% a menos) em relação as mudas em tubetes de 120 cm³ (Tabela 1).

Além disso, observou-se maior número total de folhas (com superioridade de 26,06% em relação as mudas em tubetes de 120 cm³ e 63,10% em relação as mudas em sacos de polietileno) e comprimento de maior raiz (com superioridade de 24,29% em relação as mudas em tubetes de 120 cm³ e 84,68% em relação as mudas em sacos de polietileno), no SHM em tubetes de 50 cm³ (Tabela 1).

Sendo assim, maiores alturas e maior NTB foram observados nas mudas conduzidas em SHM com tubetes de 50 e 120 cm³ e no viveiro com utilização de sacos de polietileno, sem diferença entre esses tratamentos. Embora o número total de brotos tenha sido maior nas mudas produzidas nesses tratamentos, o tamanho e diâmetro desses brotos foram maiores no SHM com tubetes de 50 cm³, seguido do SHM 120 cm³ e viveiro com saco de polietileno que não diferiram entre si (Tabela 1), perfazendo uma diferença que pode chegar a 34,56% a mais no TMB e 8,93% no DMB.

As mudas produzidas no SHM em tubetes de 50 cm³ apresentaram maior acúmulo de peso de matéria seca de folhas, caules, raízes e total, indicando um crescimento equilibrado entre parte aérea e sistema radicular em relação aos demais tratamentos. Apenas as mudas produzidas em sacos de polietileno em ambiente de viveiro apresentaram peso de matéria seca do sistema radicular semelhante (Tabela 2). No processo de produção de mudas é importante avaliar o local de acúmulo de peso de matéria seca nas suas diversas partes, e não só o peso da matéria seca total, sendo essa característica importante na avaliação do desenvolvimento de plantas (COVRE *et al.*, 2013; PAIVA *et al.*, 2009).

Assim, o PMSF, PMSC e PMST, por planta, foram maiores em mudas produzidas em SHM com tubetes de 50 cm³, seguido do SHM com tubetes de 120 cm³ e viveiro com saco de polietileno que não diferiram entre si, com diferenças que chegam a 97,88% para PMSF, 93,90% para PMSC e 93,04% para PMST (Tabela 2). Damato Neto *et al.* (2014), estudando genótipos de café em solução nutritiva, observaram que o acúmulo de biomassa varia de acordo com a cultivar utilizada, ressalta-se, portanto, que a variação observada no presente estudo possivelmente ocorreu devido aos sistemas de cultivo.

Possivelmente o maior acúmulo de peso de matéria seca e de maiores valores das características de crescimento das mudas em SHM com tubetes de 50 cm³ pode ter ocorrido devido a menor sobrevivência das mudas nesse sistema em relação às produzidas em

tubetes de 120 cm² no mesmo sistema, o que proporcionou um maior espaçamento das mudas nas bandejas e, assim, maior insolação e arejamento, além de menor competição por recursos entre as plantas deste sistema.

Tabela 2. Peso da matéria seca foliar (PMSF), peso da matéria seca caule (PMSC), peso matéria seca radicular (PMSR), peso da matéria seca total (PMST), área foliar total (AFT), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), razão de peso foliar (RPF) e massa foliar específica (MFE) de mudas de *Coffea canephora*, produzidas por estaquia em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e viveiro (V), em diferentes recipientes (tubete de 50 cm³ - T 50, tubete de 120 cm³- T 120 e saco de polietileno- SP).

Tratamentos	PMSF (g)	PMSC (g)	PMSR (g)
SHM T 50	1.308 a	0.477 a	0.352 a
SHM T 120	0.665 b	0.246 b	0.196 b
V T 50	0.000 c	0.000 c	0.000 c
V T 120	0.000 c	0.000 c	0.000 c
V SP	0.661 b	0.264 b	0.451 a
	PMST (g)	AFT (cm ²)	RAF (cm ² .g ⁻¹)
SHM T 50	2.137 a	4705337.6 a	2082.2 a
SHM T 120	1.107 b	2272781.6 b	2196.9 a
V T 50	0.000 c	0.000 c	0.000 c
V T 120	0.000 c	0.000 c	0.000 c
V SP	1.376 b	1093313.5 b	790.7 b
	AFE (cm ² .g ⁻¹)	RPF (g.g ⁻¹)	MFE (mg.cm ⁻²)
SHM T 50	3405.1 a	0.734 a	0.000318 b
SHM T 120	3655.7 a	0.732 a	0.000335 b
V T 50	0.000 c	0.000 b	0.000 c
V T 120	0.000 c	0.000 b	0.000 c
V SP	1587.7 b	0.718 a	0.000708 a

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

Nas mudas produzidas em SHM com tubete de 50 cm³, observou-se maior área foliar total (AFT), seguido das conduzidas em SHM com tubete de 120 cm³ e viveiro com saco de polietileno, com diferença que pode chegar a 330,37%. Além disso, mudas em SHM, independente do tamanho de recipiente utilizado, obtiveram maiores valores de razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) quando comparado às cultivadas em viveiro (Tabela 2), com diferenças que podem chegar a 177,84% e 130,25% respectivamente.

A MFE representa a quantidade PMSF por AFT, indicando a proporção relativa da superfície assimilatória e tecidos celulares da folha, ou seja, maiores valores de MFE observados em mudas produzidas em viveiro com utilização de sacos de polietileno pode estar relacionada à maior espessura foliar (Tabela 2). De acordo com Sack e Holbrok

(2006), o ambiente de exposição pode ocasionar modificações na área, espessura, forma, concentração de nutrientes e capacidade de trocas gasosas em folhas.

Giuriatto Junior *et al.* (2020) avaliando crescimento e qualidade de mudas produzidas por estacas caulinares de *Coffea canephora* também verificaram bom desempenho de mudas para as características altura, peso de matéria seca total, área foliar, volume de raízes, no entanto, foram produzidas em tubetes com volume de 280 cm³ e irrigação intermitente em estufa.

O fornecimento de água é uma característica extremamente importante para o desenvolvimento dos vegetais, o volume dos recipientes, sistema de cultivo e substratos utilizados influenciam diretamente a retenção e fornecimento de água para as mudas. O aumento da irrigação e tipo de solo influenciam no aumento de área foliar, número de folhas e índice de área foliar (SOUZA *et al.*, 2016). Sob níveis reduzidos de irrigação, Martins *et al.* (2006) também observaram baixos valores de índices foliares. No presente estudo, o pequeno desenvolvimento das mudas produzidas em viveiro pode ter sido influenciado por esses fatores, juntamente com os turnos de rega utilizados que podem ter permitido déficits hídricos temporários.

Vale ressaltar que o sistema que proporcionou os melhores índices foliares, também apresentou o sistema radicular mais desenvolvido (Tabelas 1 e 2), o que reforça a importância das folhas para a captação de luz e transformação dessa energia luminosa em química, que é essencial para o desenvolvimento do sistema radicular e crescimento das plantas.

Maiores concentrações de clorofila a, b e total foram observados em mudas no SHM em ambos tamanhos de recipientes, com superioridade de até 37,41%, 82,24% e 47,56% respectivamente (Tabela 3) em relação ao viveiro com saco de polietileno. Os teores de clorofila a e b estão positivamente relacionados a ativação do processo fotossintético (RAMÍREZ-OLVERA *et al.*, 2019) e, conseqüentemente, ao seu desenvolvimento e adaptação a diversos ambientes. Altas taxas fotossintéticas podem ser observadas em plantas com alto teor de clorofila (NOGUEIRA *et al.*, 2013). A clorofila b possui função de proteger o aparelho fotossintético do dano fotoinibitório, por meio da dissipação da energia térmica e contra o oxigênio ao centro de reação do PSII (HENDRY; PRICE, 1993), sendo assim o acúmulo de clorofila b pode estar relacionado com melhor desenvolvimento das mudas em sistema hidropônico modificado (Tabelas 1, 2, 3 e 4).

Tabela 3. Clorofila a, b e total , Condutância (CE), Densidade (DEN), Funcionalidade (FUN) e Abertura estomática (AE) avaliados, em mudas de *Coffea canephora* produzidas por estaquia em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e viveiro (V), em diferentes recipientes (tubete de 50 cm³ - T 50, tubete de 120 cm³- T 120 e saco de polietileno- SP).

Tratamentos	Clorofila a (ICF)	Clorofila b (ICF)	Clorofila T (ICF)	CE ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	DEN (n ^o .mm ⁻²)	FUN	AE (μm)
SHM T 50	395.947 a	152.580 a	548.528 a	313.600 a	355.405b	2.067 a	1.352 b
SHM T 120	401.895 a	156.053 a	557.947 a	221.477 b	427.115 a	1.677 b	2.370 a
V T 50	0.000 c	0.000 c	0.000 c	0.000 d	0.000 c	0.000 c	0.000 c
V T 120	0.000 c	0.000 c	0.000 c	0.000 d	0.000 c	0.000 c	0.000 c
V SP	292.474 b	85.632 b	378.105 b	56.667 c	439.382 a	1.763 b	2.817 a

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

Fisiologicamente, maiores valores de condutância e funcionalidade estomática foram observados em mudas produzidas no SHM em tubetes de 50 cm³ com superioridade dos demais tratamentos em pelo menos 41,59% e 17,24% respectivamente. A densidade e abertura estomática foram superiores em mudas produzidas no SHM com tubetes de 120 cm³ e viveiro com saco de polietileno, seguido das mudas produzidas em sistema hidropônico com tubetes de 50 cm³ (Tabela 3), com diferenças de até 23,62% e 108,36% respectivamente. Segundo Ribeiro *et al.* (2012) uma alta densidade estomática com estômatos pouco funcionais pode ocasionar excessiva transpiração dificultando a adaptação a condições de cultivo.

Alguns tipos de estresses como calor e seca têm sido estudados e associados a diminuições na condutância estomática (LONG *et al.*, 2006). O sistema hidropônico modificado ofereceu disponibilidade de água via solução nutritiva em tempo integral, o que pode ter contribuído para maior condutância estomática nestes tratamentos. Em condições de escassez de água, os genótipos de café tendem a reduzir a condutância estomática para evitar excesso de transpiração (DaMATTA *et al.*, 2003; DIAS *et al.*, 2007; PINHEIRO *et al.*, 2004).

Partelli *et al.* (2020) observaram diferenças para densidade estomática estudando diferentes genótipos de *Coffea canephora*. Maiores densidades estomáticas verificadas em plantas no SHM com tubetes de 120cm³ e viveiro com SP estão provavelmente relacionadas ao sistema de produção utilizado, uma vez que o genótipo estudado foi o mesmo (Tabela 3). Segundo Castro *et al.* (2009), a densidade estomática demonstra maior capacidade de trocas gasosas, e, conseqüentemente, está relacionada à capacidade de suportar estresses e maior taxa fotossintética.

Para as mudas produzidas em SHM T 50 foi possível observar menores valores de densidade estomática quando comparado aos tratamentos SHM T 120 e VIV SP, no entanto, pôde-se verificar resultados superiores para funcionalidade e condutância estomática (Figura 2). A maior funcionalidade estomática pode estar relacionada à menor transpiração da folha, pelo fato dos estômatos se tornarem mais elípticos (BATISTA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010).

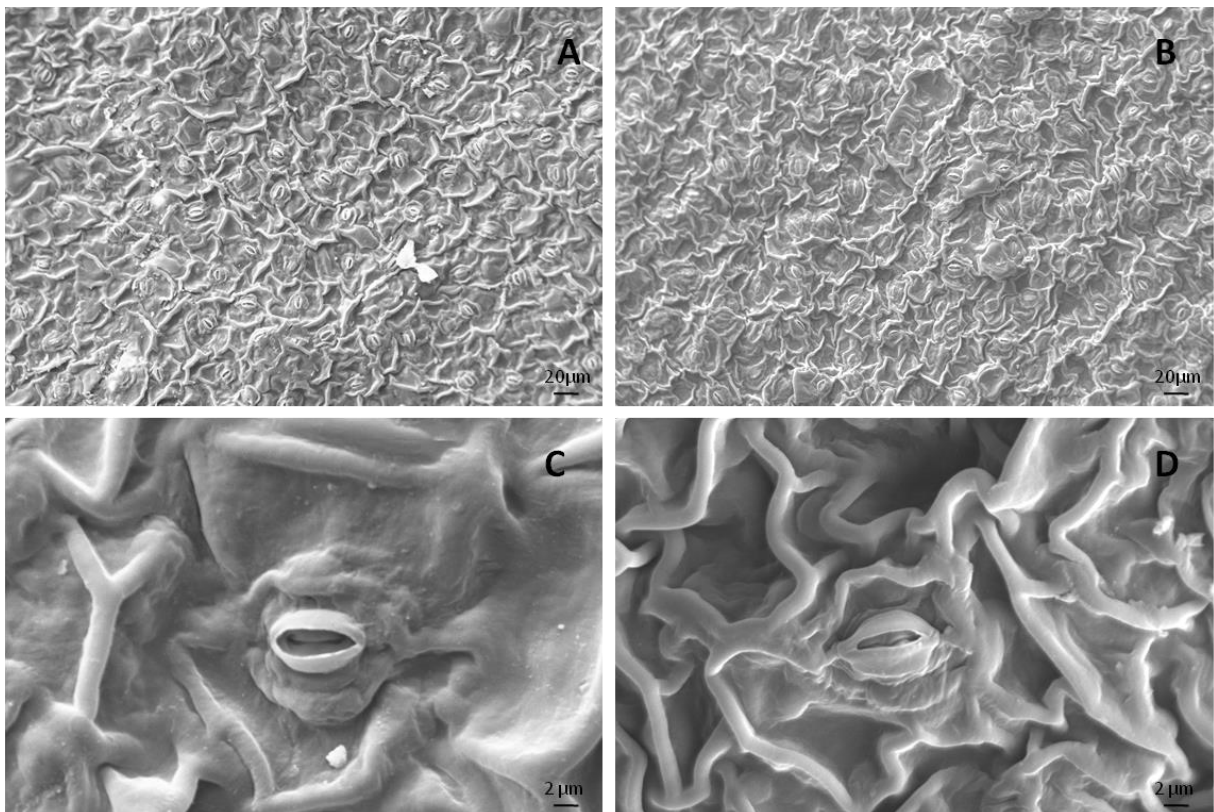


Figura 2 Eletromicrografias da superfície foliar de mudas de *Coffea canephora* evidenciando a densidade e abertura estomática em mudas produzidas em diferentes sistemas. A e C: Mudas produzidas em sistema hidropônico modificado com tubete de 120 cm³. B e D: Mudas produzidas em sistema hidropônico modificado com tubete de 50 cm³.

Fatores como temperatura e disponibilidade hídrica, com ocorrência única ou combinada, podem alterar o desempenho fotossintético de plantas de café, sendo que o aumento da temperatura altera as características estomáticas de maneira diferente da seca (DUBBERSTEIN *et al.*, 2020). Nesta pesquisa, foi possível observar que os diferentes sistemas de produção utilizados, por fornecerem diferentes condições ambientais de cultivo, também promoveram diferentes respostas ao desempenho fisiológico das mudas (Tabela 3).

Mudas produzidas em SHM com tubete de 50 cm³ e em viveiro com saco de polietileno apresentaram maiores volumes e áreas superficiais de raízes, não diferindo entre si, seguidas nas mudas produzidas em SHM com tubete de 120 cm³, com diferenças podendo chegar a 321,43% e 250,66% respectivamente (Tabela 4).

Não houve diferenças significativas entre os diâmetros médios das raízes das plantas dos três tratamentos que sobreviveram, porém, o comprimento dessas foi maior no SHM, independente do tamanho de tubete, podendo chegar a uma superioridade de 87,59% (Tabela 4), o que pode ser explicado pela limitação de espaço físico que ocorreu em mudas em sacos de polietileno em viveiro, o que não acontece no SHM.

Tabela 4. Volume, área superficial, diâmetro e comprimento de raízes de mudas de *Coffea canephora* produzidas por estaquia em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e viveiro (V), em diferentes recipientes (tubete de 50 cm³ - T 50, tubete de 120 cm³ - T 120 e saco de polietileno- SP).

Tratamentos	Volume (mm ³)	Área superficial (mm ²)	Diâmetro (mm)	Comprimento (cm)
SHM T 50	9185.82 a	25213.72 a	0.846 a	33.172 a
SHM T 120	3186.56 b	10675.53 b	0.770 a	28.953 a
V T 50	0.000 b	0.000 b	0.000 b	0.000 c
V T 120	0.000 b	0.000 b	0.000 b	0.000 c
V SP	13429.12 a	37435.08 a	0.775 a	17.683 b

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

Mudas com sistemas radiculares bem desenvolvidos são desejáveis, pois essa característica possibilita maior exploração de volume de solo, e assim, maior capacidade de absorção de água e nutrientes (CATARATO *et al.*, 2010). Neste sentido, observou-se que as mudas produzidas em SHM e VIV SP foram eficientes na absorção de nutrientes e água, o que contribuiu para maiores acúmulos de matéria de PMSF, PMSC e PMST (Tabela 2). O desenvolvimento radicular de *Coffea canephora* pode ser influenciado por características como método de propagação e genótipo (PARTELLI *et al.*, 2014), ambiente (SILVA *et al.*, 2020), e neste trabalho, verificou-se variação devido ao sistema de produção e recipiente.

Em folhas e raízes de mudas de café canéfora produzidas em SHM e viveiro, foram detectados os elementos químicos oxigênio, flúor, magnésio, alumínio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio e silício.

Foram observados para todos os tratamentos, que a maioria dos elementos químicos estão depositados de forma homogênea nos tecidos vegetais (limbo foliar e raízes), e que o

cálcio e o potássio se concentraram em menor intensidade na região vascularizada (Figuras 3 e 4).

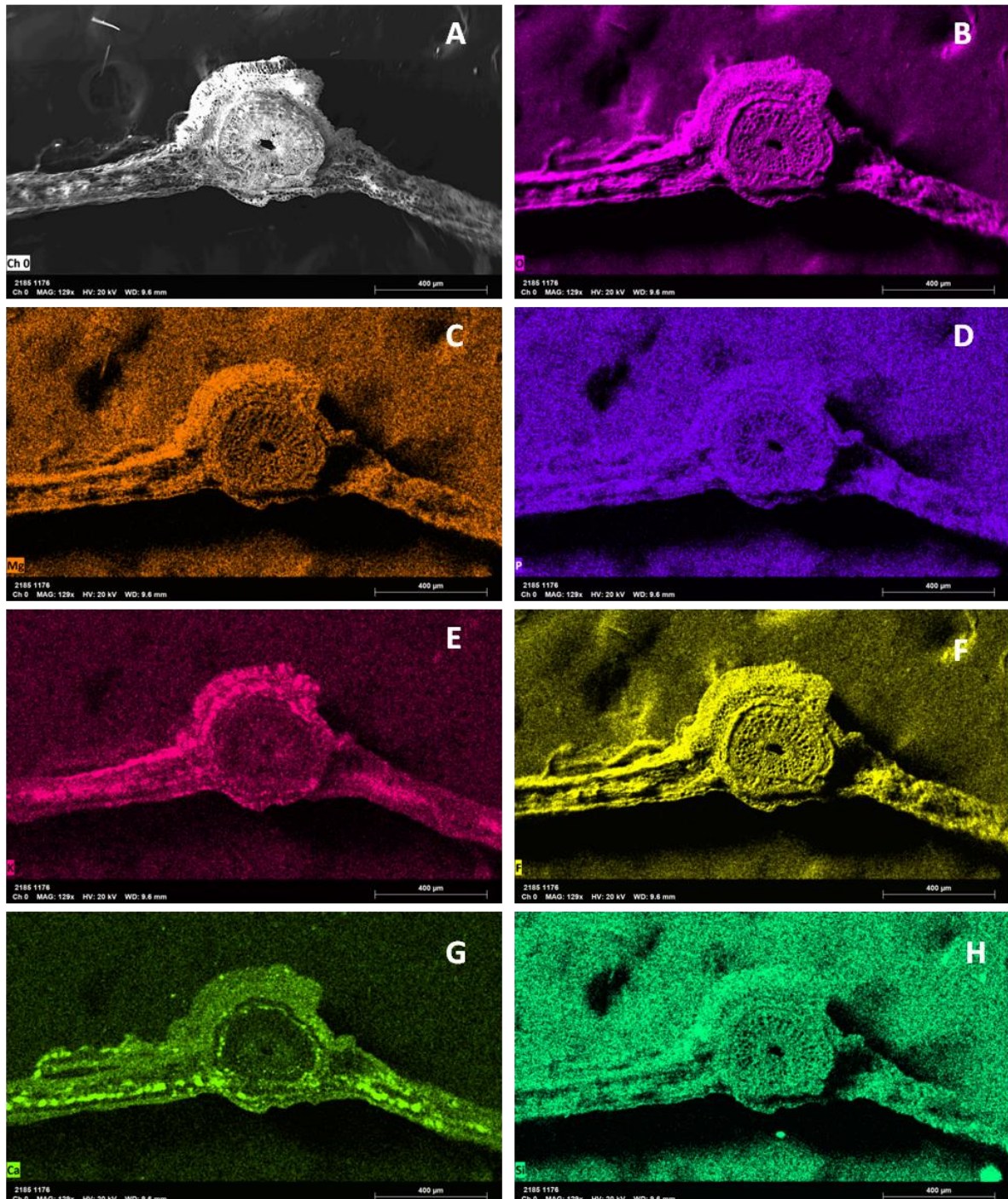


Figura 3 Eletromicrografias de varredura com microanálise de raios x dos principais elementos químicos localizados em folhas de *Coffea canephora* de mudas produzidas por estacaria em sistema hidropônico modificado e viveiro. A: Corte transversal de limbo de cafeeiro evidenciando o mesófilo e feixe vascular (região analisada). Mapeamento indicando localização de elementos químicos B: Oxigênio, C: Magnésio, D: Fósforo, E: Potássio, F: Flúor, G: Cálcio, H: Silício.

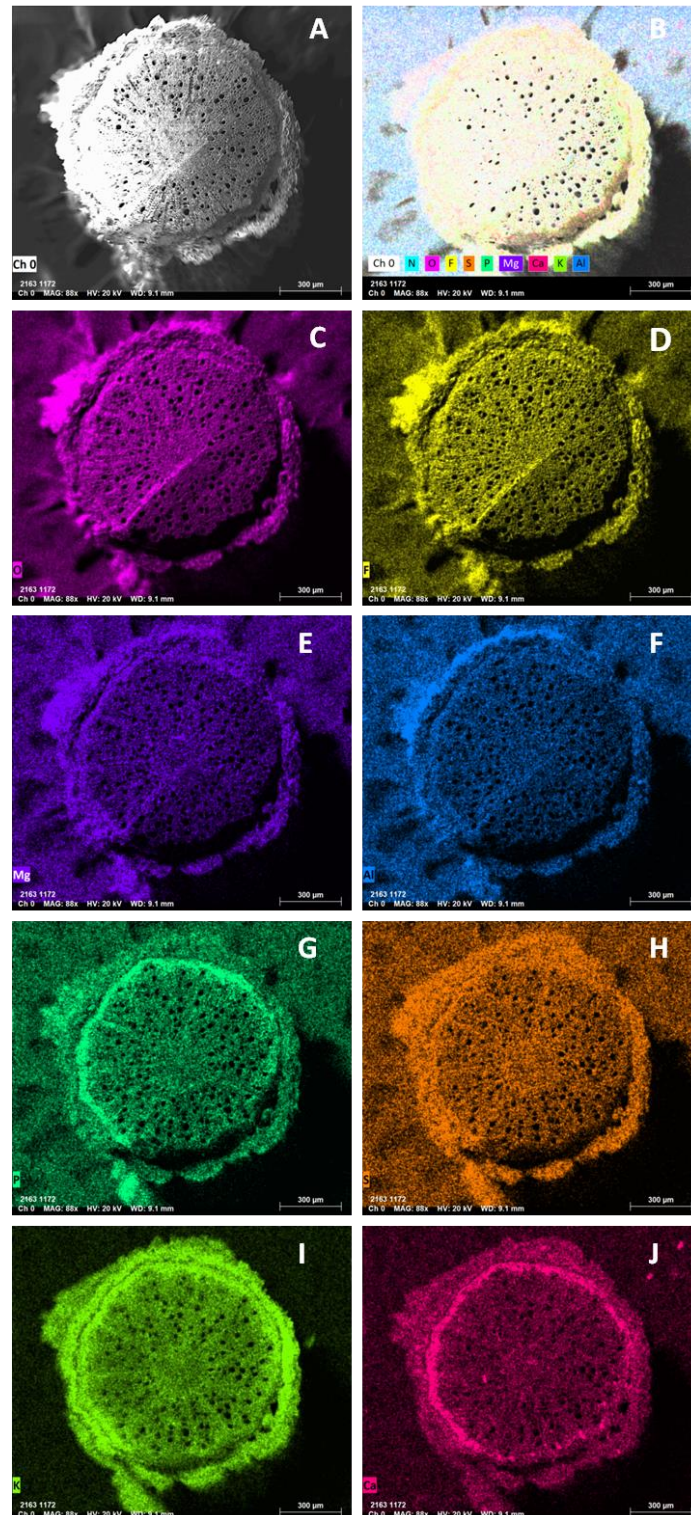


Figura 4 Eletromicrografias de varredura com microanálise de raios x dos principais elementos químicos localizados em raízes de *Coffea canephora* de mudas produzidas por estaca em sistema hidropônico modificado e viveiro. A: Corte transversal de raízes de mudas de café (região analisada). Mapeamento indicando localização de elementos químicos B: Sobreposição da localização dos elementos químicos encontrados. C: Oxigênio, D: Flúor, E: Magnésio, F: Alumínio, G: Fósforo, H: Enxofre, I: Potássio, J: Cálcio.

O desenvolvimento das plantas é influenciado pelo seu estado nutricional que promove efeitos no suprimento de assimilados e de substâncias de crescimento (COVRE *et al.*, 2013; TAIZ *et al.*, 2017), sendo que as concentrações de nutrientes em cafeeiros podem variar de acordo com a época de avaliação (DUBBERSTEIN *et al.*, 2019), tecido vegetal (BRAGANÇA *et al.*, 2007) e condições climáticas como chuva e temperatura (OLIOSI *et al.*, 2021).

Em relação a utilização de substratos e nutrição, Silva *et al* (2010) estudaram o efeito de diferentes substratos e recipientes, com e sem fertilizante de liberação controlada, sobre o desenvolvimento de mudas de café em viveiro, e observaram que a utilização de substrato composto por terra acrescido de esterco e fertilizante de liberação controlada esteve entre as melhores opções de uso. Além disso, observaram que o substrato comercial foi inadequado para a produção de mudas de café canéfora, independentemente do recipiente. Neste estudo, observou-se que no processo de formação de mudas clonais, o uso de substrato comercial em tubetes de 50 e 120 cm³ em viveiro, com duas irrigações diárias, em viveiro, foi ineficiente, levando as plantas até a morte (Tabela 1).

De forma geral, observa-se melhores índices relacionados à qualidade de mudas de *Coffea canephora* conduzidas em SHM. Dentro deste sistema, foi possível verificar que houve maior sobrevivência das mudas produzidas em SHM+120 cm³ (Figura 1, Tabela 1), no entanto, as mudas produzidas em SHM+50 cm³ apresentaram melhores resultados para diversas características fitotécnicas e fisiológicas (Tabelas 1, 2 e 3), fato este que pode estar relacionado ao maior espaçamento e menor concorrência entre as mudas, devido a menor sobrevivência neste tratamento que, possivelmente, contribuiu para melhor desenvolvimento das plantas.

CONCLUSÕES

A produção de mudas de *Coffea canephora* por estaquia em sistema hidropônico modificado com utilização de tubetes de 120 cm³ é mais indicada que a produção em sistema convencional (viveiro).

Em viveiro, a utilização de sacos de polietileno proporciona melhor qualidade e sobrevivência de mudas do que as produzidas em tubetes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- BARBIERI JUNIOR, E. *et al.* Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012.
- BATISTA, L.A. *et al.* Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, jul./set. 2010.
- BENINCASA, M. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.
- BRAGANÇA, S.M. *et al.* Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn E Zn pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 314, p. 398-404, 2007.
- BRAUN, H. *et al.* Desenvolvimento inicial do café conillon (*Coffea canephora* pierre) em solos de diferentes texturas com mudas produzidas em diferentes substratos. **Idesia**, Arica, v. 27, n. 3, 2009.
- BUSTAMANTE, J. *et al.* Estimación temprana del potencial de rendimiento en café (*Coffea arabica* L.) var. Bramón I. **Bioagro**, [S.l.], v.16, n.1, p. 3-8, 2004.
- CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CHALFUN, N.N.J.; FAQUIN, V. **Hidromudas: processo de produção de porta enxertos e mudas frutíferas, florestais e ornamentais enxertadas em hidroponia**. (BRN.PI 0802792-7). Rio de Janeiro: INPI, 2008.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira - café, safra 2020**. Brasília: Conab, 2020. V. 6.p. 1- 62.
- CONTARATO, C.C. Evaluation of the initial development of conilon coffee clones (*Coffea canephora*). **Scientia Agraria**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 65-71, 2010.
- COVRE, A.M. *et al.* Distribuição do sistema radicular do café conilon irrigado e não irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 11, p. 1006–1016, 2015.

COVRE, A.M. *et al.* Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. **Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 193-202, 2013.

DAMATTA, F.M. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, [S.l.], v. 164, n. 1, p. 111-117, 2003.

DAMATO NETO, J. *et al.* Avaliação do sistema radicular e eficiência nutricional de cálcio e magnésio em mudas de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. **Revista Verde**, Pombal, v. 9, n. 3, p. 307-312, 2014.

DIAS, P.C. *et al.* Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. **Journal of Plant Physiology**, [S.l.], v.164, n. 12, p.1639-1647, 2007.

DUBBERSTEIN, D. *et al.* Resilient and Sensitive Key Points of the Photosynthetic Machinery of *Coffea* spp. to the Single and Superimposed Exposure to Severe Drought and Heat Stresses. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v.11, p. 1049, 2020.

DUBBERSTEIN, D. *et al.* Concentration and accumulation of micronutrients in robust coffee. **Acta scientiarum-agronomy**, [S.l.], v. 41, p. e42685, 2019.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. da.; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H. **Café Conilon**. 2. ed. Vitória, ES: Incaper, 2017.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GIURIATTO JÚNIOR *et al.* Growth and physiological quality in clonal seedlings of Robusta coffee. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 51, n. 4, 2020.

GOMES, W. A. *et al.* Leading systems and viability of citric buds in hydroponics. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 364-369, 2019.

HARTMANN, H.T. *et al.* **Plant propagation: Principles and practices**. 8. ed. Boston: Prentice Hall, 2011. 915 p.

HENDRY, G.A.F.; PRICE, A.H. Stress Indicators: Chlorophylls and Carotenoids. *In*: HENDRY, G.A.F.; GRIME, J.P. (Eds.). **Methods in Comparative Plant Ecology**. London: Chapman Hall, 1993. p.148-152.

JESUS, A.M.S.; CARVALHO, S.P.; CASTRO, E.M.; GOMES, C.N. Observações anatômicas em plantas de *Coffea arabica* L. obtidas por enraizamento de estacas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p.175-180, 2010.

JORGE, L.A.C.; SILVA, D.J.C.B. **SAFIRA**: manual de utilização. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010. 29 p.

LIMA, R.L.S. *et al.* Comprimento de estacas [cuttings] e parte do ramo na formação de mudas de aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 83-86, 2006.

LONG, S.P. *et al.* Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. **Science**, [S.l.], v. 312, n. 5782, p. 1918-1921, 2006.

MARTINS, C.C. *et al.* Crescimento inicial do café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 193-201, 2006.

NOGUEIRA, N.O. *et al.* Teor de nitrogênio, clorofila e relação clorofila-carotenoide em café arábica em solo submetido a diferentes corretivos de acidez. **Agrária-Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 8, n. 3., p.390-395, 2013.

OLIOSI, G. *et al.* Variação sazonal na concentração de nutrientes nas folhas de genótipos de café conilon, **Journal of Plant Nutrition**, [S.l.], v. 44, n. 1, p.74-85, 2021.

OLIVEIRA, R.J.P.; AIRES, R.F.; CAMPOS, A D. Teores de carboidratos em estacas lenhosas de mirtilheiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 1199-1207, 2012.

PAIVA, R.F. *et al.* Comportamento de cultivares de cafeeiros *C. arabica* L. enxertados sobre cultivar 'Apoatã IAC 2258' (*Coffea canephora*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 155-1160, 2012.

PAIVA, A.V. *et al.* Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, [S.l.], v. 37, n. 84, p. 499-511, 2009.

PARTELLI, F.L. *et al.* Tributun: a coffee cultivar developed in partnership with farmers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. e30002025, 2020.

PARTELLI, F.L. Andina - first clonal cultivar of high-altitude coniloncoffee. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 19, n. 4, p.476-480, 2019.

PARTELLI, F.L. *et al.* Distribuição do sistema radicular e produtividade do café 'Conilon' propagado por sementes ou estacas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 5, p. 349-355, 2014.

PINHEIRO, H.A. *et al.* Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant Science**, [S.l.], v.167, n. 6, p. 1307-1314, 2004.

RAMÍREZ-OLVERA, S.M. *et al.* O silício estimula o crescimento inicial e a proporção de clorofila a / b em mudas de arroz e altera as concentrações de Ca, B e Zn em tecidos vegetais, **Journal of Plant Nutrition**, [S.l.], v. 42, n. 16, p. 1928-1940, 2019.

RIBEIRO, B.B. *et al.* Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* Pierre e *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 178-186, 2014.

RIBEIRO, M.N.O. *et al.* Leaf anatomy of the cassava as related to potential for tolerance to different environmental conditions. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 354-361, 2012.

RONCHI, C.P. *et al.* Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 3, p. 187-195, 2015.

SACK, L.; HOLBROOK, N.M. **Leaf hydraulics**. The Annual Review of Plant Biology, Palo Alto, v. 57, p. 361-381, 2006.

SILVA, L.O.E. *et al.* Root trait variability in *Coffea canephora* genotypes and its relation to plant height and crop yield. **Agronomy**, [S.l.], v. 10, n. 9, p. 1394, 2020.

SILVA, J.A. *et al.* Desenvolvimento de mudas de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner em diferentes combinações de substrato e recipiente. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 38-48, 2010.

SOUZA, A.J.J. *et al.* Quantitative analysis of growth in coffee plants cultivated with a water-retaining polymer in an irrigated system1. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 1, p. 162-171, 2016.

SOUZA, F.F. *et al.* Aspectos gerais da biologia e da diversidade genética de *Coffea canephora*. (Ed.). In: MARCOLAN, A.L.; ESPINDULA, M.C. **Café na Amazônia**. Brasília: Embrapa, 2015. p. 85-98.

SOUZA, A.G. *et al.* Produção de mudas de tangerineira 'Ponkan' em sistema hidropônico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 902-909, 2013.

SOUZA, L.V.; GENTIL, D.F.O. Estaquia da cultivar de tomateiro Yoshimatsu. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, 2013.

SOUZA, T.C. *et al.* Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, jan. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. MASTROBERTI, A.A. *et al.* (Trads.). OLIVEIRA, P.L. (Rev.). 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 690 p.

VERDIN FILHO, A.C. *et al.* Growth and quality of clonal plantlets of Conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) influenced by types of cuttings. **American Journal of Plant Sciences**, [S.l.], v. 5, n. 14, p. 2148-2153, 2014.

ARTIGO 3

PRODUÇÃO DE MUDAS DE DIFERENTES CULTIVARES DE *Coffea arabica* EM SISTEMA HIDROPÔNICO MODIFICADO E VIVEIRO UTILIZANDO DIEFRETES RECIPIENTES

RESUMO

A utilização de mudas por sementes é a principal forma de propagação para o café arábica. Atualmente o saco de polietileno é o recipiente mais utilizado, mas o uso de tubetes vem aumentando devido às vantagens como menor uso de substrato, melhor fitossanidade, ergonomia e facilidade transporte. Geralmente a produção ocorre em viveiros. O desenvolvimento do sistema de cultivo hidropônico modificado tem possibilitado a sua utilização para diversas culturas com várias vantagens, mas os estudos para café ainda são escassos. Assim, objetivou-se com este trabalho, avaliar a produção de mudas de três cultivares de *Coffea arabica* (Mundo Novo IAC-376-4, Catuaí IAC-62 Amarelo e MGS Paraíso 2), em sistema hidropônico modificado e comparar com o sistema de produção em viveiro, utilizando tubetes e sacos plásticos de polietileno. Ao final do experimento as mudas foram analisadas quanto as características de crescimento (altura, diâmetro de caule, número total de folhas, área foliar, área radicular, peso da matéria seca da parte aérea e raiz) e fisiológicas (teores de clorofila e condutância estomática). Para a análise estatística foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) no esquema fatorial 3 (cultivares) x 2 (recipientes) x 2 (sistemas de cultivo), com quatro repetições de dez plantas por parcela. O sistema inovador de produção de mudas de café em hidroponia modificada em combinação com o uso de sacos de polietileno como recipiente, proporcionam de forma geral, melhor desenvolvimento e qualidade das mudas. Dentre as cultivares testadas, a MGS Paraíso 2 se destacou com mudas de maior crescimento (número de folhas, diâmetro de caule e peso da matéria seca de parte aérea e raízes).

Palavras chave: Café. Sementes. Hidroponia. Recipientes.

ABSTRACT

The seedlings by seeds is the main propagation form for arabica coffee. Currently, the polyethylene bag is the most used container, but the use of tubettes has been increasing due to the advantages such as less use of substrate, plant health, ergonomics and ease transportation. Production usually takes place in nurseries. The development of modified hydroponic cultivation has made possible its use for several cultures with several advantages, but studies for coffee are still scarce. Thus, this work aim was to evaluate the seedlings production of *Coffea arabica* three cultivars (Mundo Novo IAC-376-4, Catuaí IAC-62 Amarelo e MGS Paraíso 2), in a modified hydroponic system and to compare it with the nursery production system, using plastic polyethylene tubettes and bags. At the end of the experiment, the seedlings were analyzed for growth (height, stem diameter, leaves total number, leaf area, root area, dry matter weight of the aerial part and root), and physiological characteristics (chlorophyll content and stomatal conductance). For the statistical analysis, a completely randomized design (DIC) was used in the factorial scheme 3 (cultivars) x 2 (containers) x 2 (cultivation systems), with four replications of ten plants per plot. The innovative system production of coffee seedlings in modified hydroponics proposed by Chalfun and Faquin, (2008) in combination with the use of polyethylene bags, provided greater growth of coffee seedlings with better physiological characteristics. Among the cultivars tested, MGS Paraíso 2 stood out with higher growth seedlings (number of leaves, stem diameter and dry matter weight of aerial plant parts and roots).

Key words: Coffee. Seeds. Hydroponics. Containers.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café e o segundo maior mercado consumidor (ABIC, 2020; CONAB, 2020). A produção de mudas constitui etapa fundamental para a manutenção da cadeia produtiva desta cultura. As mudas possibilitam a transferência de tecnologias para renovação de lavouras e novas áreas de cultivo.

As sementes de café não toleram altos níveis de dessecação, sendo consideradas intermediárias entre recalcitrantes e ortodoxas (COELHO *et al.*, 2020; ELLIS; HONG; ROBERTS, 1990). Desta forma, o período de armazenamento é reduzido, e devido ao pequeno intervalo de tempo entre a obtenção de sementes, tempo de formação das mudas e época ideal de plantio, o produtor encontra dificuldades na implantação de lavouras no início do período chuvoso.

No âmbito do melhoramento genético, o desenvolvimento de novas cultivares vem preconizando a busca de genótipos com características agronômicas de interesse como maior produtividade (LIMA *et al.*, 2016), vigor, resistência a pragas e doenças (LIMA *et al.*, 2018; PEREIRA *et al.*, 2020), adaptação a diferentes locais de cultivo (DIAS *et al.*, 2017), grãos de maior tamanho (CARVALHO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2016), qualidade de bebida (FIGUEIREDO *et al.*, 2013), dentre outros.

Em Minas Gerais, a espécie *Coffea arabica* L é cultivada em todas as regiões cafeeiras do estado, e as cultivares Catuaí e Mundo Novo são amplamente cultivadas por serem altamente produtivas (LIMA *et al.*, 2016). A cultivar Mundo Novo é resultante do cruzamento natural entre Sumatra e Bourbon vermelho, sendo um dos genótipos mais antigos cultivados no Brasil, possuindo como principais características o alto porte, vigor e produtividade, boa qualidade de bebida e suscetibilidade à ferrugem. A cultivar Catuaí é oriunda do cruzamento entre Mundo Novo e Caturra, possui como principais características porte baixo, alto vigor e produtividade, boa qualidade de bebida e suscetibilidade à ferrugem (CARVALHO *et al.*, 2008). A cultivar MGS Paraíso 2, lançada em 2013, pela Epamig, é fruto do cruzamento entre Catuaí Amarelo e Híbrido de Timor, apresenta peneira alta, elevada capacidade produtiva, maturação intermediária, alta qualidade de bebida, resistência a ferrugem e porte baixo (PEREIRA *et al.*, 2013).

Devido a diversidade de cultivares registradas e de suas peculiaridades se torna importante conhecer o comportamento desses genótipos em novos sistemas de cultivo.

Tradicionalmente, as mudas de *Coffea arabica* são produzidas em viveiros comerciais. Os principais recipientes utilizados são sacos plásticos de polietileno contendo substrato de solo de subsuperfície (70%) e esterco bovino (30%) e tubetes de polietileno rígido com substrato comercial composto por casca de pinus moída enriquecido com nutrientes (GUIMARÃES; MENDES, 1998; SILVA *et al.*, 2010; VALLONE *et al.*, 2010).

A qualidade e os custos de produção de mudas podem ser influenciados pelo substrato utilizado, tipo de recipiente e suas dimensões. A disponibilidade de nutrientes e água, e, conseqüentemente, o volume e arquitetura do sistema radicular estão relacionados aos volumes dos recipientes (SCHORN *et al.*, 2019). O uso de solo e esterco de animais podem carregar plantas invasoras, patógenos e nematóides, neste sentido, visando diminuir esses problemas há aumento da procura por substratos comerciais (SILVA *et al.*, 2013).

A busca por novas tecnologias de produção de mudas é importante para que o desenvolvimento da cafeicultura possa tornar a atividade mais atrativa e rentável para os produtores rurais, levando maior potencial produtivo às lavouras. Segundo Trazzi *et al.* (2013), a qualidade das mudas está diretamente ligada à produtividade e qualidade do produto final. Neste sentido, no âmbito da produção de mudas de café, nos últimos anos, alguns trabalhos vêm sendo conduzidos com utilização de substratos alternativos (MENEGHELLI *et al.*, 2017), adaptação de mudas em sistemas de sombreamento e pleno sol (TATABIGA *et al.*, 2010), cultivo em telas com diferentes características espectrais (HENRIQUE *et al.*, 2011), dentre outros. No entanto, trabalhos envolvendo a utilização de hidroponia em café são escassos. Neste sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar a produção de mudas de café utilizando sistema hidropônico modificado e viveiro, em dois tipos de recipientes (tubete e saco de polietileno), para três cultivares de café arábica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Locais:

O experimento foi conduzido no viveiro do Setor de Cafeicultura, e no Setor de Horticultura, localizados no do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG.

2.2 Obtenção das mudas, sistemas de cultivo e recipientes utilizados:

As mudas das cultivares Mundo Novo IAC-376-4, Catuaí IAC-62 Amarelo e MGS Paraíso 2 foram adquiridas em viveiro comercial. As mudas obtidas por sementes, no estágio orelha de onça, foram transplantadas (repicadas) para os recipientes, as quais foram conduzidas em dois sistemas de cultivo: em viveiros com sistema de irrigação por aspersão e hidropônico modificado (CHALFUN, FAQUIN, 2008) e em dois tipos de recipientes (saco de polietileno e tubete de polietileno rígido 120 cm³). Para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições com dez plantas em cada parcela.

As mudas produzidas em viveiro foram cultivadas em tubetes contendo substrato comercial Plantimax[®] com adição de adubo de liberação lenta, 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, e em sacos de polietileno utilizando mistura de solo subsuperficial (70%), esterco bovino (30%), bem curtidos, enriquecido com 2 kg de calcário dolomítico; 5 kg de superfosfato simples e 0,5 kg de cloreto de potássio, para cada m³ de substrato. As mudas foram colocadas em viveiro, sobre bancada suspensa a 80 cm do solo, com tela sombrite 50%, onde foram irrigados por aspersão em dois turnos de rega por 30 minutos por dia. Registrou-se a média de 28,7°C de temperatura e 43,7% de umidade relativa do ar durante a condução do experimento.

Em sistema hidropônico modificado (SHM), as mudas foram cultivadas em vermiculita. Utilizou-se a metodologia proposta por Chalfun e Faquin (2008), sendo conduzido no sistema de 'piscina' com a circulação da solução nutritiva com utilização de MaxSol F21 960g, nitrato de cálcio 720g e 40g de Quelato de ferro EDDHA diluídos em água em um reservatório com capacidade para 1000 litros. A solução circulou nas piscinas pelo conjunto de motobomba associado ao acionamento do temporizador por 15 minutos, a cada acionamento, quatro vezes ao dia. O excesso da solução nutritiva na 'piscina' retornava ao reservatório por gravidade, através da tubulação própria. A reposição dos nutrientes da solução nutritiva ocorreu de acordo com o controle da condutividade elétrica, sendo que os valores eram ajustados com a adição da solução estoque de macro e micronutrientes, preparada de acordo com as recomendações dos autores citados. O pH da solução nutritiva foi mantido entre 5,5 e 6,5 e as trocas de solução nutritiva foram feitas a cada 30 dias. A média de temperatura e umidade relativa do ar durante a condução do experimento foram de 28,4°C e 41,5%, respectivamente.

2.3 Análises:

Aos 90 dias após implantação do experimento (repicagem das mudas) foram realizadas as seguintes avaliações:

Altura das mudas (cm): foi mensurada com a utilização de régua milimetrada, considerando a distância do colo das plantas até a gema terminal dos ramos ortotrópicos.

Diâmetro médio de caule (mm): foi mensurado com utilização de paquímetro digital milimetrado modelo ZAAS-PAQDIGITAL-150mm, considerando o nível do colo das plantas.

Número total de folhas (NTF): realizou-se a contagem do número total de folhas verdadeiras.

Peso de matéria seca de folhas (PMSF), caule (PMSC), raízes (PMSR) e total (PMST): as folhas, caules e raízes foram destacadas das mudas e em seguida foram acondicionadas em sacos de papel do tipo Kraft, levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65 °C, até atingirem peso constante. Posteriormente as amostras foram pesadas em balança de precisão, em gramas.

Área foliar total (AFT) (cm²): as folhas foram destacadas das mudas, em seguida escaneadas com o auxílio do aparelho LI 3100 da marca LI-COR (LI-COR, 1996).

A partir dos dados de área foliar e peso da matéria seca foram estimadas as características: razão de área foliar (RAF) em cm².g⁻¹, obtido por meio da razão entre a área foliar total (AFT) e peso PMST da planta; área foliar específica (AFE) em cm².g⁻¹, que relaciona a superfície com o peso da matéria seca da própria folha, sendo obtida através da razão da AFT pelo PMSF; razão de peso foliar (RPF) em g.g⁻¹, obtida pela razão da PMSF pela PMST; o peso da matéria foliar específica (MFE) em mg.cm⁻², sendo está a razão da PMSF pela AFT (BENINCASA, 2003).

As raízes foram analisadas pelo *software* SAFIRA, 'Sistema de Análise de Fibras e Raízes', desenvolvido pela Embrapa Instrumentação, onde as raízes foram retiradas dos recipientes, cuidadosamente lavadas em água, posicionadas ao lado de escala (cm), em superfície preta para geração de contraste, e fotografadas com auxílio de câmera profissional. Posteriormente, realizou-se análise dos dados de volume (mm³), área (mm²), comprimento (cm) e diâmetro das raízes (mm) (JORGE; SILVA, 2010).

Foram mensurados de forma indireta os teores de clorofila a, b e total, obtidos por meio de leituras realizadas no tecido foliar com a utilização do medidor portátil clorofiLOG

- CFL1030 (Falker automação agrícola), que fornece valores denominados índices de clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorvância das clorofilas (BARBIERI JÚNIOR *et al.*, 2012).

A condutância estomática (CE) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi obtida a partir do fluxo de vapor da folha através dos estômatos para o ambiente externo com utilização do porômetro (SC-1 Decagon Devices), as leituras foram realizadas na região mediana do limbo completamente estendido, no período das de 8 às 10 horas.

2.4 Análise estatística

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial 3 x 2 x 2, sendo 3 cultivares (Mundo Novo IAC 376-4, Catuaí IAC-62 Amarelo e MGS Paraíso 2), 2 sistemas de produção de mudas (Hidropônico modificado e viveiro) e 2 recipientes (saco de polietileno e tubete de 120cm³). Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade e para análise de variância utilizou-se o *software* de análises estatísticas SISVAR[®] (FERREIRA, 2011), e para o agrupamento das médias utilizou-se o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Ao analisar a altura das mudas produzidas com as diferentes cultivares, sistemas de produção e recipientes notou-se que, as mudas produzidas em sacos de polietileno tiveram maior crescimento em relação as produzidas em tubetes (Tabela 1). Resultado semelhante foi observado por Silva *et al.* (2010) estudando o efeito de diferentes recipientes (sacos de polietileno, tubetes de 80, 120 e 200 mL e bloco prensado), que também verificaram menor altura em mudas produzidas em recipientes de menor volume.

Tabela 1. Altura, diâmetro e número de folhas de mudas de *Coffea arabica*, das cultivares Mundo Novo (MN), Catuaí e Paraíso em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e viveiro (V), em saco de polietileno (SP) e tubete 120 cm³ (TUB).

Sistema	Cultivar	Altura (cm)		Diâmetro (mm)		Nº Folhas	
		SP	TUB	SP	TUB	SP	TUB
SHM	MN	12.58 Aaa	9.55 Baa	2.59 Aba	1.83 Bbb	8.67 Aaa	7.70 Bba
	Catuaí	11.43 Aaa	9.13 Baa	2.64 Aba	1.98 Bab	9.04 Aaa	8.62 Aaa
	Paraíso	11.68 Aaa	9.24 Baa	2.80 Aaa	2.10 Bab	9.50 Aaa	7.42 Bba
V	MN	10.64 Aab	7.77 Bab	2.20 Bbb	2.37 Aaa	7.40 Abb	5.17 Bbb
	Catuaí	11.47 Aaa	6.21 Bbb	2.54 Aaa	2.41 Aaa	8.95 Aaa	4.20 Bcb
	Paraíso	10.90 Aaa	5.99 Bbb	2.56 Aab	2.48 Aaa	8.50 Aab	6.08 Bab

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (diferença entre recipientes), minúscula na coluna (diferença entre cultivares) e minúscula sublinhada (diferença entre sistemas), não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Entre as mudas produzidas em tubetes, percebe-se maior crescimento das mudas cultivadas em sistema hidropônico modificado, sendo que não houve diferença entre os sistemas de produção, para mudas produzidas em sacos de polietileno, com exceção para mudas de ‘Mundo Novo IAC 376-4’ que apresentaram maior crescimento no SHM (Tabela 1).

Entre as mudas em tubetes, a cultivar ‘Mundo Novo IAC 376-4’ (em sistema convencional), teve maior crescimento em relação às demais cultivares (29,72%) (Tabela 1), o que pode ser explicado pela característica genética de maior porte dessa cultivar (CARVALHO *et al.*, 2008).

Já quando se considera apenas as mudas produzidas em sacos de polietileno, nota-se que houve diferença entre os sistemas de produção para a cultivar ‘Mundo Novo IAC 376-4’ (com aumento de 18,23% quando cultivadas em SHM). O maior volume de substrato inerte (vermiculita) dos sacos de polietileno em comparação aos tubetes, possivelmente permitiram maior contato com a solução nutritiva, aumentando assim, o crescimento das mudas, especialmente naquelas com genética para maior porte (Tabela 1).

Ao analisar o diâmetro do caule das mudas produzidas com as diferentes cultivares e recipientes, em SHM, notou-se que, as mudas alcançaram maiores valores quando produzidas em sacos de polietileno, com destaque para a cultivar ‘MGS Paraíso 2’ (aumento de até 8,11% em relação às demais). Em viveiro, não se notou diferença entre os recipientes utilizados, com exceção para as mudas de ‘Mundo Novo IAC 376-4’ que apresentaram menor diâmetro em relação as demais cultivares (até 16,36% a menos) quando produzida em sacos de polietileno (Tabela 1).

Possivelmente, o maior diâmetro do caule ocorreu devido ao incremento na quantidade das reservas translocadas das folhas até este órgão, estimulando a atividade do câmbio vascular, meristema secundário que nas dicotiledôneas (a exemplo do cafeeiro), possui função de crescimento em espessura (TAIZ *et al.*, 2017).

Vale ressaltar, que as plantas com maior diâmetro, terão à sua disposição uma quantidade superior de reservas (carboidratos) para serem metabolizadas na fase de crescimento inicial no campo. Característica essa, desejável, visto que logo após o plantio a taxa fotossintética é nula, devido ao maior consumo de carboidratos em relação a sua produção (TAIZ *et al.*, 2017), com maiores chances de sobrevivência e menor necessidade de replantio, resultando em menores custos durante o processo de implantação ou renovação de lavouras (TAVARES JÚNIOR, 2004).

O peso de matéria seca total (PMST) e o diâmetro do coleto são variáveis relevantes para indicar a qualidade das mudas de café (DARDENGO *et al.*, 2013). Em mudas produzidas em sacos de polietileno, Silva *et al.* (2010) observaram diâmetro superior ao obtido em tubetes de 120 mL.

Quanto ao número de folhas das mudas, pôde-se observar que o SHM proporcionou maiores valores que o sistema tradicional em viveiro, a exceção das mudas da cultivar ‘Catuaí IAC-62’ (em sacos de polietileno, nas condições de viveiro) que não diferiram das mudas em SHM. Quando se analisou o tipo de recipiente utilizado, notou-se que as mudas produzidas em sacos de polietileno apresentaram maior número de folhas que as produzidas em tubetes de polietileno rígido, à exceção da ‘Catuaí IAC-62’ (em SHM) que não foi diferente significativamente das produzidas em sacos de polietileno. Destaque deve ser feito à cultivar ‘MGS Paraíso 2’, que esteve entre as de maior número de folhas na maioria das avaliações com exceção para mudas em tubetes em SHM (Tabela 1).

Admite-se que as mudas de café estão adequadas para fins de comercialização quando possuem no mínimo três pares de folhas, sendo que a partir deste momento estão aptas para o plantio e bom estabelecimento em campo (BRASIL, 2012). Neste sentido, pode-se observar que de forma geral as mudas conduzidas em SHM conseguiram atingir esse requisito em menor tempo (visto que ao final do experimento apresentaram maior número total de folhas), culminando em formação mais rápida de mudas neste sistema, possibilitando a antecipação de plantio, melhor aproveitamento do período chuvoso e conseqüentemente melhor desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas no campo.

Ao analisar o PMSF, PMSC e PMST, das mudas produzidas com as diferentes cultivares, sistemas de produção e recipientes (Tabela 2) notou-se que, a exemplo do que se pode verificar no crescimento das mudas (Tabela 1), as produzidas em sacos de polietileno apresentaram maiores valores em relação as mudas em tubetes, nos dois sistemas de produção, com exceção das mudas de ‘Catuaí IAC-62’ (PMSC –tubetes - SHM), ‘Mundo Novo IAC 376-4’ (PMSC –tubetes - sistema convencional) e ‘Mundo Novo IAC 376-4’ (PMST –tubetes -sistema convencional) que tiveram valores sem diferença significativa das mudas em sacos de polietileno. Esses resultados corroboram aos verificados por Vallone *et al.* (2010) que pesquisando tamanho de recipientes (sacos de polietileno, tubetes de 50 e 120 mL), em condições de viveiro, constataram que as mudas produzidas em sacos de polietileno proporcionaram maior peso de matéria seca da parte aérea e maior área foliar que as conduzidas em tubete 120mL.

Ao analisar o sistema de produção (viveiro ou SHM) nota-se que para PMSF, PMSC e PMST não houve diferença de crescimento entre as mudas produzidas em sacos de polietileno. Entre as mudas produzidas em tubetes, não se observou diferença entre os dois sistemas de produção para PMSC, mas quando se avalia o PMSF é nítida a superioridade das mudas em tubetes produzidas em SHM, em relação ao tradicional. Ao se avaliar o PMST das mudas produzidas em tubetes, percebe-se superioridade das produzidas em SHM apenas sobre aquelas da cultivar ‘Catuaí IAC-62’ (Tabela 2).

Tabela 2. Peso de matéria seca foliar (PMSF), caulinar (PMSC), radicular (PMSR), e total (PMST), área foliar total (AFT), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), razão de peso foliar (RPF) e massa foliar específica (MFE) de mudas de *Coffea arabica*, das cultivares Mundo Novo (MN), Catuaí e Paraíso em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e viveiro (V), em saco de polietileno (SP) e tubete 120 cm³ (TUB).

Sistema	Cultivar	PMSF (g)		PMSC (g)		PMSR (g)	
		SP	TUB	SP	TUB	SP	TUB
SHM	MN	0.80 Ab _a	0.53 Ba _a	0.22 Aa _a	0.16 Ba _a	0.18 Aa _a	0.14 Aa _b
	Catuaí	1.10 Aa _a	0.67 Ba _a	0.22 Aa _a	0.16 Aa _a	0.21 Aa _b	0.14 Aa _a
	Paraíso	1.20 Aa _a	0.66 Ba _a	0.23 Aa _a	0.16 Ba _a	0.24 Aa _b	0.13 Ba _b
Viveiro	MN	0.57 Ab _a	0.18 Ba _b	0.16 Ab _a	0.14 Aa _a	0.18 Ab _a	0.23 Aa _a
	Catuaí	0.88 Aa _a	0.14 Ba _b	0.23 Aa _a	0.10 Ba _a	0.29 Aa _a	0.18 Ba _a
	Paraíso	1.03 Aa _a	0.27 Ba _b	0.22 Aa _a	0.13 Ba _a	0.32 Aa _a	0.25 Ba _a
Sistema	Cultivar	PMST (g)		AFT (cm ²)		RAF (cm ² .g ⁻¹)	
		SP	TUB	SP	TUB	SP	TUB
SHM	MN	1.20 Ab _a	0.82 Ba _a	23486.29 Aa _a	15191.67 Ba _a	19.75 Aa _a	18.80 Aa _a
	Catuaí	1.53 Aa _a	0.97 Ba _a	26554.59 Aa _a	19921.21 Ba _a	17.49 Ba _a	21.07 Aa _a
	Paraíso	1.68 Aa _a	0.97 Ba _a	29887.70 Aa _a	16317.51 Ba _a	17.85 Aa _a	18.04 Aa _a
Viveiro	MN	0.91 Ab _a	0.56 Aa _a	13291.79 Aa _b	3856.86 Ba _b	14.69 Aa _b	7.00 Ba _b
	Catuaí	1.40 Aa _a	0.42 Ba _b	17834.35 Aa _b	3298.52 Ba _b	12.90 Aa _b	7.90 Ba _b
	Paraíso	1.59 Aa _a	0.66 Ba _a	19097.12 Aa _b	4723.34 Ba _b	12.34 Aa _b	7.17 Ba _b
Sistema	Cultivar	AFE (cm ² .g ⁻¹)		RPF (g.g ⁻¹)		MFE (mg.cm ⁻²)	
		SP	TUB	SP	TUB	SP	TUB
SHM	MN	29.62 Aa _a	29.29 Aa _a	0.7855 Ab _a	0.7735 Aa _a	0.0343 Aa _a	0.0348 Aa _b
	Catuaí	24.32 Aa _a	30.54 Aa _a	0.8295 Aa _a	0.7997 Aa _a	0.0425 Aa _a	0.0333 Aa _a
	Paraíso	24.99 Aa _a	26.07 Aa _a	0.8385 Aa _a	0.8050 Aa _a	0.0400 Aa _b	0.0390 Aa _b
Viveiro	MN	23.36 Aa _a	21.14 Aa _b	0.7780 Aa _a	0.5682 Bb _b	0.0433 Aa _a	0.0485 Ab _a
	Catuaí	20.24 Aa _a	24.10 Aa _b	0.7972 Aa _a	0.5835 Bb _b	0.0503 Aa _a	0.0445 Ab _a
	Paraíso	19.24 Aa _a	17.23 Aa _b	0.8215 Aa _a	0.6730 Ba _b	0.0545 Aa _a	0.0588 Aa _a

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, minúscula na coluna e minúscula sublinhada no sistema, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

O equilíbrio entre o peso de matéria seca da parte aérea e radicular é importante para o processo de formação de mudas em sua totalidade, uma vez que atuam em conjunto; as raízes no processo de exploração para captação de água e nutrientes e as folhas fornecendo área e aparato fotossintético.

Com relação ao PMSR as mudas produzidas em sacos de polietileno continuaram a ser as de maior crescimento em relação as produzidas em tubetes, à exceção das cultivares ‘Mundo Novo IAC 376-4’ e ‘Catuaí IAC-62’ (em SHM) e ‘Mundo Novo IAC 376-4’ (em sistema convencional), que tiveram valores semelhantes aos das mudas em sacos de polietileno. Dentro de cada sistema de produção utilizado, não houve diferenças significativas entre as cultivares a exceção da cultivar ‘Mundo Novo IAC 376-4’ (sacos de polietileno em sistema convencional), que teve menor crescimento de raízes em relação as

demais. Ao se comparar o PMSR entre os dois sistemas, verifica-se que para a maioria das cultivares, nas mudas produzidas em sistema convencional foram observados maiores valores que no SHM (Tabela 2). De acordo com Johnson *et al.* (1996), em condições de estresse, existe a tendência de maior alocação de fotoassimilados nas raízes em detrimento da parte aérea. Esses resultados juntamente com os verificados para PMSF podem indicar que o SHM proporcionou ambiente mais favorável para o desenvolvimento das mudas.

Ao avaliar a AFT das mudas, mais uma vez pôde-se notar a superioridade das mudas produzidas em sacos de polietileno e no sistema hidropônico modificado, sem diferença significativa para as cultivares utilizadas (Tabela 2). Dardengo *et al.* (2013), pesquisando a influência de recipientes (sacos de polietileno e tubetes) e diferentes níveis de sombreamento no crescimento e qualidade de mudas de café, verificaram maior área foliar em mudas produzidas em sacos de polietileno. Maior área foliar implica em maior superfície de interceptação de luz, que esta relacionada a maiores taxas fotossintéticas proporcionando elevado crescimento vegetativo (PARTELLI *et al.*, 2006; PEDÓ *et al.*, 2018), e possui grande importância principalmente nos aspectos relacionados à produção (SILVA *et al.*, 2011).

Por meio do conhecimento da área foliar é possível estimar indicadores úteis na compreensão do desenvolvimento vegetal, como por exemplo razão de área foliar, área foliar específica e massa foliar específica, dentre outros (AMARAL *et al.*, 2009). Na avaliação da RAF manteve-se a constatação da superioridade da utilização das mudas em sacos de polietileno, especialmente no sistema convencional, sem diferença entre as cultivares utilizadas. Porém, dentro do sistema hidropônico modificado as mudas da cultivar ‘Catuaí IAC-62’ tiveram maior RAF quando produzidas em tubetes (Tabela 2).

Quando se avaliou a AFE, pôde-se constatar que entre todos os tratamentos, houve diferença significativa apenas com a superioridade dos valores para as mudas produzidas em SHM em relação ao convencional quando produzidos em tubetes, sem diferenças entre recipientes ou cultivares utilizados (Tabela 2). A AFE representa a razão entre área foliar e biomassa seca da folha, é um fator de importância fisiológica, pois descreve a destinação da biomassa da folha por unidade de área (CUNHA *et al.*, 2019).

Para a razão de peso foliar (RPF), observa-se que entre as mudas produzidas pelo SHM não houve diferença entre os recipientes utilizados, e no caso da utilização de sacos de polietileno as mudas produzidas com a cultivar ‘Mundo Novo IAC 376-4’ apresentaram menores valores que as demais. Porém, as mudas produzidas em tubetes tiveram maiores

valores de RPF no sistema hidropônico modificado em relação as do sistema convencional, sendo que entre as mudas produzidas em sacos de polietileno não houve diferença entre os sistemas de produção. Já com a utilização do sistema convencional de produção de mudas, aquelas em sacos de polietileno foram superiores as em tubetes (Tabela 2). Plantas jovens tendem a apresentar maiores valores de RPF, pois no início do crescimento é necessário maior destinação de fotoassimilados para as folhas em relação aos demais tecidos, que vão crescer a partir do material transportado das folhas (CUNHA *et al.*, 2019). Neste sentido pode-se inferir que as mudas produzidas no viveiro com tubetes, por apresentar menores valores que os demais tratamentos tiveram seu desenvolvimento retardado, ou seja, o sistema convencional se mostrou menos eficiente que o SHM, o que pode ser constatado também ao observar os dados relativos a altura e número de folhas (Tabela 1). Entre as mudas em tubetes e sistema convencional (viveiro) a cultivar ‘MGS Paraíso 2’ apresentou maior valor de RPF que as demais (Tabela 2).

A massa foliar específica (MFE) representa a razão entre PMSF e área foliar, e está relacionado à espessura das folhas (CUNHA *et al.*, 2019). Quanto a avaliação desta variável, não foram observadas diferenças significativas entre os valores obtidos para as mudas de sacos de polietileno ou tubetes, sendo que, entre as mudas produzidas em sistema hidropônico modificado não houve efeito de cultivares. Comparando-se o efeito das mudas produzidas entre os sistemas hidropônico modificado e as produzidas em viveiro (sistema convencional), percebe-se que os valores da MFE foram inferiores ao se utilizar mudas da cultivar ‘MGS Paraíso 2’ (tubetes ou sacos de polietileno) e ‘Mundo Novo IAC 376-4’ (em tubetes). Dentre as mudas produzidas em viveiro e em tubetes, a cultivar ‘MGS Paraíso 2’ obteve maiores valores que as demais em MFE (Tabela 2).

Quando se avaliou os sistemas de produção de mudas (viveiro ou SHM), quanto ao volume de raízes, verificou-se que com o uso de mudas em sacos de polietileno, não houve diferença significativa na maior parte dos tratamentos, com exceção para mudas de ‘Catuaí IAC-62’ produzidas em viveiro, que apresentaram valores menores. Ainda avaliando a diferença de uso dos sistemas de produção, dessa vez com mudas produzidas em tubetes notou-se que o sistema convencional (viveiro) proporcionou maiores valores que o hidropônico modificado (exceção para a cultivar mundo ‘Novo IAC 376-4’ que obteve valores semelhantes ao convencional) (Tabela 3).

Tabela 3. Volume, área superficial, diâmetro e comprimento de raízes de mudas de *Coffea arabica*, das cultivares Mundo Novo (MN), Catuaí e Paraíso em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e viveiro (V), em saco de polietileno (SP) e tubete 120 cm³ (TUB).

Sistema	Cultivar	Volume (mm ³)		Área superficial (mm ²)	
		SP	TUB	SP	TUB
SHM	MN	2705.30 <u>Aca</u>	3137.68 <u>Aaa</u>	9563.22 <u>Aca</u>	10371.76 <u>Aab</u>
	Catuaí	4303.64 <u>Ab<u>a</u></u>	2391.71 <u>Bbb</u>	15300.14 <u>Ab<u>a</u></u>	8870.56 <u>Bab</u>
	Paraíso	5134.01 <u>Aaa</u>	2434.51 <u>Bbb</u>	18624.19 <u>Aaa</u>	8228.10 <u>Bab</u>
Viveiro	MN	2519.84 <u>Bca</u>	3565.38 <u>Aaa</u>	8811.90 <u>Bca</u>	13170.08 <u>Aaa</u>
	Catuaí	3348.69 <u>Ab<u>b</u></u>	3581.06 <u>Aaa</u>	13338.11 <u>Ab<u>a</u></u>	11871.49 <u>Aaa</u>
	Paraíso	4943.03 <u>Aaa</u>	3593.17 <u>Baa</u>	17996.51 <u>Aaa</u>	13621.35 <u>Baa</u>
Sistema	Cultivar	Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)	
		SP	TUB	SP	TUB
SHM	MN	0.7177 <u>Baa</u>	0.8335 <u>Aaa</u>	14.7667 <u>Bbb</u>	24.2082 <u>Ab<u>a</u></u>
	Catuaí	0.6500 <u>Aaa</u>	0.7195 <u>Aaa</u>	16.8125 <u>Bab</u>	27.5332 <u>Aaa</u>
	Paraíso	0.7357 <u>Aaa</u>	0.7712 <u>Aaa</u>	17.9870 <u>Baa</u>	21.5915 <u>Aca</u>
Viveiro	MN	0.7255 <u>Baa</u>	0.6207 <u>Aab</u>	18.9417 <u>Aaa</u>	14.1835 <u>Bab</u>
	Catuaí	0.6090 <u>Aaa</u>	0.6425 <u>Aaa</u>	20.3542 <u>Aaa</u>	14.6247 <u>Bab</u>
	Paraíso	0.6495 <u>Aaa</u>	0.6170 <u>Aab</u>	19.7540 <u>Aaa</u>	14.8250 <u>Bab</u>

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, minúscula na coluna e minúscula sublinhada no sistema, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Nas mudas do sistema hidropônico modificado, houve diferença de volume de raízes entre as cultivares, com maiores valores para a ‘MGS Paraíso 2’ produzidas em sacos de polietileno (5.134,01) e para a ‘Mundo Novo IAC 376-4’ no caso da produção em tubetes (3.137,68). Quando se avaliou as mudas em sistema convencional (viveiro), verificou-se que para a cultivar ‘Catuaí IAC-62’ (em tubetes) os valores foram semelhantes aos das mudas em sacos de polietileno e para a ‘Mundo Novo IAC 376-4’ houve uma diminuição no volume de raízes quando produzidas em sacos de polietileno (Tabela 3).

Nas mudas do sistema convencional (viveiro), também houve diferença de volume de raízes entre as cultivares, com maiores valores para a ‘MGS Paraíso 2’ produzidas em sacos de polietileno (4.943,03) em relação as demais, com valores superiores de até 96,16%. Comportamento semelhante foi encontrado na avaliação da área superficial de raízes quando se observa destaque para a cultivar ‘MGS Paraíso 2’ entre as demais (18.624,19 para SHM e 17.996,51 para viveiro) (Tabela 3).

Ainda ao avaliar a área superficial das raízes pôde-se verificar que não houve diferença dos valores obtidos entre os dois sistemas de produção, quando se comparou mudas produzidas em sacos de polietileno, porém, quando se avaliou as mudas produzidas

em tubetes nota-se que as mudas produzidas em sistema convencional obtiveram maiores valores (Tabela 3).

Quando se avaliou os sistemas de produção de mudas (viveiro ou SHM), quanto ao diâmetro de raízes, verificou-se que com o uso de mudas em sacos de polietileno, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Ainda avaliando a diferença de uso dos sistemas de produção, dessa vez com mudas produzidas em tubetes, notou-se que o sistema convencional (viveiro) proporcionou menores valores que o hidropônico modificado, (exceção para a cultivar ‘Catuaí IAC-62’ que obteve valores semelhantes ao SHM (Tabela 3).

Observou-se que as mudas produzidas em SHM, em tubetes, apresentaram menor área superficial em comparação às conduzidas em viveiro. Silveira *et al.* (2014), estudando mudas de café (Mundo Novo e Catuaí) em sistemas alagados e apenas irrigado, observaram que o estresse provocado pelo alagamento provocou uma redução na área de raízes absorventes. Embora nesta pesquisa, o SHM não tenha mantido uma condição de alagamento, por se tratar de um sistema hidropônico, as mudas permaneceram parcialmente em contato com solução nutritiva que era absorvida por capilaridade e, apesar de ter sido observado menor área superficial de raízes, elas apresentaram maior comprimento e diâmetro médio para a maioria dos genótipos.

Avaliando-se o efeito do sistema de produção utilizado, observa-se que o SHM proporciona mudas com maior comprimento das raízes quando as mudas são produzidas em tubetes. Já as mudas produzidas em sacos de polietileno têm maior comprimento de raízes quando no sistema convencional (à exceção da cultivar ‘MGS Paraíso 2’ que se sobressai nos dois sistemas propostos (Tabela 3).

Percebe-se que aquelas mudas produzidas em sistema hidropônico modificado, em tubetes, apresentam maiores valores de comprimento de raízes que as produzidas no mesmo sistema, porém, em sacos de polietileno. Tal fato pode ser explicado pela limitação para o crescimento das raízes nos sacos de polietileno que possivelmente interferiram no comprimento das mesmas. Porém, o inverso se observa nas mudas produzidas em viveiro, o que pode ser explicado pela ‘poda natural’ das raízes que saem pela parte inferior do tubete, e sem a proteção do substrato têm seu crescimento limitado.

Não houve diferença de comprimento das raízes entre as cultivares utilizadas na produção das mudas em viveiro, independentemente do recipiente utilizado. Porém, quando se produziu mudas em sistema hidropônico modificado, as cultivares tiveram respostas

diferentes sendo a ‘MGS Paraíso 2’ (17.9870) e a ‘Catuaí IAC-62’ (16.8125) mais adaptadas a produção em sacos de polietileno e a Catuaí IAC-62 (27.5332) também em tubetes de polietileno rígido (Tabela 3).

O maior desenvolvimento radicular do volume e área superficial das mudas produzidas em tubetes, para a maioria das cultivares, no viveiro em relação ao SHM podem estar relacionados a necessidade de busca por nutrientes no substrato. Em contrapartida, no SHM, com a utilização de vermiculita, que é um substrato inerte e leve, em ‘piscinas’ com solução nutritiva, observa-se que as mudas tendem investir os seus recursos metabólicos no desenvolvimento do comprimento e diâmetro das raízes.

Durante o processo fotossintético, as clorofilas são responsáveis pela captação de radiação solar. Avaliando-se os teores de clorofila a e total, percebe-se maiores valores obtidos no sistema hidropônico modificado em relação ao convencional, independente do recipiente ou da cultivar utilizada. Observa-se também a superioridade das mudas produzidas em sacos de polietileno, em relação às produzidas em tubetes no caso do sistema convencional. Não houve diferenças significativas entre recipientes no sistema de hidroponia modificada quando se avaliou clorofila a e total. As cultivares não interferiram nos resultados de clorofila a e total em todos os tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Clorofila a, b e Total e condutância estomática (CE) de mudas de *Coffea arabica*, das cultivares Mundo Novo (MN), Catuaí e Paraíso em sistemas de produção hidropônico modificado (SHM) e viveiro (V), em saco de polietileno (SP) e tubete 120 cm³ (TUB).

Sistema	Cultivar	Clorofila a (ICF)		Clorofila b (ICF)	
		SP	TUB	SP	TUB
SHM	MN	388.08 <u>Aaa</u>	360.75 <u>Aaa</u>	182.25 <u>Aaa</u>	142.50 <u>Baa</u>
	Catuaí	400.25 <u>Aaa</u>	375.50 <u>Aaa</u>	198.08 <u>Aaa</u>	162.83 <u>Baa</u>
	Paraíso	398.17 <u>Aaa</u>	366.00 <u>Aaa</u>	194.75 <u>Aaa</u>	150.50 <u>Baa</u>
Viveiro	MN	328.08 <u>Aab</u>	81.58 <u>Bab</u>	117.33 <u>Abb</u>	21.92 <u>Bab</u>
	Catuaí	319.50 <u>Aab</u>	74.50 <u>Bab</u>	108.33 <u>Abb</u>	19.58 <u>Bab</u>
	Paraíso	354.92 <u>Aaa</u>	84.50 <u>Bab</u>	144.17 <u>Aab</u>	23.50 <u>Bab</u>
Sistema	Cultivar	Clorofila total (ICF)		CE ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
		SP	TUB	SP	TUB
SHM	MN	570.33 <u>Aaa</u>	503.25 <u>Aaa</u>	184.87 <u>Aaa</u>	191.26 <u>Aaa</u>
	Catuaí	598.33 <u>Aaa</u>	538.33 <u>Aaa</u>	181.875 <u>Aaa</u>	159.80 <u>Aaa</u>
	Paraíso	592.92 <u>Aaa</u>	516.50 <u>Aaa</u>	147.96 <u>Abb</u>	131.30 <u>Abb</u>
Viveiro	MN	445.42 <u>Aab</u>	103.50 <u>Bab</u>	192.11 <u>Aaa</u>	193.95 <u>Aaa</u>
	Catuaí	427.83 <u>Aab</u>	94.08 <u>Bab</u>	200.74 <u>Aaa</u>	191.83 <u>Aaa</u>
	Paraíso	499.08 <u>Aab</u>	108.00 <u>Bab</u>	203.23 <u>Aaa</u>	163.98 <u>Bba</u>

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, minúscula na coluna e minúscula sublinhada no sistema, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

A clorofila b é considerada um pigmento acessório e absorve energia luminosa em um espectro diferente da clorofila auxiliando-a na absorção de luz (STREIT *et al.*, 2005; TAIZ *et al.*, 2017). Ao avaliar o teor de clorofila b, percebe-se que a utilização do sistema hidropônico modificado proporcionou maiores valores nas mudas, independente do recipiente ou da cultivar utilizada. Não houve interferência de cultivares quando se avaliou teores de clorofila b nas mudas produzidas em tubetes, nos dois sistemas testados (viveiro e SHM), porém quando se avaliou a mesma característica nas mudas produzidas em sacos de polietileno, todas as três cultivares apresentaram maiores valores de clorofila b em SHM (Tabela 4). Devido a capacidade de modificar o tamanho e a localização do complexo antena, envolvido na absorção de energia luminosa, maiores níveis desta clorofila podem otimizar o processo fotossintético e, portanto, aumentar a produção de biomassa (TANAKA; TANAKA, 2011; VOITSEKHOVSKAJA; TYUTEREVA, 2015).

Cavatte *et al.* (2012), estudando o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento e a fisiologia de *C. arabica*, verificaram que a medida que se intensificou o déficit hídrico, os teores de clorofila foram reduzidos devido à formação e, conseqüentemente, ação de espécies reativas de oxigênio (EROS), que de acordo com Carlin, Rhein e Santos (2012) e Carvalho *et al.* (2003), promovem danos gradativos nas moléculas de clorofila. No presente estudo, quando se observa os resultados obtidos para as mudas em viveiro, quanto a utilização de tubete em relação ao saco de polietileno, percebe-se que a menor capacidade de armazenamento e retenção de água nos recipientes, pode ter proporcionado menores índices de clorofilas.

Com relação a influência do sistema de produção (viveiro ou SHM) na condutância estomáticas das mudas, nota-se que não houve diferença, com exceção para as mudas da cultivar ‘MGS Paraíso 2’, que independente do recipiente utilizado tiveram menores valores no SHM. Quanto aos recipientes utilizados, pode-se observar que não houve diferença, com exceção para a cultivar ‘MGS Paraíso 2’, em viveiro, que alcançou menores valores (163,98) quando produzidas em tubetes. Avaliando-se o efeito das cultivares na condutância estomática, percebe-se que a ‘MGS Paraíso 2’ apresentou menores valores em quase todas as condições testadas, permanecendo semelhante às demais somente no caso de mudas produzidas em sacos de polietileno em ambiente de viveiro (convencional) (Tabela 4).

A adaptação de plantas em determinado ambiente pode ser melhor compreendida pelo conhecimento de mecanismos fisiológicos envolvidos na regulação do seu

metabolismo, tais como taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e eficiência no uso da água, que podem indicar o nível de adaptação a uma condição de estresse ou mesmo diferenças entre genótipos em uma condição ótima de cultivo (VERISSIMO *et al.*, 2010). A condutância estomática pode ser afetada por estresse hídrico (CASTANHEIRA *et al.*, 2019, TATAGIBA; PEZZOPANE; REIS, 2007), de temperatura (BATISTA-SANTOS *et al.*, 2011) e sombreamento (FREITAS *et al.*, 2003). Apesar das mudas da cultivar ‘MGS Paraíso 2’ apresentarem menores valores de condutância estomática, essa cultivar obteve bom desempenho para diversas características de crescimento (Tabela 1), peso de matéria seca (Tabela 2), sistema radicular (Tabela 3) e clorofilas (Tabela 4), evidenciando que o menor valor de CE não implica necessariamente em menor desenvolvimento. Salienta-se que plantas de diferentes genótipos podem apresentar variações para CE, como verificado por Freitas *et al.* (2003) em café, e Verissimo *et al.* (2011), na cultura da mandioca.

Diante do exposto, pôde-se verificar que o SHM é uma técnica viável e promissora para produção de mudas de café proporcionando ganhos na qualidade das mudas, diminuição do período de formação, melhor controle fitossanitário, além de melhor uso da água. Mukeshambala *et al.* (2014) estudando a quantidade de água necessária para a formação de mudas de café em diferentes recipientes, verificaram que para a produção de 1000 mudas, necessitou-se de um consumo diário de aproximadamente 13 litros para produção em sacos de polietileno e 64 litros para a produção em tubetes. No presente estudo foi verificado em SHM o consumo médio de 13 litros por dia para a produção de mudas em sacos de polietileno e sete litros quando utilizou-se tubetes. Sendo assim, a produção de mudas em SHM com a utilização de tubetes proporcionou uma economia de 89% na utilização de água.

CONCLUSÕES

O sistema inovador de produção de mudas de café em hidroponia modificada em combinação com o uso de sacos de polietileno como recipiente, proporciona de forma geral melhor desenvolvimento e qualidade das mudas, quando comparado ao viveiro.

A cultivar ‘MGS Paraíso 2’ se destaca com mudas de maior crescimento (número de folhas, diâmetro de caule e peso da matéria seca de parte aérea e raízes).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

ABIC. Associação Brasileira da Indústria de Café. **Indicadores da Indústria de Café 2018**. 2020. Disponível em: <https://www.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2018-2/>. Acesso em: 18 dez. 2020.

AMARAL, J.A.T.; AMARAL, J.F.T.; SCHMILDT, E.R.; COELHO, R.I. Métodos de análise quantitativa do crescimento de plantas. *In*: FERREIRA, A.; LIMA, A.B.P.; MATTA, F.P.; AMARAL, J.A.T.; LOPES, J.C.; PEZZOPANE, J.E.M.; FERREIRA, M.F. S.; POLANCZYK, R.A.; SOARES, T.C.B. (Org.). **Tópicos especiais em produção vegetal I**. Alegre: CCA-UFES, 2009. p. 259-276.

BATISTA-SANTOS, P. *et al.* The impact of cold on photosynthesis in genotypes of *Coffea* spp. Photosystem sensitivity, photoprotective mechanisms and gene expression. **Journal of Plant Physiology**, [S.l.], v. 168, p. 792-806, 2011.

BENINCASA, M. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**, Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 35, de 29 de novembro de 2012**. Estabelece normas para a produção e comercialização de material de propagação de cafeeiro (*Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) e os seus padrões, com validade em todo o território nacional, visando à garantia de sua identidade e qualidade. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 3 dez. 2012. Seção 1, p. 11-23.

CASTANHEIRA, D.T. *et al.* Agronomic techniques for mitigating the effects of water restriction on coffee crops. **Coffee science**, Lavras, v. 14, p. 104, 2019.

CARLIN, S.D.; RHEIN, A.F.L.; SANTOS, M.M. D. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.l.], v.33, n.2, p. 553-563, 2012.

CARVALHO, G.R. *et al.* Comportamento de progênies f4 de cafeeiros arábica, antes e após a poda tipo esqueletamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 33-42, 2013.

CARVALHO, C.H.S. *et al.* (Ed.). **Cultivares de café: origem, característica e recomendações**. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. p.155-252.

CARVALHO, L.M.; CASALI, V.W.D.; SOUZA, M.A.; CECON, P.R. Disponibilidade de água no solo e crescimento de Artemísia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4. p. 726-730, 2003.

CAVATTE, P.C. *et al.* Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, [S.l.], v. 144, n. 2, p.111-122, 2011.

CHALFUN, N.N.J.; FAQUIN, V. **Hidromudas**: processo de produção de porta enxertos e mudas frutíferas, florestais e ornamentais enxertadas em hidroponia. (BRN.PI 0802792-7). Rio de Janeiro: INPI, 2008.

COELHO, S.V.B. *et al.* Ultrastructural damage in coffee seeds exposed to drying and to subzero (°C) temperatures. **Coffee science**, Lavras, v. 15, p. 1-8, 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira - café, safra 2020**. Brasília: Conab, 2020. V. 6. p. 1- 62.

CUNHA, S.H.B. *et al.* Influência da qualidade de luz no crescimento e acúmulo de voláteis de *Mentha spicata* cultivada in vitro. **Scientia Plena**, [S.l.], v. 15, n. 9, p 1-11, 2019.

DARDENGO, M.C.J.D. *et al.* Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 500-509, 2013.

DIAS, R.E.B.A. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de progênies Dias, R. E. B. A. *et al.* F4 de *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 508-16, 2017.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. An intermediate category of seed storage behaviour I. **Coffee Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 41, n. 9, p.1167-1174, 1990.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. **Produção de mudas de cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 60p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEIREDO, L.P. *et al.* The potential for high quality bourbon coffees from different environments. **Journal of agricultural science**, Cambridge, v. 5, n. 10, p. 87-98, 2013.

FREITAS, R.B. *et al.* Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 804-810, 2003.

HENRIQUE, P.C. *et al.* Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 458-465, May 2011.

JOHNSON, J.M. *et al.* Growth, water relations and solute accumulation in osmotically stressed seedlings of the *Colophospermum mopane*. **Tree Physiology**, [S.l.], v.16, p.713-718, 1996.

JORGE, L.A.C.; SILVA, D.J.C.B. **SAFIRA**: manual de utilização. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010. 29 p.

MUKESHAMBALA, F.F. *et al.* Irrigation frequency and doses of polymer hydro retainer in seedlings of coffee formation. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 61-67, 2014.

LIMA, A.E. *et al.* Incidence and severity of coffee leaf rust, cercosporiosis and coffee leaf miner in coffee progenies. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, p. 349, 2018.

LIMA, A.E. *et al.* Desempenho agrônômico de populações de cafeeiros do grupo 'Bourbon'. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, p. 22-32, 2016.

MENEGHELLI, L.A.M. *et al.* Produção de mudas de café arábica em substrato composto por resíduo da secagem dos grãos. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 381 - 388, jul./set. 2017.

PARTELLI, F.L. *et al.* Estimativa da área foliar do cafeeiro conilon a partir do comprimento da folha. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 306, p. 204-210, 2006.

PEREIRA, D.R. *et al.* Genetic and chemical control of coffee rust (*Hemileia vastatrix* berk et br.): impacts on coffee (*Coffea arabica* L.) quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S.l.], v. 100, p. 1-10, 2020.

PEREIRA, A.A.; OLIVEIRA, A.C.B. ; BOTELHO, C.E.; CAIXETA, E.T.; SILVA, F.L.; CARVALHO, G.R.; REZENDE, J. C.; ZAMBOLIM, L.; SAKIYAMA, N.S. **MGS Paraiso 2. 2013**. Brasil. Número do registro: 30413, título: "MGS Paraiso 2", Instituição de registro: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais.

PEDO, T. *et al.* Plant growth and vigor of bean seeds in response to the exogenous application of gibberellic acid. **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 181-190, set. 2018.

SCHORN, L.A. *et al.* Definição de idades ótimas para expedição de mudas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) em função de sua qualidade e volume de recipientes. **Biotemas**, [S.l.], v. 32, n.4, p. 19-27, 2019.

SILVA, J.A. *et al.* Genetic diversity among coffee tree progenies Big Coffee VL based on growth traits and production. **Genetics and Molecular Research**, [S.l.], v. 15, n. 4, p. 1-8, 2016.

SILVA, A.P. *et al.* Coffee seedlings in different substrates and protected environments. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 589-600, 2013.

SILVA, J.I. *et al.* Desenvolvimento de mudas de *Coffea canephora* PIERRE ex A. FROEHNER em diferentes combinações de substrato e recipiente. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 38-48, 2010.

STREIT, N.M. *et al.* As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005. 47 p.

SILVA, W.Z. *et al.* Métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. Enciclopédia **Biosfera**, [S.l.], v. 7, n. 13, p. 746-759, 2011.

SILVEIRA, H.R.O. *et al.* Growth effects of water excess on coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 36, n. 2, p. 211-218, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. In: MASTROBERTI, A.A. *et al.* (Trad.). OLIVEIRA, P. L. (Rev.). 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 690 p.

TANAKA, R.; TANAKA, A. Chlorophyll cycle regulates the construction and destruction of the light-harvesting complexes. **Biochimica et Biophysica Acta**, Alberta, v. 1807, p. 968- 976, 2011.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E. F. Avaliação do crescimento e produção de Eucalyptus submetidos a diferentes manejos de irrigação. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2007.

TRAZZI, P.A. *et al.* Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tecton grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, p. 401-409, 2013.

TAVARES JUNIOR, J.E. **Volume e granulometria do substrato na formação de mudas de café**. 2004. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, SP, 2004.

VALLONE, H.S. *et al.* Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, Feb. 2010.

VERISSIMO, V. *et al.* Trocas gasosas e crescimento vegetativo de quatro variedades de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, [S.l.], v. 6, p. 232-240, 2010.

VOITSEKHOVSKAJA, O.V.; TYUTEREVA, E.V. Chlorophyll b in angiosperms: functions in photosynthesis, signaling and ontogenetic regulation. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 189, p. 51-64, 2015.