

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (RAIZ E FOLHA) E CAPACIDADE  
FOTOSSINTÉTICA DE MUDAS DE CLONES DE  
*COFFEA CANEPHORA* PIERRE EX A. FROEHNER

**JOSÉ ALTINO MACHADO FILHO**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
ABRIL – 2017



CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (RAIZ E FOLHA) E CAPACIDADE  
FOTOSSINTÉTICA DE MUDAS DE CLONES DE  
*COFFEA CANEPHORA* PIERRE EX A. FROEHNER

**JOSÉ ALTINO MACHADO FILHO**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Eliemar Campostrini

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

ABRIL – 2017

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCH / UENF

063/2017

M149 Machado Filho, José Altino.

Condutividade hidráulica (raiz e folha) e capacidade fotossintética de mudas de clones de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner / José Altino Machado Filho – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

64 f. : il.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2017.

Orientador: Eliemar Campostrini.

Bibliografia: f. 39 - 49.

1. *Coffea canephora* Pierre. 2. Condutância Hidráulica. 3. Sistema Radicular de Plantas. 4. Fotossíntese. 5. Café Conilon. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 633.73

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (RAIZ E FOLHA) E CAPACIDADE  
FOTOSSINTÉTICA DE MUDAS DE CLONES DE  
COFFEA CANEPHORA PIERRE EX A. FROEHNER

**JOSÉ ALTINO MACHADO FILHO**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”

Aprovado em 07 de abril de 2017.

Comissão examinadora



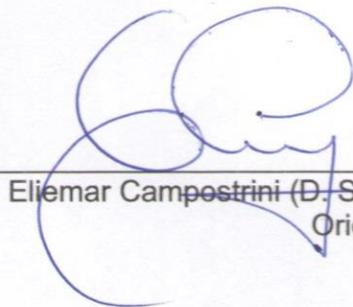
Roberta Samara Nunes de Lima (D. Sc. Produção Vegetal) - UFAL



Elias Fernandes de Sousa (D. Sc. Produção Vegetal) – UENF



Mara de Menezes de Assis Gomes (D. Sc. Biologia Vegetal) – UENF



Eliemar Campostrini (D. Sc. Produção Vegetal) – UENF  
Orientador

“Veni, Vidi, Vici”

(Julio César – 47 a.C)

## AGRADECIMENTOS

A Deus

Aos meus pais e demais familiares, pelo âmagô a mim transmitido;

Aos meus colegas de laboratório, pelo apoio na condução dos trabalhos;

Aos bolsistas do Consórcio Pesquisa Café que atuaram junto ao projeto;

Aos professores da UENF, que contribuíram em muito para meu crescimento;

Ao Governo do Estado do Espírito Santo e ao Incaper, por me permitir a realização deste curso;

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES, ao Consórcio de Pesquisa Café e Embrapa Café, pela concessão de apoio financeiro;

Ao professor Elias Fernandes de Sousa que, além de amigo, foi mentor intelectual na condução dos trabalhos e montagens de sistemas;

Ao professor José Tarcísio de Lima Thibeaut, pela colaboração incondicional nas análises estatísticas, amizade e incentivo;

Ao orientador e professor Eliemar Campostrini, por todo seu apoio na realização deste sonho.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1	Conilon ou robusta.....	4
2.2	Conilon Vitória 'Incaper 8142'.....	5
2.3	Eficiência do uso da água (EUA) e uso eficiente da água (UEA) .....	6
2.4	O sistema radicular .....	8
2.4.1	Condutância e condutividade hidráulica da raiz..	10
2.5	Relações hídricas e trocas gasosas das folhas.....	11
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1	Detalhamento experimental.....	14
3.2	Material vegetal e variáveis climáticas.....	14
3.3	Condutância e condutividade hidráulica de raízes.....	16
3.4	Trocas gasosas fluorescência da clorofila a e intensidade de verde.....	18
3.5	Potencial hídrico e condutividade hidráulica de folha.....	19
3.6	Análises estatísticas e delineamento	

	experimental.....	19
4.	RESULTADOS.....	21
5.	DISCUSSÃO.....	32
6.	RESUMO E CONCLUSÕES.....	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

## RESUMO

MACHADO FILHO, José Altino; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; abril, 2017; CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (RAIZ E FOLHA) E CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA DE MUDAS DE CLONES DE COFFEA CANEPHORA PIERRE EX A. FROEHNER. Orientador: Eliemar Campostrini.

O sistema radicular, o qual desempenha um papel central na captação de água e nutrientes que são transportados para a parte aérea, foi estudado em mudas de 16 clones de cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex. Froehner), sendo 13 constituintes da variedade conilon Vitória 'Incaper 8142' e outros três (14/86, 109a e 120) referenciados quanto ao grau de sensibilidade à restrição hídrica. Para o estudo proposto, dois ensaios foram conduzidos, sendo que no primeiro foram utilizados os dezesseis clones mencionados, enquanto no segundo experimento, foram conduzidos os genótipos mais contrastes (cinco no total), possibilitando a obtenção de um maior conjunto de dados. Foram determinadas a condutância hidráulica ( $K_R$ ) e as condutividades hidráulicas de raízes, normalizadas por matéria seca ( $K_{R,RM}$ ), volume de raiz ( $K_{R,RV}$ ) e área foliar ( $K_{R,LA}$ ). Os clones 1V, 2V, 3V, 5V, 6V, 8V, 10V e 109a apresentaram maior condutividade hidráulica por massa seca de raiz ( $K_{R,RM}$ ), seguidos pelo grupo formado pelos clones 7V, 11V, 12V, 13V e 120, em sequência pelo grupo contendo os clones 4V, 9V e 14/86 com as menores médias. A ordem seguindo do maior para o menor valor de  $K_{R,RM}$  foi formada pela sequência dos clones 5V, 120, 13V, 12V e 14/86, resultado condizente com o primeiro ensaio. A importância da relação de massa seca entre raiz e parte aérea (MSR/PA) foi confirmada por meio do estudo de correlação

entre massa seca de raiz (MSR), volume radicular (VR) e massa seca parte aérea (MSPA), que apresentou correlação positiva significativa e forte. Porém, as correlações de  $K_R$  com MSR e VR apresentaram coeficientes baixos, indicando que outros parâmetros devem ser buscados como comprimento de raiz e área superficial de raiz. A relação de  $K_R$  com AF e com MSF que apresentaram coeficientes significativos, indicando uma correlação moderada entre estes parâmetros, demonstram o equilíbrio fisiológico entre a capacidade do sistema radicular em fornecer água à parte aérea. O diâmetro do caule por si só, não representa a capacidade de conduzir água à parte aérea, sendo necessária melhor caracterização anatômica de seus vasos xilêmicos. Portanto, esta variável não deve ser utilizada como parâmetro de normalização de  $K_R$ . A condutância hidráulica foi preponderante para a manutenção da hidratação das folhas e da integridade do aparato fotossintético em situação de menor relação MSR/PA, como evidenciado pelo clone 13V. Entre os clones estudados não foram observadas diferenças significativas entre as condutâncias hidráulicas da folha ( $K_L$ ) nem tão pouco na densidade estomática (DE), demonstrando que estes parâmetros não explicariam quaisquer diferenças que fossem encontradas entre a capacidade de manutenção do status hídrico foliar entre os clones estudados. A relação MSR/PA demonstrou-se uma medida biométrica importante bem como  $K_R$  na manutenção de um status hídrico adequado à planta, necessitando, ainda, uma melhor avaliação destes dois parâmetros associados ao funcionamento estomático em condições de restrição hídrica.

Palavras Chave: Café conilon, sistema radicular, fotossíntese, transporte de água, condutância.

## ABSTRACT

MACHADO FILHO, José Altino; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; April, 2017; HYDRAULIC CONDUCTIVITY (ROOT AND LEAF) AND PHOTOSYNTHETIC CAPACITY OF CLONES SEEDLINGS OF COFFEA CANEPHORA PIERRE EX A. FROEHNER. Advisor: Eliemar Campostrini.

The root system, which plays a pivotal role in water and nutrients uptake and supply towards the aerial part, was studied in 16 coffee conilon seedlings (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner), from which 13 belong to the clonal variety Vitoria 'Incaper 8142' and three (14/86, 109a and 120) have their sensitivity to water stress well-documented. Here, two trials were conducted, so that the first one sixteen clones mentioned were used, while in the second experiment, the most contrasting genotypes (five genotypes) were used to obtain a larger data set. Hydraulic conductance ( $K_R$ ) and root hydraulic conductivities, normalized by dry matter ( $K_{R,RM}$ ), root volume ( $K_{R,RV}$ ) and leaf area ( $K_{R,LA}$ ) were estimated. The clones 1V, 2V, 3V, 5V, 6V, 8V, 10V and 109a showed higher hydraulic conductivity by root dry mass ( $K_{R,RM}$ ), followed by the group formed by clones 7V, 11V, 12V, 13V and 120, and by the group containing clones 4V, 9V and 14/86 with the lowest averages. In the second experiment, the order from highest to lowest value of  $K_{R,RM}$  was formed by clones 5V, 120, 13V, 12V and 14/86, corroborating with the first trial. The importance of the root and shoot dry matter ratio was confirmed by means of the correlation between root dry matter (RSM), root volume (VR) and shoot dry mass (MSPA), which presented strong and significant correlation. However, the correlations between  $K_R$  and MSR and  $K_R$  and VR presented low coefficients, indicating that other parameters should be taken into

account, such as root length and root surface area. The relationship between  $K_R$  and FA and  $K_R$  and MSF, which presented significant coefficients indicating a moderate correlation between these parameters, demonstrates the physiological balance, e.g., the ability of the root system of providing required water to the aerial part. The stem diameter alone does not represent the ability to provide water to the aerial part, requiring a better anatomical characterization of the xylem vessels. Therefore, such variable should not be used as  $K_R$  normalization parameter. The hydraulic conductance was preponderant for maintaining leaves at full hydration and the photosynthetic apparatus integrity when lower MSR/PA ratio was observed as evidenced by the clone 13V. Among the clones studied, no significant differences were observed for neither leaf hydraulic conductance ( $K_L$ ) nor stomatal density (SD), demonstrating that these parameters would not explain any differences that could be found between the capacity to maintain leaf water status among the clones studied. The MSR/PA relationship can be an important biometric measurement as well as  $K_R$  in maintaining a suitable water status for the plant, and a better evaluation of these two parameters associated to stomatal functioning under water stress conditions demand further investigation.

Keywords: Coffee robusta, root system, photosynthesis, water transport, conductance

## 1. INTRODUÇÃO

O café é uma bebida apreciada em muitos países. No Brasil, o comércio desta bebida é de extrema importância para a geração de renda na agricultura, uma vez que é uma mercadoria de exportação e possui um elevado consumo interno pela população brasileira. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, além de ser o segundo maior consumidor do produto.

O cafeeiro é uma Eudicotiledônea da família Rubiácea, pertencente ao gênero *Coffea* que inclui pelo menos 124 espécies, das quais *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner são economicamente relevantes (Davis et al., 2011).

A área plantada com a cultura de café no Brasil totaliza 2.251.968,2 hectares (Conab, 2014). Desse total, 305.527,4 hectares (13,57%) estão em atividade denominada “formação” e 1.946.440,8 hectares (86,43%) estão em “produção”. Entre os maiores estados produtores estão Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Paraná. No Espírito Santo, está a segunda maior área plantada, totalizando 474.685 hectares, sendo 308.224 hectares com a espécie *C. canephora* (65%) e 166.461 hectares com a *C. arabica* (35%). Este estado é o maior produtor da espécie *C. canephora* no Brasil, comumente chamada de ‘Conilon’, com participação de 63,9% da área total plantada no país (Conab, 2014).

Em 80% dos municípios das regiões consideradas “quentes” do Estado do Espírito Santo, o café conilon é o principal produto agrícola, pois esta espécie tem uma maior adaptação a temperaturas mais elevadas. A produção capixaba

de café conilon de 9,9 milhões de sacas representa 35% do valor da produção agrícola do estado, 78% da safra brasileira desse café e equivale a 20% do total do *C. canephora* ('Robusta') produzido no mundo (Ferrão et al., 2014).

Devido à alogamia, existe grande variabilidade genética na variedade *Coffea canephora*, o que é muito positivo num programa de melhoramento desta espécie. As informações referentes à espécie *Coffea Canephora* são mais escassas do que as de *Coffea arabica*, o que dificulta o planejamento e a execução de ações. Para definir as estratégias de um bom programa de melhoramento, há necessidade de se conhecer profundamente os cultivares estudados (Ferrão et. al., 2007). Basear um estudo em dados superficiais e/ou estritamente "agronômicos" (resistência a pragas e produtividade) pode ocasionar insucessos.

Os cultivares clonais de conilon constituíram um grande avanço tecnológico para a cultura e são formados pelo agrupamento de nove a quatorze clones considerados superiores. Esses cultivares associados a outras tecnologias (poda, calagem, adubação e irrigação) geraram produtividades de 58 a 88 sacas beneficiadas por hectare em condições não irrigadas, e de 80 a 150 sacas beneficiadas por hectare em condições irrigadas. A média do Estado está em torno de 35 sacas/ha (Ferrão et. al., 2014). As variáveis comumente abordadas no programa de melhoramento são meramente agronômicas e pouco aprofundadas no conhecimento fisiológico.

Em condições de restrição hídrica, os clones de cafeeiro conilon se comportam de forma distinta com relação ao vigor, a senescência das folhas, o potencial hídrico das folhas ( $\Psi_w$ ) e a produtividade. Diversos estudos com cafeeiro conilon indicam a manutenção do  $\Psi_w$  como critério de avaliação de tolerância ao estresse em situação de restrição hídrica e afirmam que esta manutenção é resultado de um eficiente controle estomático ou a melhor eficiência de obtenção de água pelo sistema radicular (Pinheiro et al., 2004, Ronchi e DaMatta, 2007, Ronchi e DaMatta, 2017).

As informações sobre a fisiologia do sistema radicular do cafeeiro são, sobretudo, incipientes se comparadas ao volume de informações atualmente disponível para a parte aérea. Essa escassez de pesquisa deve-se, em grande parte, às dificuldades para acessar o sistema radicular em condições naturais (Ronchi e DaMatta, 2007, Ronchi e DaMatta, 2017). No que diz respeito às raízes,

sabe-se que estes órgãos constituem os principais meios pelos quais as plantas extraem recursos como água e nutrientes do solo, e são essenciais para a estabilidade e ancoragem das plantas (Atkinson, 2000).

Lopes e Reynolds (2010) relataram que os genótipos de trigo com maior investimento em biomassa e profundidade de raízes tiveram menores temperaturas do dossel e maior produtividade sob condição de limitação hídrica. Para a avaliação da eficiência de obtenção e transporte de água por parte dos sistemas radiculares existem várias tecnologias que são propostas por diversos autores que podem ser consideradas mais aprofundadas que uma análise puramente biométrica (Tyree e Wevers, 1991; Frensch e Steudle, 1998; Knipfer e Steudle, 2008; Tyree, 1999; Qing-ming e Bin-bin, 2010).

O conhecimento avançado sobre o sistema radicular do cafeeiro pode incrementar a produção, à medida que a seleção de materiais genéticos leve em consideração que um sistema radicular bem desenvolvido pode influenciar positivamente na absorção de água e nutrientes e, também, aumentar a eficiência de fungicidas/inseticidas aplicados no solo, e incrementar a tolerância à seca e outros estresses (Franco e Inforzato, 1946; Rena & Guimarães, 2000; Carvalho et al., 2008).

Portanto, o objetivo deste estudo foi determinar as diferenças qualitativas dos sistemas radiculares de mudas de clones de cafeeiro conilon relacionadas à obtenção e condução de água à parte aérea, bem como da implicação destas diferenças na eficiência fotossintética.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Conilon ou robusta

Apesar de no Brasil todo genótipo de *C. canephora* ser chamado vulgarmente de conilon, alguns autores (Montagnon et al., 1992) afirmam que há características que distinguem dois tipos reconhecidos mundialmente como robusta e conilon. O mais plantado no Brasil é o conilon conhecido por apresentar folhas mais claras e alongadas, crescimento arbustivo, frutos menores, mais tolerantes a seca. O robusta é mais plantado na Índia e Vietnã, apresentando folhas de verde mais intenso e maiores, crescimento ereto, plantas mais vigorosas e menos resistentes a seca (Ferrão, R. et al., 2017).

Porém, estudando os materiais clonais pertencentes ao banco de germoplasma do Incaper, Alekcevetch (2013) encontrou grande variabilidade genética sugerindo haver indivíduos que possuem características intermediárias entre as várias subdivisões de origem do *C. canephora*. Contudo, é difícil nas coleções atuais distinguir exatamente a que grupo determinado clone pertence sem o uso de análises genômicas (Fonseca, Sakayama e Borem, 2015). É possível que cultivares formadas por agrupamentos de clones provenientes de uma grande infinidade de acessos possam apresentar características fenotípicas comuns e/ou distintas em relação a estes grupos, cabendo, portanto, aos pesquisadores melhoristas, estudá-las e compreendê-las.

## 2.2 Conilon Vitória 'Incaper 8142'

O cultivar Vitória – 'Incaper 8142' é formado pelo agrupamento de treze clones considerados superiores e de características de interesse agrônômicas comuns. Os clones provenientes do banco ativo de germoplasma receberam a nomenclatura ordenada seguida da letra "V", como: 1V, 2V, ... , 13V. Estes clones sobressaíram-se em relação a vários parâmetros agrônômicos quando comparados aos demais materiais genéticos utilizados como testemunhas nos trabalhos experimentais, destacando-se de forma especial por meio do desempenho em relação ao alto nível de produtividade média obtida por um período de avaliação de oito safras, em condições não irrigadas (Fonseca et. al. 2004).

Os parâmetros agrônômicos avaliados foram: produtividade, longevidade, época e uniformidade de maturação dos frutos, reação a doenças, rendimento de beneficiamento (conversão de frutos em grãos beneficiados), tamanho de grãos, índice de grãos do tipo "moca", vigor vegetativo, adaptação e estabilidade de produção ao longo dos anos, entre outros. A produtividade média obtida pelos clones da nova variedade variou entre 62,0 a 86,1 sacas de 60 kg de grãos beneficiados por hectare (Figura 1).

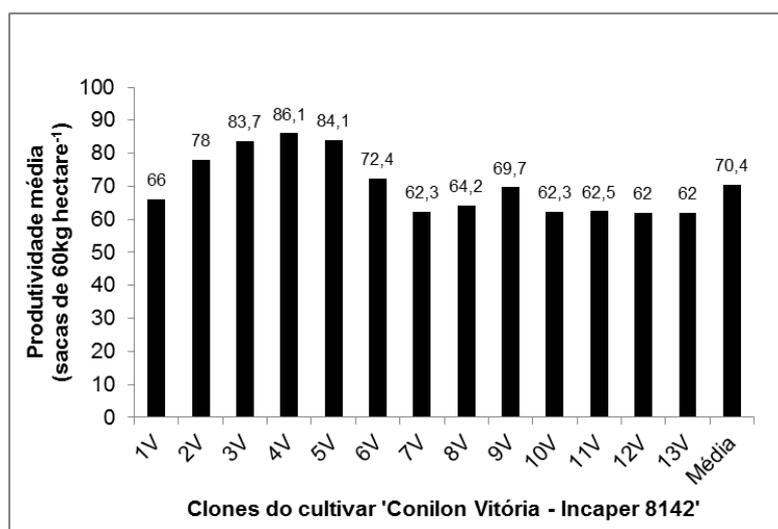


Figura 1. Média anual de produtividade do cultivar 'Conilon Vitória – Incaper 8142" em 8 safras sucessivas em diferentes locais de estudo no ES. (Fonseca et al., 2004)

Com relação a avaliação de mudas do Vitória, Covre et al. (2013) encontraram diferenças significativas na qualidade, efetuando a quantificação da produção de matéria seca, crescimento da parte aérea, desenvolvimento radicular, índice de qualidade de Dickson e conteúdo de nutrientes em diferentes partes das mudas. Os genótipos 8V e 10V apresentaram desenvolvimento superior aos demais genótipos. Nas condições avaliadas, os genótipos 2V, 3V, 4V, 8V, 9V, 10V, 11V e 12V apresentaram as melhores qualidades de mudas determinadas por meio do índice de qualidade de Dickson.

Oliveira (2014) em avaliação de clones do cafeeiro conilon 'Vitória', em duas safras conduzidas com diferentes lâminas de água atribuiu aos clones 2V, 4V, 5V, 6V e 10V uma melhor aptidão aos cultivos que possam ocorrer deficiência hídrica, atribuindo aos mesmos o critério de baixa sensibilidade ao estresse hídrico.

Vale acrescentar que outros três clones, não integrantes deste cultivar, já foram bastante estudados sob vários aspectos fisiológicos, por diversos autores. Os mesmos foram qualificados como tolerantes (clones 14/86 e 120) e sensível (clone 109a) ao estresse hídrico. Os principais parâmetros levados em consideração foram a manutenção do status hídrico foliar, das trocas gasosas e a produtividade em condições de restrição hídrica (Lima et al., 2002; DaMatta et al., 2003; Pinheiro et al., 2004; Pinheiro et al., 2005; Praxedes et al., 2006). Entretanto, pouco se estudou com relação às raízes de tais materiais.

### 2.3 Eficiência do uso da água (EUA) e uso eficiente da água (UEA)

À medida que a planta absorve água do solo, na parte do solo próximo à superfície das raízes é gerado um gradiente de pressão que promove o movimento da solução do solo para o interior das raízes. Este processo é conhecido como fluxo de massa. Este movimento é responsável pelo

carreamento, interceptação e absorção de vários nutrientes, principalmente os considerados móveis, para as plantas (Taiz e Zeiger 2013).

Para Graham (1984), um genótipo altamente eficiente na utilização de água e nutrientes pode ser produtivo por apresentar maior rapidez de transporte destes nutrientes minerais no xilema, rápida assimilação e/ou grande capacidade de ciclagem interna. Em relação à água, Blum (2009) complementa que a Eficiência no Uso da Água (EUA) é muitas vezes considerada um fator determinante do rendimento sob estresse, e até mesmo como um componente de resistência à seca das culturas.

Zaman-Allah et al. (2011), trabalhando com vinte genótipos de grão de bico (*Cicer arietinum*) verificaram que o maior tamanho ou profundidade do sistema radicular por si só não traduziu em maior tolerância ao estresse hídrico. Entretanto, Lopes e Reynolds (2010) relataram que os genótipos de trigo com maior investimento em biomassa e profundidade de raízes apresentaram menores temperaturas do dossel e maior produtividade sob condição de limitação hídrica. Os autores relataram que o acúmulo de carboidratos no colmo e o investimento na profundidade de raízes podem ser duas estratégias alternativas de incremento da EUA para seleção de genótipos de trigo tolerantes à seca, uma vez que sob limitação hídrica, a água se encontra nas camadas mais profundas do solo.

Porém, há argumentos que afirmam que selecionar plantas com alta EUA e maior eficiência transpiratória (plantas que reduzem consideravelmente a transpiração), poderia gerar indivíduos com limitações nos processos metabólicos associados à etapa bioquímica da fotossíntese. Pois tal etapa é de importância crucial para a produção vegetal.

Desde que a produção de biomassa é estreitamente ligada à transpiração, desenvolver circunstâncias para maximizar captura da umidade do solo para a transpiração seria um alvo mais importante para a melhoria de rendimento sob estresse hídrico (Blum, 2009). Neste caso, com incremento da captação de água pelas raízes (melhoria na distribuição e condutância hidráulica das raízes), a diminuição da transpiração de outros tecidos não relacionados ao processo fotossintético traduzir-se-ia em aumento do Uso Eficiente da Água (UEA), que seria de grande importância em estudos relacionados à seleção de genótipos tolerantes à limitação hídrica do solo.

Para Hammer et al. (2009), encontraram em milho evidências de que a crescente produtividade decorrente ao longo dos anos estaria intimamente relacionada às mudanças estruturais no sistema radicular, permitindo maior eficiência na captação de água e nutrientes. Portanto, as plantas com maior condutividade hidráulica, ou seja, com maior capacidade de fornecer água à parte aérea, também propiciaria ganhos quanto à sua adaptabilidade em condições de menor disponibilidade de água.

## 2.4 O sistema radicular

Em culturas de interesse agrônômico, os programas de melhoramento genético vêm favorecendo indivíduos cuja partição de fotoassimilados se direcionam prioritariamente para os grãos, em detrimento de outros órgãos como raízes e a precocidade de produção. Desta forma, tornando o cultivo mais arriscado à medida que aumenta a dependência pela disponibilidade maior de água e nutrientes em menor espaço de tempo (Atkinson, 1990).

O grau de risco, a que se refere Atkinson (1990), estaria relacionado à quantidade de recursos e à distribuição destes no perfil do solo onde o sistema radicular da planta se desenvolve. Em situação de abundância de recursos no perfil explorado do solo, haveria reduzida correlação entre suprimento de nutrientes e comprimento radicular. A capacidade das plantas em absorver nutrientes estaria mais relacionada à intensidade de suprimento de nutrientes do que o comprimento de raízes presentes num determinado volume de solo (Atkinson, 1990).

Os sistemas radiculares que exploram maiores volumes de solo incrementam a eficiência de extração de água e nutrientes, especialmente em situações em que o suprimento destes é limitado, seja espacial ou temporalmente. Um maior comprimento e área superficial de um sistema radicular representam maior uso efetivo dos recursos presentes no solo por maximizar o contato das raízes com os mesmos (Atkinson, 1990).

No solo com restrição hídrica, apresenta-se uma frente de desidratação que se inicia na superfície e avança em direção às camadas mais profundas. Por este motivo, os genótipos com sistemas radiculares mais aprofundados teriam

mais chances de manter um potencial hídrico mais elevado em seus tecidos do que aqueles com sistemas radiculares mais superficiais (Rena, 1998).

Contudo, a relação raiz parte aérea acaba por assumir grande importância no que se refere à eficiência de uso dos nutrientes pela planta. Um alto valor na relação raiz/parte aérea indica um movimento mais considerável de fotoassimilados para o sistema radicular (Knifer e Fricke, 2011).

Knifer e Fricke (2011) mencionam que diversos estudos indicam que uma proporção mínima de raízes é necessária para nutrir e manter a parte aérea. Brower (1962) já propusera que em situações de bom suprimento de água e minerais, um sistema radicular relativamente pequeno pode garantir a máxima produção da parte aérea.

As características do sistema radicular são conhecidas por diferirem de acordo com a espécie, genótipo, idade da planta, sazonalidade climática, densidade de plantas, diâmetro da raiz, estresses bióticos, textura e estrutura do solo (Lynch, 1995). Mas a proporção entre raízes e parte aérea varia de forma estreita para uma determinada espécie (Knifer e Fricke, 2011).

A distribuição horizontal do sistema radicular do *C. canephora* concentra-se na projeção da copa e com relação à profundidade também, assemelha-se à do *C. arabica* (Rena, 1998; Rena; DaMatta, 2002). Mas estudos mais aprofundados sobre as características do sistema radicular das plantas de café ainda são escassos no que se refere à sua fisiologia, tamanho e volume em vários ambientes (Rena e Guimarães, 2000, Carvalho et al., 2008; Andrade Júnior, 2013).

No *C. canephora*, os sistemas radiculares variam quanto a volume e quantidade de matéria seca conforme o clone observado (Ronchi e DaMatta, 2007). Mas também foi observado que uma maior quantidade de matéria seca não está necessariamente relacionada a uma maior profundidade de sistema radicular (Pinheiro et al., 2005).

Em experimento realizado em campo com treze anos de avaliações, Partelli et al. (2014) avaliaram diversas variáveis para caracterização dos sistemas radiculares de plantas propagadas por enraizamento e seminais e não detectaram diferenças entre os sistemas radiculares destes dois métodos de propagação. Também não foram detectadas diferenças quanto à taxa de

assimilação fotossintética líquida, à condutância estomática, às concentrações internas de CO<sub>2</sub> e à eficiência do uso da água nas folhas.

Porém, Silva et al. (2010), em estudos realizados com enxertia, encontraram resultados que indicam que diferenças entre os sistemas radiculares podem influenciar a sensibilidade à seca. Ao colocar o clone 120 como porta-enxerto do clone 109a, verificou-se o incremento na eficiência de EUA, obtida pela razão entre fotossíntese líquida ( $A$ ) e condutância estomática ( $g_s$ ). Mas este trabalho concentrou-se mais nos efeitos do sistema radicular na parte aérea do que na raiz propriamente.

#### 2.4.1 Condutância e condutividade hidráulica da raiz

Com relação a outras culturas, que não o café, diversos autores relatam divergências na determinação da eficiência da absorção de água do solo e sua condução aos tecidos da parte aérea. Os mesmos vêm sugerindo diversas tecnologias de avaliação da condutância hidráulica de raiz ( $K_R$ ), (Tyree e Wevers, 1991; Frensch e Steudle, 1998; Knipfer e Steudle, 2008; Tyree, 1999; Qing-ming e Bin-bin, 2010).

A  $K_R$  pode ser obtida através da medição do fluxo de seiva ( $J$ ), conforme se impõe uma determinada variação de pressão exercida sob o sistema radicular em uma câmara de pressão. Já a condutividade hidráulica pode ser obtida através da normalização de  $K_R$  por um valor dimensional de parte da planta ou planta inteira. A exemplo,  $K_R$  pode ser normalizada pela massa seca de raiz ( $K_{R,RM}$ ), pelo volume do sistema radicular ( $K_{R,RV}$ ) ou dividindo  $K_R$  pela área foliar ( $K_{R,LA}$ ) (Frensch e Steudle 1989; North et al., 1992).

Qing-Ming e Bin-Bin (2010) avaliaram três métodos propostos para determinação da  $K_R$  em milho, sendo estes os de sonda de pressão de raiz, o sistema HPFM (Dynamax Inc., Houston, TX, USA) e a utilização de câmara de pressão do tipo Scholander. Os autores encontraram valores similares entre os métodos estudados, chegando a conclusão de que as três técnicas são viáveis, deixando ao encargo do operador, analisar a operacionalidade da cada uma, conforme a conveniência.

Emery e Salon (2002) identificaram uma resposta de saturação do fluxo máximo de exsudato ( $J_{max}$ ) quando da aplicação de pressões superiores (acima

de 0,55 Mpa) afetando a linearidade do sistema. Contudo, esta saturação não estaria relacionada a danos ao tecido, pois ao diminuir-se a pressão aplicada, o fluxo se restabelecia normalmente por várias vezes.

Knipfer et al. (2008) relataram a existência de uma barreira “não ativada” formada possivelmente por um gradiente osmótico nas células da endoderme, gradiente este contrário ao movimento de água que ia se formando gradualmente, acreditando-se que a influência desta barreira poderia, equivocadamente, estar sendo desprezada nos processos de avaliação da condutividade hidráulica. Segundo, Knipfer e Steudle (2008), esta barreira seria responsável pelo efeito não linear das medidas de  $J$ , em que se percebia um salto, ao se aplicar uma pressão hidrostática ao sistema radicular, com uma estabilização em níveis de 30 a 40% inferiores, após 80 segundos em média. Por este motivo, os autores sugerem que  $K_R$  deveria ser medida nos instantes em que houvesse a estabilização do fluxo ( $J$ ), método também preconizado por Gambeta et al. (2012).

Segundo Emery e Salon (2002), ao longo do dia ocorre uma alteração de  $K_R$  regida pela demanda evaporativa da parte aérea. Estes autores afirmam que os modelos de avaliação da condutividade hidráulica da planta como um todo devem ser revistos. Uma proposta é a de que antes das avaliações de  $K_R$ , as plantas devam ser aclimatizadas em condições constantes de luz, DPV e temperatura.

## 2.5 Relações hídricas e trocas gasosas das folhas

A obtenção maior ou menor de água por parte da raiz por si só não responde todas as questões relacionadas ao movimento de água na planta. O grau de sensibilidade/tolerância à restrição hídrica, bem como seu comportamento produtivo, depende de um conjunto complexo de fatores intrínsecos e extrínsecos à sua morfologia.

Meizer et al. (1995), Pallardy et al. (1995) e Sperry et al. (1995) já manifestaram que para compreender melhor os efeitos da condutividade hidráulica de raiz, principalmente e inclusive a normalizada por área foliar, outras partes da planta deveriam também ser analisadas.

Os valores máximos de taxas fotossintéticas de folhas individuais sob condição de luz saturante registrados em cafeeiros estão em torno de 7 a 12  $\mu\text{mol}$

de  $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Rena et al., 1994). Os valores das taxas de fixação de dióxido de carbono de plantas de *C. canephora* são, em geral, inferiores aos de *C. arabica* (Nunes et al., 1969).

Os fatores ambientais como luz, temperatura e déficit de pressão de vapor (DPV) estão associados à alta sensibilidade estomática do cafeeiro (Kanechi et al., 1996) e, em virtude da forte interação dos fatores mencionados, torna-se difícil isolar os efeitos. No entanto, a temperatura e o DPV são os fatores mais importantes no controle estomático (Nunes, 1988). A sensibilidade dos estômatos ao DPV constitui, em curto prazo, um controle fino e eficiente da abertura sob baixa umidade do ar (Rena et al., 1994). A produtividade vegetal e o funcionamento estomático estão intimamente relacionados, visto que os estômatos controlam a absorção de  $\text{CO}_2$  (Costa e Marengo, 2007).

A transpiração é um processo que envolve a evaporação da água da superfície das células do mesofilo para os espaços intercelulares das folhas e a difusão do vapor de água das folhas para o ar externo à folha (Taiz e Zeiger, 2009). A força motriz para o processo transpiratório é o gradiente de pressão de vapor entre a folha e o ar externo à folha (Seixas, 2009).

Martins et al. (2013), em estudos da dinâmica hidráulica nas folhas, relataram que a arquitetura hidráulica das folhas impõe uma grande restrição na maximização das trocas gasosas de folhas de café. Ribeiro et al. (2009), Nardini et al. (2014) e Mesquita et al. (2016) também encontraram correlação significativa entre a diminuição das trocas gasosas com a menor condutância hidráulica foliar ( $K_L$ ), também influenciando na redução de seu potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ).

Sinclair et al. (2007), em seus estudos com cultivares de soja de diferentes graus de tolerância ao estresse hídrico, encontraram diferenças significativas nas propriedades hidráulicas das folhas, demonstrando que estas podem influenciar nas relações hídricas das plantas em condições de maior demanda evaporativa.

A medição da fluorescência da clorofila *a* do fotossistema II (PSII) também gera importantes parâmetros que podem ser utilizados para avaliação de cultivares com características distintas da obtenção e uso da água. Esta avaliação é realizada por meio de técnicas rápidas e precisas na obtenção de um diagnóstico de integridade do aparato fotossintético. (Torres Neto et al., 2005).

A avaliação do rendimento quântico do PSII ( $F_V/F_M$ ) revela o nível energético de excitação dos pigmentos fotossintéticos, portanto, a habilidade em manter elevadas razões  $F_V/F_M$  sob condições de estresse hídrico pode ser um indicativo de eficiência no uso da radiação pela parte fotoquímica da fotossíntese no PSII, conseqüentemente, a assimilação de carbono (Tester e Bacic, 2005). Segundo Hunt (2003), um valor ideal de  $F_V/F_M$  para plantas em condições ausentes de estresse apresenta valores em torno de 0,83.

O índice de desempenho fotossintético (PI) é utilizado como um indicador instantâneo de uma condição de estresse em uma planta, pois abrange os processos de transferência de energia desde os primeiros eventos de absorção até a redução de plastoquinona (Strasser et al., 2004).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Detalhamento experimental

O experimento foi dividido em dois ensaios, sendo que no primeiro objetivou-se identificar, entre 16 genótipos de *C. canéfora*, os mais contrastantes em relação à capacidade hidráulica do sistema radicular. Para tal, foram avaliadas as características de crescimento e a condutância e condutividade hidráulica do sistema radicular. No segundo ensaio, objetivou-se estudar cinco genótipos selecionados a partir do primeiro ensaio, de forma que um conjunto maior de variáveis pudesse ser obtido a fim de uma melhor caracterização de tais genótipos. Assim, além das características de crescimento e da condutância e condutividade hidráulica do sistema radicular, foram mensuradas, também, as trocas gasosas, a eficiência fotoquímica, o potencial hídrico foliar e condutividade hidráulica de folhas.

#### 3.2 Material vegetal e variáveis climáticas

No primeiro experimento foram utilizadas dezesseis mudas para cada um dos treze materiais clonais da espécie *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner que juntos compõem o cultivar conilon Vitória – ‘Incaper 8142’ (clones denominados 1V; 2V; 3V; 4V; 5V; 6V; 7V; 8V; 9V; 10V; 11V; 12V e 13V) com 170/175 dias após as estacas serem colocadas para enraizar (Fonseca et al., 2005). Também foram incluídas nesta etapa, dezesseis mudas de cada um dos

clones 14/86 e 120 considerados tolerantes e do clone 109a considerado sensível à seca, de mesmo lote de produção das demais (Lima et al., 2002; DaMatta et al., 2003; Pinheiro et al., 2004; Pinheiro et al., 2005; Praxedes et al., 2006).

No segundo experimento, foram utilizadas oito mudas dos clones 5V, 12V, 13V, 14/86 e 120, com 180/184 dias após as estacas serem colocadas para enraizar. A escolha destes materiais teve como critério os dados obtidos de condutância hidráulica normalizada pela massa seca do sistema radicular do primeiro ensaio realizado com todos os genótipos, de tal maneira que cada um fosse representante de uma determinada faixa de  $K_{R,RM}$  e, também, condicionada à disponibilidade de materiais para produção de mudas.

As plantas foram obtidas em viveiros, na Fazenda Experimental de Marilândia do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper, pelo enraizamento de estacas obtidas em banco ativo de germoplasma. As mudas foram produzidas sob condições usuais de produção (50% de sombreamento e irrigação intermitente por aspersão), em tubetes de 280 ml e substrato composto por uma mistura comercial de casca de pinus, turfa, carvão e vermiculita (Basaplant Hortaliças®).

O tamanho dos tubetes escolhidos assemelha-se ao volume da sacolinha utilizada pelos produtores de mudas, além de atender o limite imposto pelas dimensões da câmara do tipo Scholander.

O substrato foi acrescido de 5% de húmus de minhoca e fertilizante de liberação controlada de formulação NPK 19-6-10 com período de liberação de 5 a 6 meses (Osmocote®), na dosagem de 3g por tubete.

As mudas, após atingirem tamanho comercial (média de 3 a 4 pares de folhas) foram aclimatadas e transportadas até Campos dos Goytacazes-RJ para a realização dos ensaios. As mudas foram colocadas em casa de vegetação, mantidas diariamente sob irrigação por mangueira/crivo e deixadas em aclimação por um período mínimo de sete dias. No segundo experimento, onde foram realizadas avaliações em dois horários, de manhã e às 13 horas, a irrigação foi suspensa no dia anterior de modo a aumentar as chances de se observar respostas fisiológicas ao aumento da demanda evaporativa.

Durante os quatro dias de mensurações do primeiro experimento (novembro/2013), as condições na casa de vegetação foram as seguintes: a umidade relativa (UR) entre de 20 a 30%; temperatura do ar ( $T^{\circ}ar$ ) entre 30 a 38

°C; déficit de pressão de vapor do ar ( $DPV_{ar}$ ) entre 3,5 e 4,5 KPa e; a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi máxima de 1.237, 1.285, 1.674 e 1.705  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ .

No segundo experimento (dezembro/2014), as condições na casa de vegetação onde as plantas foram aclimatadas nos quatro dias de leitura foram as seguintes: UR com média de 48% às 8:00 e 30% às 12:00;  $T^{o}ar$  variou de 29 às 8:00 e 37 °C às 12:00; o  $DPV_{ar}$  esteve entre 2,1 e 4,4 KPa às 8:00 e às 12:00 horas, respectivamente; PAR foi máxima de 642 e 1.312  $\mu\text{mol. s}^{-1}.\text{m}^{-2}$  às 8:00 e às 12:00 respectivamente, sendo que nesta ocasião, a casa de vegetação estava coberta por tela com Sombrite® 50% de interceptação da luminosidade, além da cobertura plástica.

### 3.3 Condutância e condutividade hidráulica de raízes

No primeiro ensaio, os parâmetros de condutância hidráulica foram obtidos de acordo com o método descrito em Liu et al. (2001) e Qing-Ming e Bin-Bin (2010) com a captação de exsudato obtido por meio do seccionamento da parte aérea. A parte aérea foi seccionada no ramo emitido a partir da estaca de enraizamento na altura de 5 cm, a contar da mesma.

O sistema radicular íntegro com substrato foi imerso em água, submetido às pressões de 0,1, 0,2, 0,3 e 0,4 MPa, (60 segundos em cada pressão) dentro de uma câmara de pressão do tipo 'Scholander', modelo PWSC-3005, Soilmoisture E. Corporation, USA (Figura 2). O exsudato foi colhido utilizando-se papel absorvente com massa definida e repesado em balança de precisão em cada pressão aplicada.

No segundo ensaio, o método descrito por em Liu et al. (2001) e Qing-Ming e Bin-Bin (2010) foi modificado conforme preconizado por Gambeta et al. (2012). A parte aérea foi seccionada no ramo emitido da estaca de enraizamento 5 cm a partir da mesma, com o caule imerso em água para evitar a entrada de ar por refluxo no momento do corte. Uma pressão inicial de 0,03 MPa foi aplicada para que o fluxo se iniciasse pelo tempo mínimo de 3 minutos. Posteriormente, as pressões de análises foram aplicadas respeitando-se o prazo mínimo de 3 minutos para estabilização do fluxo, sendo colhido o exsudato durante o quarto minuto de aplicação de cada pressão.

Também para o segundo ensaio, durante as mensurações de  $K_R$ , as mudas foram colocadas em câmara de crescimento com condições de luz ( $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , umidade relativa em torno de 45% e temperatura do ar  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  por duas horas antes que se iniciasse o processo conforme preconizam Emery e Salon (2002).

Em ambos os ensaios, o fluxo ( $J$ ,  $\text{kg s}^{-1}$ ) foi determinado com a massa obtida em função do tempo de coleta do exsudato (60 segundos). A condutância hidráulica de raiz ( $K_R$ ,  $\text{kg s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ ) foi obtida pela relação entre o fluxo ( $J$ ,  $\text{kg s}^{-1}$ ) e a variação de pressão ( $\Delta P$ ,  $\text{MPa}$ ) utilizada. A condutividade hidráulica de raiz foi calculada por meio da normalização do valor de  $K_R$  por massa seca ( $K_{R, \text{RM}}$ ,  $\text{kg s}^{-1} \text{kg}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ ), volume de raiz ( $K_{R, \text{RV}}$ ,  $\text{kg s}^{-1} \text{L}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ ) e área foliar ( $K_{R, \text{LA}}$ ,  $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{MPa}^{-1}$ ) (Becker et al., 1999).

O volume radicular (VR) foi obtido por meio da imersão das raízes em água em uma proveta graduada e determinado por meio da medição da variação da coluna líquida. O número de raízes adventícias foi determinado pela contagem de raiz emitida a partir da estaca. A altura e diâmetro foram obtidos por régua e paquímetro (Starret). Também foi contabilizado o número de folhas (NF), enquanto que a área foliar (AF) foi obtida com auxílio de um medidor de área foliar de bancada modelo Li-3100 (Li-Cor, USA).

As massas secas dos tecidos vegetais foram obtidas por meio da secagem em estufa de ventilação forçada a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  por 72 horas e, posteriormente, pesagem em balança analítica. Foram determinadas a massa seca de folhas (MSF), estacas de enraizamento (MSE), do conjunto caules, folhas e estacas (MSPA) e de raízes (MSR). A massa foliar específica foi obtida pela divisão da massa seca foliar pela área foliar (MFE,  $\text{g/m}^2$ ) e a relação entre massa seca de raiz e parte aérea dividindo-se MSR por MSPA.

Com os dados de  $J$  obtidos para cada pressão aplicada sob o sistema radicular de cada muda avaliada, foram determinados os coeficientes angulares das equações lineares de  $K_R$ ,  $K_{R, \text{RM}}$ ,  $K_{R, \text{RV}}$  e  $K_{R, \text{LA}}$  (Gambetta et al., 2012; Knipfer e Steudle, 2007; Becker et al., 1999).

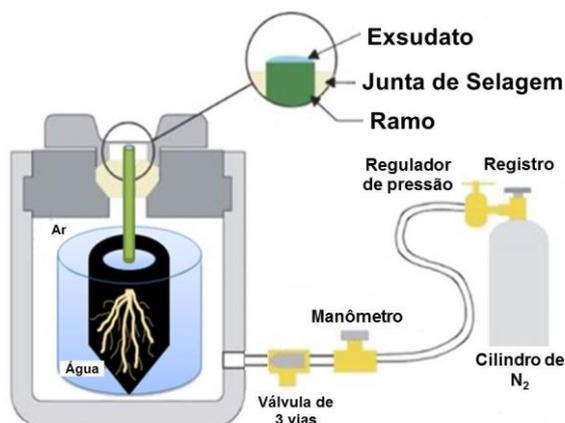


Figura 2 – Diagrama esquemático da medição do fluxo ( $J$ ) e condutância hidráulica de raiz ( $K_R$ ) com uso de câmara de pressão do tipo *Scholander*. Adaptado de Soilmoisture Equipment Corporation, USA.

### 3.4 Trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e Intensidade de verde

As trocas gasosas foram avaliadas em dois períodos, entre 08:00 e 09:00 horas e entre 12:00 e 13:00 horas. Posteriormente, foram determinadas as variações entre estes dois momentos para os parâmetros obtidos.

As trocas gasosas foram avaliadas com o auxílio de um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA - modelo Li-6400 XT – Li-Corporation / USA), sendo obtidas taxas de fotossíntese líquida ( $A$ ), transpiração ( $E$ ) condutância estomática ( $g_s$ ) e a razão da concentração interna para a concentração externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_a$ ), em folhas completamente expandidas (terceiro par de folhas contadas a partir do ápice). Foi utilizada uma câmara com *Led* de  $6\text{ cm}^2$ , ajustada com intensidade luminosa (PAR) de  $1000\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ , fluxo de ar de  $500\ \mu\text{mol s}^{-1}$ , concentração de  $CO_2$  de referência de 400 ppm por meio do uso do *mixer* de  $CO_2$  e temperatura do bloco variando conforme ambiente.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* foram obtidos com duas leituras, sendo uma realizada às 9:00 e outra às 13:00 horas com auxílio do fluorímetro Pocket PEA (*Plant Efficiency Analyser*, Hansatech, Inglaterra). Determinada a área das folhas, foram pré-adaptadas ao escuro durante 30 minutos com o auxílio de pinças (Hansatech) para que todos os centros de reação obtivessem um estado “oxidado”. A leitura foi realizada nas mesmas folhas em

que foram analisadas as trocas gasosas e, de maneira instantânea, foram obtidos os parâmetros de  $F_V/F_M$  (relação entre a fluorescência variável e fluorescência máxima) e o índice de desempenho fotossintético (PI).

Nas mesmas folhas em que se avaliou a fluorescência da clorofila *a*, foi determinada a intensidade de verde (SPAD) relacionada aos teores totais de clorofilas por meio do Medidor Portátil de Clorofila, modelo SPAD-502 “*Soil Plant Analyser Development*” (Minolta, Japão). Foram realizadas dez leituras e determinada a média por planta.

### 3.5 Potencial hídrico e condutividade hidráulica de folha

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi mensurado às 05:00 e às 13:00 horas, conforme método descrito por Scholander (1965), usando uma câmara de pressão (Modelo 1000, PMS Instrument Co., Albany, OR, USA). Para as medidas realizadas às 05:00 horas, foram utilizadas folhas localizadas a partir do terceiro par de folhas, enquanto que para as medidas realizadas às 13:00 horas, foram utilizadas as mesmas folhas que as usadas para as medidas de trocas gasosas. Com os dados obtidos foi determinado o diferencial entre os dois horários de avaliação.

A condutividade hidráulica foliar ( $K_L$ ) foi obtida conforme Ribeiro et al. (2009) por meio da medição da transpiração foliar (*E*) pelo IRGA, mensurada às 13:00 horas, sendo a mesma dividida pela diferença entre o  $\Psi_w$  (5h) e  $\Psi_w$  (13h) e expressa em ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ ).

### 3.6 Análises estatísticas e delineamento experimental

O delineamento utilizado no primeiro ensaio foi em blocos casualizados divididos no tempo conforme dia de avaliação, com quatro blocos e quatro mudas de cada um dos 16 genótipos, avaliadas por dia. Neste ensaio foram avaliadas 256 mudas no total. As equações lineares de  $K_R$ ,  $K_{R,RM}$ ,  $K_{R,RV}$ ,  $K_{R,LA}$  foram comparadas estatisticamente através de análise de regressão (Gambetta et al., 2012; Knipfer e Steudle, 2007; Becker et al., 1999).

No segundo ensaio, o delineamento foi em blocos casualizados, com oito repetições de cada um dos cinco genótipos avaliados. Neste ensaio foram

avaliadas 40 mudas no total. Os dados de  $K_R$ ,  $K_{R,RM}$ ,  $K_{R,RV}$ ,  $K_{R,LA}$  deste ensaio passaram por análise de regressão linear simples com uso de matrizes, através do *software* Sistema para Análises Estatísticas - Saeg (Funarbe-BR).

As demais variáveis de ambos ensaios foram submetidas à ANOVA ( $P < 0,05\%$ ), e as médias foram comparadas e agrupadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, sendo observadas suas exigências (teste de normalidade).

Também foi realizado o estudo de correlação linear simples entre as variáveis para montagem de matriz de correlação. Os coeficientes de Pearson foram avaliados segundo Callegari-Jacques (2003), que preconiza que estando os mesmos dentro do intervalo  $0,00 < \hat{\rho} < 0,30$ , indicam que existe fraca correlação linear, no intervalo  $0,30 \leq \hat{\rho} < 0,60$ , que existe moderada correlação linear no intervalo  $0,60 \leq \hat{\rho} < 0,90$ , que existe forte correlação linear ou estando no intervalo  $0,90 \leq \hat{\rho} < 1,00$ , que existe correlação linear muito forte. O teste t com 1 e 5% de probabilidade foi aplicado para determinar se a correlação é ou não significativa. O *software* utilizado foi o Assistat versão 7.7 (UFCG - BR).

#### 4. RESULTADOS

Em relação ao experimento 1, diferenças significativas foram observadas para os parâmetros biométricos dos 16 clones avaliados (Tabela 1). Considerando a AF, houve a formação de dois grupos, sendo que os clones 1V, 2V, 3V, 4V, 5V, 11V e 12V apresentaram as maiores médias (Tabela 1). Com relação à MSF, os genótipos ficaram distribuídos em três grupos, sendo um superior (1V, 4V, 5V, 8V, 11V e 13V), um intermediário (2V, 3V, 7V, 10V, 12V, 14/86 e 109a) e um inferior (6V, 9V e 120). Para a MFE, foi observada a formação de dois grupos com os clones 1V, 2V 3V, 7V e 120 apresentando as menores médias (Tabela 1). Para a variável NF também houve a formação de dois grupos, sendo que os clones 1V, 2V, 3V, 4V, 5V, 11V e 12V apresentaram as maiores médias. As médias de SPAD foram distribuídas em três grupos, sendo o primeiro com onze clones com as maiores médias (4V, 5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 11V, 12V, 13V, 14/86 e 109a), o intermediário com quatro clones (1V, 2V, 3V e 7V) e o clone 120 isoladamente, apresentando a menor média (Tabela 1).

Em relação à MSPA, as médias obtidas se distribuíram em quatro grupos distintos, sendo os clones 1V, 2V, 3V, 4V, 5V, 8V, 11V, 12V e 13V com as maiores médias, os clones 7V, 10V, 14/86 e 109a com valores de médias intermediárias, seguidos pelo agrupamento dos clones 6V e 9V e, por último, o clone 120 com a menor média (Tabela 1).

Tabela 1. Médias de Área foliar (AF), massa seca de folha (MSF), massa foliar específica (MFE), número total de folhas (NF), intensidade de verde (SPAD), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), volume de raiz (VR), número de raízes adventícias (NRA) e relação massa seca raiz / parte aérea (MSR/PA) de mudas de 16 clones de *Coffea canephora*.

Clone	AF (cm <sup>2</sup> )	MSF (g)	MFE (g/m <sup>2</sup> )	NF (ud)	SPAD	MSPA (g)	MSR (g)	VR (cm <sup>3</sup> )	NRA (ud)	MSR/PA
1V	282,19 A	1,47 A	50,22 B	9,81 A	36,76 B	1,69 A	0,57 B	4,37 B	6,47 B	0,34 B
2V	255,61 A	1,30 B	50,93 B	9,50 A	36,21 B	1,63 A	0,70 A	5,37 A	4,79 C	0,42 B
3V	273,33 A	1,32 B	48,16 B	10,69 A	35,16 B	1,81 A	0,80 A	6,15 A	6,71 B	0,45 B
4V	263,83 A	1,40 A	53,15 A	10,69 A	40,52 A	1,68 A	0,72 A	6,07 A	10,48 A	0,43 B
5V	324,67 A	1,70 A	52,32 A	9,50 A	42,25 A	2,13 A	0,75 A	6,21 A	8,20 B	0,36 B
6V	169,30 B	0,95 C	55,95 A	8,31 B	39,92 A	1,12 C	0,43 C	3,77 B	3,23 D	0,38 B
7V	242,22 B	1,17 B	48,44 B	7,81 B	37,34 B	1,32 B	0,53 B	3,95 B	4,46 C	0,40 B
8V	280,36 A	1,56 A	55,48 A	8,68 B	39,21 A	1,83 A	0,72 A	6,30 A	7,61 B	0,39 B
9V	199,30 B	0,96 C	47,95 A	8,87 B	41,39 A	1,11 C	0,53 B	4,06 B	7,10 B	0,48 A
10V	225,38 B	1,22 B	53,94 A	9,31 B	41,74 A	1,42 B	0,53 B	4,10 B	4,96 C	0,37 B
11V	277,06 A	1,52 A	54,83 A	11,25 A	40,28 A	1,83 A	0,78 A	6,62 A	7,73 B	0,42 B
12V	251,46 A	1,32 B	52,69 A	9,63 A	40,86 A	1,62 A	0,88 A	7,16 A	9,84 A	0,54 A
13V	257,30 B	1,43 A	55,77 A	8,31 B	38,68 A	1,66 A	0,62 B	4,58 B	4,76 C	0,37 B
14/86	233,74 B	1,23 B	52,72 A	8,88 B	39,55 A	1,41 B	0,81 A	6,55 A	8,69 A	0,57 A
109a	209,88 B	1,19 B	56,63 A	7,88 B	41,65 A	1,34 B	0,55 B	4,37 B	5,96 C	0,42 B
120	167,95 B	0,74 C	44,29 B	8,00 B	28,11 C	0,82 D	0,35 C	2,89 B	6,96 B	0,43 B
CV	13,94	15,90	18,30	13,94	15,79	17,07	21,76	20,56	20,85	12,65

As médias seguidas pela mesma letra (coluna) não diferem estatisticamente entre si (Scott-Knott, 5%).

O sistema radicular também apresentou diferenças estatísticas entre os clones estudados. A análise da variável MSR resultou em três agrupamentos, sendo o grupo de médias superiores formado pelos clones 2V, 3V, 4V, 5V, 8V, 11V, 12V e 14/86, o grupo intermediário pelos clones 1V, 7V, 9V, 10V, 13V e 109a, e o grupo de médias inferiores pelos clones 6V e 120 (Tabela 1). O VR se dividiu em dois grupos, sendo o grupo de médias superiores formado pelos clones 2V, 3V, 4V, 5V, 8V, 11V, 12V e 14/86. Com relação à variável NRA, as médias ficaram distribuídas em quatro grupos, o primeiro com as maiores formado pelos clones 4V, 12V e 14/86; o segundo pelo grupo de clones 1V, 3V, 5V, 8V, 9V, 11V e 120 (Tabela 1); o terceiro grupo foi formado pelos clones 2V, 7V, 10V, 13V e 109a; e por fim, o clone 6V isolado com a menor média. A análise da variável MSR/PA dividiu os clones em dois grupos, sendo o de maior média formado pelos clones 9V, 12V, 14/86 (Tabela 1).

Considerando a variável  $K_R$ , houve a formação de quatro grupos, sendo que o primeiro grupo foi composto pelos clones 3V, 5V e 8V com as maiores médias (Tabela 2). O segundo grupo foi composto pelos clones 1V, 2V, 11V e 12V. O terceiro grupo incluiu os clones 4V, 6V, 7V, 10V, 13V, 14/86 e 109a, enquanto o grupo com as menores médias inclui os clones 9V e 120 (Tabela 2). A análise das médias de  $K_{R, RM}$  distribuiu os clones em três grupos onde o primeiro, com os maiores valores de média, foi composto pelos clones 1V, 2V, 3V, 5V, 6V, 8V, 10V e 109a, seguido pelo grupo intermediário que inclui os clones 7V, 11V, 12V, 13V e 120, e por fim o grupo com os menores valores com os clones 4V, 9V e 14/86 (Tabela 2). Para a variável de condutividade  $K_{R, RV}$ , os clones se dividiram em dois grupos, sendo o primeiro com os maiores valores de média formado pelos clones 1V, 2V, 3V, 5V, 6V, 7V, 8V, 10V, 13V e 109a. Para  $K_{R, LA}$ , houve a formação de dois grupos, sendo o primeiro com as maiores médias composto pelos clones 2V, 3V, 5V, 6V, 8V, 10V, 11V, 12V e 109a (Tabela 2).

A Figura 3 mostra as relações entre  $K_R/MSR$ ,  $K_R/RV$  e  $K_R/AF$  de cada clone estudado, expostas na forma de gráficos, sendo ilustrado também o resultado estatístico obtido pelo teste Scott-Knott (5%) para estas relações. Todas as relações apresentaram uma correlação significativa, porém fraca entre os parâmetros avaliados, sendo possível observar que clones com MSR, AF e VR apresentam diferenças significativas de  $K_R$ .

Tabela2. Condutância hidráulica de raiz ( $K_r$ ), condutividade hidráulica normalizada por massa seca de raiz ( $K_{R,RM}$ ), condutividade hidráulica normalizada por volume de raiz ( $K_{R,RV}$ ) e condutividade hidráulica normalizada por área foliar ( $K_{R,LA}$ ) de mudas de 16 clones de *Coffea canephora*.

Clone	$K_R$ ( $\text{kg s}^{-1}\text{MPa}^{-1}$ )	$K_{R,RM}$ ( $\text{kg s}^{-1}\text{kg}^{-1}\text{MPa}^{-1}$ )	$K_{R,RV}$ ( $\text{kg s}^{-1}\text{L}^{-1}\text{MPa}^{-1}$ )	$K_{R,LA}$ ( $\text{kg s}^{-1}\text{m}^{-2}\text{MPa}^{-1}$ )
1V	1,28x10 <sup>-06</sup> B*	2,33x10 <sup>-03</sup> A	3,03x10 <sup>-04</sup> A	4,66x10 <sup>-05</sup> B
2V	1,37x10 <sup>-06</sup> B	2,13x10 <sup>-03</sup> A	2,73x10 <sup>-04</sup> A	5,43x10 <sup>-05</sup> A
3V	1,61x10 <sup>-06</sup> A	2,06x10 <sup>-03</sup> A	2,66x10 <sup>-04</sup> A	6,06x10 <sup>-05</sup> A
4V	9,97x10 <sup>-07</sup> C	1,57x10 <sup>-03</sup> C	1,82x10 <sup>-04</sup> B	3,87x10 <sup>-05</sup> B
5V	1,72x10 <sup>-06</sup> A	2,36x10 <sup>-03</sup> A	2,87x10 <sup>-04</sup> A	5,50x10 <sup>-05</sup> A
6V	9,07x10 <sup>-07</sup> C	2,17x10 <sup>-03</sup> A	2,53x10 <sup>-04</sup> A	5,44x10 <sup>-05</sup> A
7V	9,81x10 <sup>-07</sup> C	1,89x10 <sup>-03</sup> B	2,49x10 <sup>-04</sup> A	4,11x10 <sup>-05</sup> B
8V	1,86x10 <sup>-06</sup> A	2,72x10 <sup>-03</sup> A	3,07x10 <sup>-04</sup> A	6,71x10 <sup>-05</sup> A
9V	6,94x10 <sup>-07</sup> D	1,39x10 <sup>-03</sup> C	1,78x10 <sup>-04</sup> B	3,93x10 <sup>-05</sup> B
10V	1,11x10 <sup>-06</sup> C	2,33x10 <sup>-03</sup> A	2,91x10 <sup>-04</sup> A	5,25x10 <sup>-05</sup> A
11V	1,32x10 <sup>-06</sup> B	1,86x10 <sup>-03</sup> B	2,16x10 <sup>-04</sup> B	4,88x10 <sup>-05</sup> A
12V	1,47x10 <sup>-06</sup> B	1,77x10 <sup>-03</sup> B	2,23x10 <sup>-04</sup> B	5,95x10 <sup>-05</sup> A
13V	1,04x10 <sup>-06</sup> C	1,92x10 <sup>-03</sup> B	2,47x10 <sup>-04</sup> A	4,22x10 <sup>-05</sup> B
14/86	9,21x10 <sup>-07</sup> C	1,24x10 <sup>-03</sup> C	1,53x10 <sup>-04</sup> B	3,99x10 <sup>-05</sup> B
109 <sup>a</sup>	1,09 x10 <sup>-06</sup> C	2,09x10 <sup>-03</sup> A	2,58x10 <sup>-04</sup> A	5,40x10 <sup>-05</sup> A
120	6,10x10 <sup>-07</sup> D	1,84x10 <sup>-03</sup> B	2,23x10 <sup>-04</sup> B	3,74x10 <sup>-05</sup> B
CV (%)	14,95	21,72	20,35	15,16

\* As médias seguidas pela mesma letra (coluna) não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Obs: o quadrado do coeficiente de correlação ( $R^2$ ) obtido em cada regressão linear foi avaliado, verificando-se um valor médio de 0,98 com intervalo de confiança de  $\pm 0,2\%$ .

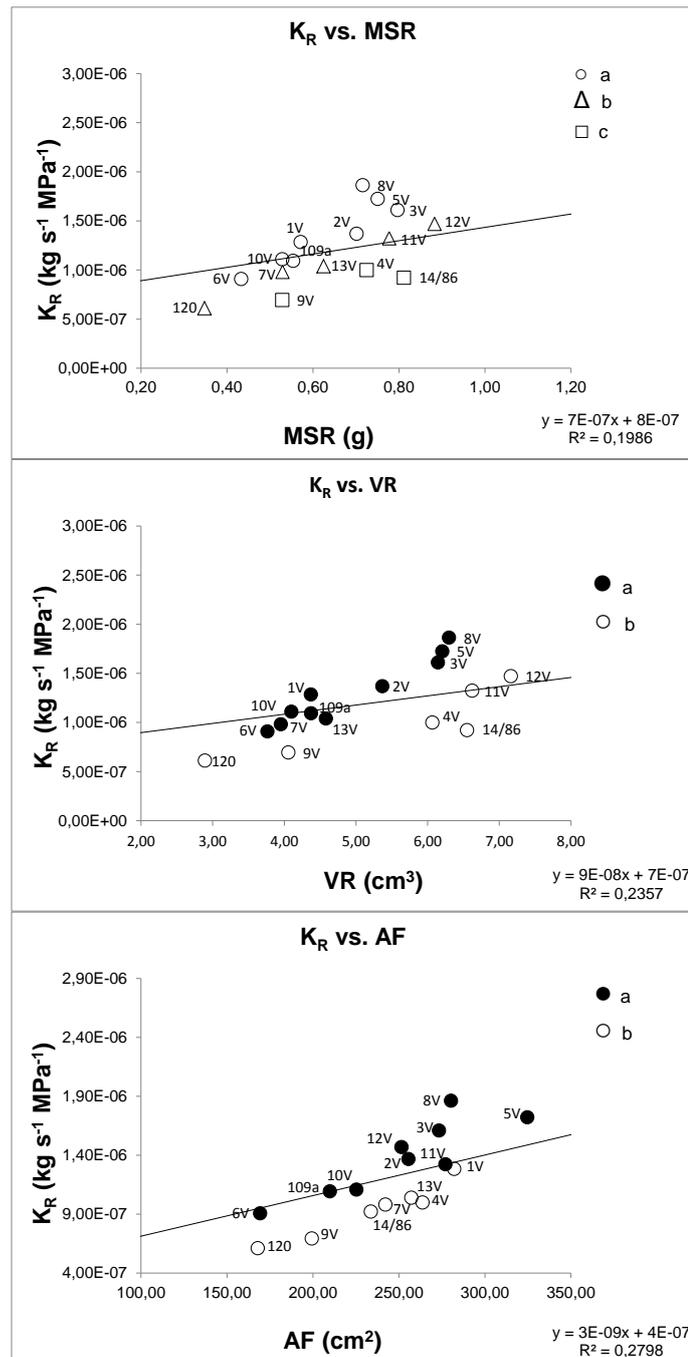


Figura 3. Condutância hidráulica x matéria seca de raiz (K<sub>R</sub> vs. MSR), condutância hidráulica x volume radicular (K<sub>R</sub> vs. VR) e condutância hidráulica x área foliar (K<sub>R</sub> vs. AF) de mudas de 16 clones de *C. canephora*. Foi ilustrado um teste de média (Scott-Knott, 5%) para evidenciar as diferenças entre parâmetros apresentados, onde pontos do gráfico com o mesmo marcador não diferem entre si, significativamente.

Considerando o experimento 2, com exceção de NRA que não apresentou diferença estatística entre os genótipos, o clone 12V apresentou média superior em relação aos demais para as variáveis AF, NF e AP (Tabela 3). Por outro lado, os clones 5V, 12V e 14/86 foram superiores em relação à VR, enquanto os clones 12V, 13V e 14/86 apresentaram médias superiores de DSC (Tabela 3).

Tabela 3. Médias de área foliar (AF), número de folhas (NF), volume de raiz (VR), número de raízes adventícias (NRA), altura de planta (AP) e diâmetro da seção transversal do caule no ponto de avaliação (DSC) de mudas de cinco clones de *Coffea canephora*.

Clone	AF (cm <sup>2</sup> )	NF (ud)	VR (cm <sup>3</sup> )	NRA (ud)	AP (cm)	DSC (mm)
5V	333,14B	9,00 B	9,50 A	9,25 A	17,08 B	3,61 B
12V	406,41A	13,25 A	10,63 A	9,38 A	22,48 A	4,10 A
13V	317,43B	6,75 B	6,50 B	6,63 A	19,09 B	3,75 A
14/86	329,82B	9,75 B	11,25 A	9,13 A	18,24 B	3,83 A
120	301,96B	9,25 B	8,13 B	8,63 A	19,56 B	3,37 B
CV (%)	10,83	17,84	16,02	20,21	10,92	9,51

Valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente (Scott-Knott, 5%).

Em relação à parte aérea, a MSE não apresentou diferença significativa entre os clones estudados, porém, tanto para MSF quanto para MSPA, o clone 12V obteve a maior média entre os demais, enquanto o Clone 120 apresentou a menor média (Tabela 4).

Considerando a variável MSR, houve a formação de três grupos, sendo o de maior média composto pelos clones 12V e 14/86, seguido pelo grupo intermediário formado pelos clones 5V e 120 e, sequencialmente, o clone 13V com a menor média (Tabela 4). Já em relação à MSR/PA, o clone 14/86 apresentou a maior média entre todos, seguido pelos clones 5V, 12V e 120, enquanto o clone 13V apresentou a menor média.

Tabela 4. Médias da massa seca de raiz (MSR), folha (MSF), parte aérea (MSPA), estacas (MSE) e relação massa seca raiz / massa seca parte aérea (MSR/PA) de mudas de cinco clones de *Coffea canephora*.

Clone	MSR (g)	MSF (g)	MSPA (g)	MSE (g)	MSR/PA
5V	1,09 B	2,38 B	3,90 B	0,80 A	0,28 B*
12V	1,49 A	3,09 A	5,47 A	1,15 A	0,27 B
13V	0,95 C	2,14 B	3,77 B	0,92 A	0,25 C
14/86	1,37 A	2,29 B	3,96 B	0,89 A	0,35 A
120	1,02 B	1,94 C	3,40 C	0,79 A	0,29 B
CV (%)	14,23	10,38	16,71	18,19	17,77

\*Valores seguidos por mesma letra (coluna) não diferem entres si, estatisticamente (Scott-Knott, 5%).

Os coeficientes encontrados para as relações entre as variáveis MSF e AF, MSF e MSPA, AF e MSPA indicam uma correlação muito forte e significativa (Tabela 5). Para as relações entre as variáveis AF e MSE, AF e MSC, AF e VR, AF e MSR, MSF e MSE, MSF e MSC, MSF e VR, MSF e MSR, MSE e MSC, MSE e MSPA, DSC e MSC, MSC e VR, MSC e MSR, MSPA e VR, MSPA e MSR, VR e MSR, os coeficientes indicam correlação forte e significativa (Tabela 5). Para as relações entre as variáveis AF e DSC, AF e KR, MSF e DSC, MSF e KR, MFE e DSC, MFE e MSPA, MFE e MSR, MSE e DSC, MSE e VR, MSR e MSR, DSC e MSPA, DSC e VR, DSC e MSR, MSPA e  $K_R$ , os coeficientes indicam correlação moderada e significativa (Tabela 5). A relação AF e MFE, MFE e VR obtiveram coeficientes indicando correlação fraca, porém significativa. As relações AF e MFE, MFE e MSE, MFE e VR,  $K_R$  e MFE,  $K_R$  e MSE,  $K_R$  e DSC,  $K_R$  e MSC,  $K_R$  e AF, MFE e  $K_R$  não apresentaram coeficiente significativo (Tabela 5).

Não houve diferenças significativas entre os parâmetros de trocas gasosas (A,  $g_s$  e E) entre os clones estudados às 08:00 e 12:00 horas (Tabela 6).

Tabela 5. Matriz de correlação de Pearson entre dados de matéria seca de folha (MSF), de estaca (MSE), de caules e ramos (MSC), de raiz (MSR), de parte aérea (MSPA) e Total (MT) de mudas de cinco clones de *Coffea canephora*.

Var.\Var.	AF	MSF	MFE	MSE	DSC	MSC	MSPA	VR	MSR	K <sub>R</sub>
AF		0,92	0,01	0,64	0,39	0,81	0,90	0,64	0,68	0,37
MSF	**		0,39	0,62	0,55	0,89	0,97	0,67	0,75	0,31
MFE	ns	*		0,11	0,47	0,40	0,36	0,21	0,34	-0,04
MSE	**	**	ns		0,44	0,63	0,78	0,38	0,57	0,21
DSC	*	**	**	**		0,62	0,59	0,33	0,56	0,06
MSC	**	**	**	**	**		0,94	0,62	0,77	0,24
MSPA	**	**	*	**	**	**		0,64	0,78	0,31
VR	**	**	ns	*	*	**	**		0,80	0,08
MSR	**	**	*	**	**	**	**	**		0,20
K <sub>R</sub>	*	*	ns	ns	ns	ns	**	Ns	ns	

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade - teste "t"; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade - teste "t".

Tabela 6. Taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g<sub>s</sub>) e taxa de transpiração (E) em mudas de cinco clones de *Coffea canephora*

Clone	A		g <sub>s</sub>		E	
	(μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		(mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	
	8h	12h	8h	12h	8h	12h
5v	5,83	5,71	0,071	0,094	2,05	3,75
12v	7,44	6,52	0,091	0,100	2,50	3,97
13v	7,00	6,37	0,110	0,091	2,80	3,68
14/86	5,97	5,88	0,081	0,076	2,30	3,17
120	6,23	6,45	0,059	0,106	1,90	4,31
CV (%)	21,8	27,9	45,8	47,1	41,2	45,58

\*Não se verificou nenhuma diferença estatística entre clones e horários de avaliações pelo teste Scott-Knott (5%).

Em relação aos dados de fluorescência da clorofila a, os clones não apresentaram diferenças estatísticas entre si para F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub> e PI em ambos os horários (Tabela 7). No entanto, o clone 13V apresentou uma significativa redução

em  $F_v/F_M$  e PI às 13:00 horas, quando comparado com os valores obtidos às 09:00 horas (Tabela 7). Considerando os valores de SPAD, os clones 5V, 12V, 13V apresentaram as maiores médias (Tabela 7).

Tabela 7. Rendimento quântico do PSII ( $F_v/F_M$ ), índice de desempenho fotossintético (PI) e intensidade de verde (SPAD) em mudas de cinco clones de *Coffea canephora*.

Clone	$F_v/F_M$		PI		SPAD
	9h	13h	9h	13h	
5v	0,73 Aa	0,70 Aa	1,19 aA	0,92 Aa	36,4 A
12v	0,76 Aa	0,72 Aa	1,45 aA	0,83 Aa	34,4 A
13v	0,74 Aa	0,68 Ab	1,28 aA	0,71 Ab	37,5 A
14/86	0,74 Aa	0,70 Aa	1,05 aA	0,62 Aa	32,3 B
120	0,73 Aa	0,69 Aa	1,00 aA	0,59 Aa	28,6 B
CV%	7,2		15,8		11,8

\*Valores seguidos por mesma letra maiúscula (coluna) ou minúscula (linha) não diferem entre si, estatisticamente (Scott-Knott, 5%).

O clone 12V apresentou o maior valor de  $K_R$  seguido pelos clones 5V e 120, e pelo clone 14/86, com o clone 13V apresentando menor valor (Tabela 8). Quando  $K_R$  foi normalizada por MSR ( $K_{R,RM}$ ), os clones 5V, 120, 13V, 12V e 14/86 foram desta forma sequenciados do maior para o menor valor (Tabela 8). Já para  $K_{R,RV}$ , o clone 13V apresentou maior condutividade, seguido pelo agrupamento formado pelos clones 5V, 12V e 120, e por fim, pelo clone 14/86 que obteve o menor valor. Para  $K_{R,LA}$ , os clones ficaram divididos apenas em dois grupos, sendo o grupo de maior média formado pelos clones 5V, 12V e 120 (Tabela 8).

Para o  $\Psi_w$  obtido na antemanhã (05:00 horas), não houve diferenças significativas entre os clones (Figura 4). Porém às 13:00 horas o clone 120 apresentou maior  $\Psi_{w-13h}$ , seguido pelos clones 5V, 12V e 14/86, com o clone 13V apresentando o menor valor (Figura 4). Tais diferenças resultaram em menor queda de  $\Psi_w$  no clone 120.

Não houve diferenças significativas entre os clones para  $K_L$  e DE (Figura 5 e Figura 6).

Tabela 8. Condutância hidráulica de raiz ( $K_r$ ), condutividade hidráulica normalizada por massa seca de raiz ( $K_{R,RM}$ ), condutividade hidráulica normalizada por volume de raiz ( $K_{R,RV}$ ) e condutividade hidráulica normalizada por área foliar ( $K_{R,LA}$ ) de mudas de cinco clones de *Coffea canephora*.

Clone	$K_R$ ( $\text{kg s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ )	$K_{R,RM}$ ( $\text{kg s}^{-1} \text{kg}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ )	$K_{R,RV}$ ( $\text{kg s}^{-1} \text{l}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ )	$K_{R,LA}$ ( $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{MPa}^{-1}$ )
5V	$5,51 \times 10^{-7} \text{B}$	$6,09 \times 10^{-4} \text{a}$	$7,19 \times 10^{-5} \text{B}$	$1,79 \times 10^{-5} \text{A}$
12V	$7,17 \times 10^{-7} \text{A}$	$4,93 \times 10^{-4} \text{D}$	$7,19 \times 10^{-5} \text{B}$	$1,79 \times 10^{-5} \text{A}$
13V	$4,58 \times 10^{-7} \text{D}$	$5,16 \times 10^{-4} \text{C}$	$8,32 \times 10^{-5} \text{a}$	$1,45 \times 10^{-5} \text{B}$
14/86	$4,90 \times 10^{-7} \text{C}$	$3,74 \times 10^{-4} \text{E}$	$4,48 \times 10^{-5} \text{C}$	$1,49 \times 10^{-5} \text{B}$
120	$5,51 \times 10^{-7} \text{B}^*$	$5,37 \times 10^{-4} \text{B}$	$7,19 \times 10^{-5} \text{B}$	$1,79 \times 10^{-5} \text{A}$
$R^2$	0,87	0,64	0,57	0,79

\*Os dados foram analisados por meio de análise de variância (test F, 1%), posteriormente realizada análise de regressão linear simples com a utilização de matrizes, onde valores seguidos de mesma letra na coluna possuem a mesma equação de regressão. Por este motivo, o valor de  $R^2$  assume pouca relevância.

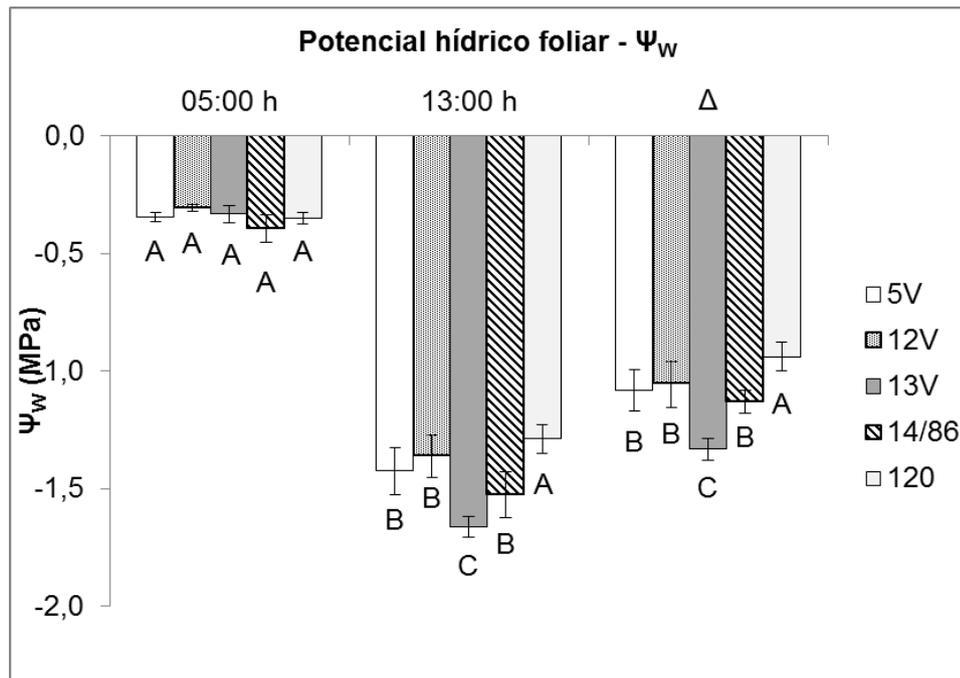


Figura 4. Potencial hídrico foliar nos períodos da antemanhã ( $\Psi_{W-5h}$ ), ao meio dia ( $\Psi_{W-13h}$ ) e sua variação ( $\Delta\Psi_w$ ) em mudas de cinco clones de *Coffea canephora*. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si dentro do mesmo horário (Scott-Knott, 5%) e as barras representam o erro padrão.

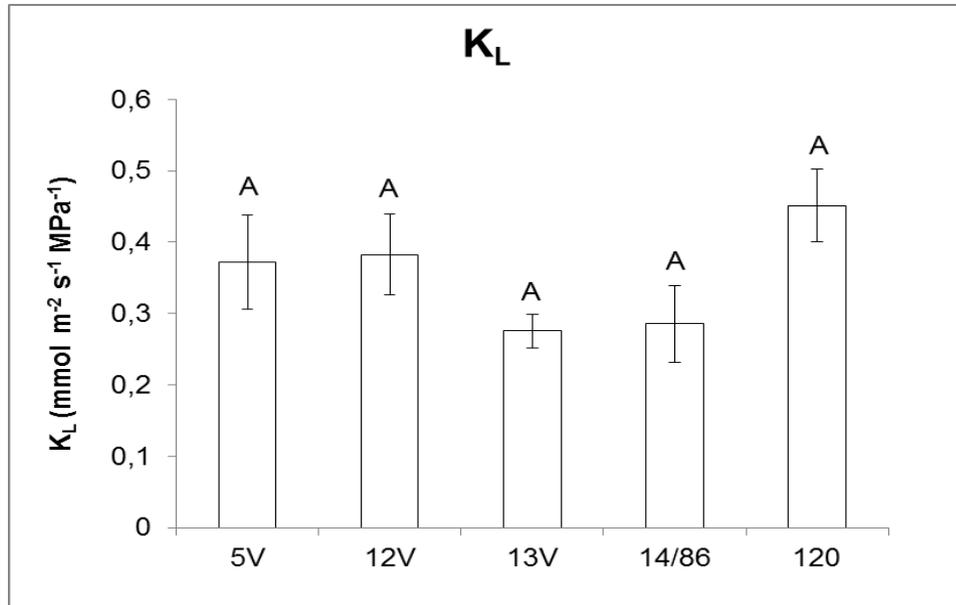


Figura 5. Condutância hidráulica específica da folha ( $K_L$ ). Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si (CV%=22,8 / Scott-Knott, 5%) e as barras representam o erro padrão.

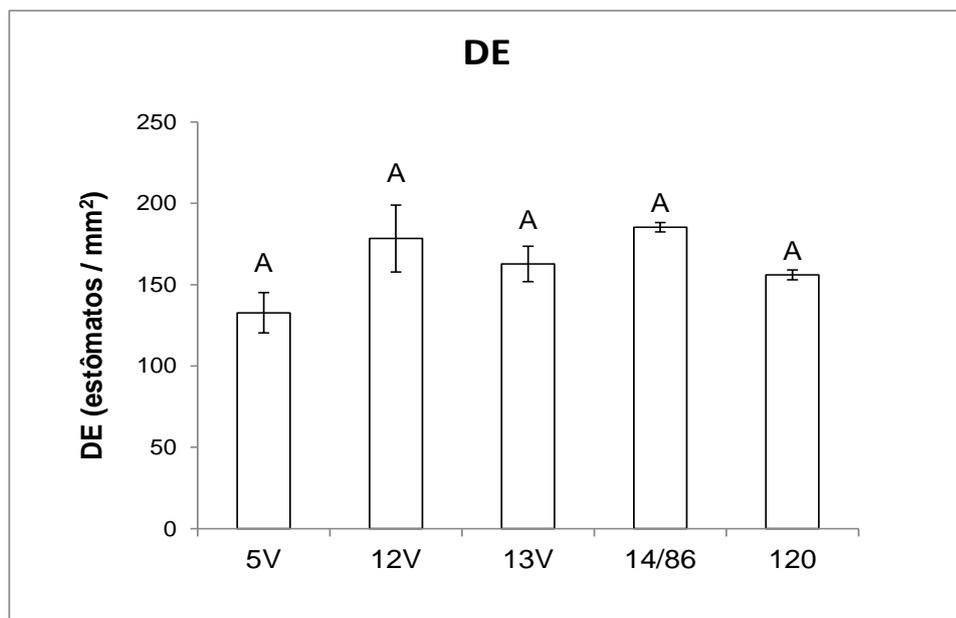


Figura 6. Densidade estomática (DE) de mudas de cinco clones de *Coffea canephora*. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si (CV%=12,7 / Scott-Knott, 5%) e as barras representam o erro padrão.

## 5. DISCUSSÃO

Os clones que compõem a variedade conilon Vitória 'Incaper 8142' apresentaram diferenças significativas em vários parâmetros analisados, visto que, sua composição partiu da seleção dentro de um grande número de acessos pertencentes ao BAG do Incaper (mais de 500). A seleção da qual se originaram os clones estudados neste trabalho objetivou alta produtividade, tolerância à seca e doenças. Os mesmos apresentaram diversas características que demonstraram proximidade genética a ambos os grupos do 'Robusta' e 'Conilon'. (Fonseca, Sakayama e Borem, 2015, Ferrão, R. et al., 2017, Alekcevetch, 2013).

No primeiro ensaio, a condutância hidráulica de raiz ( $K_R$ ) apresentou diferenças entre os materiais (Tabela 2). Porém, este parâmetro representa, *in loco*, a capacidade de fornecimento de água do sistema radicular à parte aérea, estando intimamente ligado ao grau de desenvolvimento da muda sem, contudo, estar devidamente esclarecido sua influência no mesmo (Becker et al., 1999). Desta forma, optou-se por realizar a normalização de  $K_R$  ( $K_{R,RV}$  e  $K_{R,LA}$ ), sendo que  $K_{R,RM}$  apresentou-se melhor para distinguir os dezesseis clones, dividindo-os em três grupos. Com base nestes resultados, foi possível selecionar os clones 5V, 12V, 13V, 120 e 14/86 para o segundo ensaio.

Em relação aos parâmetros de condutância e condutividades, os resultados do segundo experimento (Tabela 8) corroboraram com os do primeiro em relação à ordem dos clones (Tabela 2), porém os valores foram reduzidos em

torno de 60 a 70% no segundo ensaio. Esta redução ocorre por interferência de barreiras não ativas relatadas por Knifer et al. (2007), sendo recomendado um período de estabilização para realização da leitura (Gambeta et al., 2012). No entanto, quando muitos genótipos são avaliados, este período de estabilização é inviável, uma vez que o fluxo (J) sofre influências das condições externas ao longo do tempo (Emery e Salon, 2002).

Os clones 120 e 14/86, reconhecidamente tolerantes à seca, não foram superiores em nenhum parâmetro de condutância ou condutividade hidráulica de raiz em relação ao clone reconhecidamente sensível (109a) no primeiro ensaio (clones trabalhados por diversos autores: Lima et al., 2002; DaMatta et al., 2003; Pinheiro et al., 2004; Pinheiro et al., 2005; Praxedes et al., 2006). Esta pouca relação com o referido grau de tolerância ou sensibilidade ao estresse hídrico se repetiu no segundo ensaio, demonstrando que este parâmetro em si não é suficiente para explicar tal característica. Outras partes da planta devem ser levadas em consideração quanto ao estudo da condutividade hidráulica (Meizer et al., 1995, Pallardy et al., 1995 e Sperry et al., 1995) e ao uso da água, propriamente dito, em seus processos produtivos.

Outra questão crucial são as possibilidades para normalização de  $K_R$ , pois diversos autores afirmam que este parâmetro sofre grande influência da atividade de aquaporinas, algo não mensurável por gravimetria ou volumetria (Gambeta et al., 2012, Vandeleur et al., 2009, Maurel et al., 2008, Tyerman et al., 2002). Entretanto  $K_R$  apresentou uma correlação significativa com os parâmetros biométricos de VR e MSR (Figura 3).

As correlações encontradas entre  $K_R$  e AF reforçam que  $K_{R,AF}$  pode ser considerada como medida de suficiência hídrica para suprimento de água das raízes à parte aérea (Whitehead et al., 1984, Becker et al., 1998; Tyree et al., 1998, Roubelakis-Angelakis, 2009). No entanto, cabe ressaltar que  $K_{R,AF}$  apresentou valores mais elevados para clones reconhecidos por sensibilidade à seca (109a) em relação aos considerados mais tolerantes (14/86 e o 120), não sendo, portanto, indicado para definição desta característica. Esta dicotomia entre a condutância hidráulica de raízes e a sensibilidade/tolerância ao estresse hídrico também ocorre entre os clones 2V, 3V, 4V, 5V, 6V, 10V e 13V, referenciados por Oliveira (2014) como de baixa sensibilidade ao estresse hídrico (Tabela 2 e Tabela 8).

A queda de  $\Psi_w$  (Figura 4) apresentou resultados mais condizentes com as considerações a respeito da baixa sensibilidade ao estresse hídrico, sendo que o clone 120 apresentou a menor diferença (63%) entre os horários avaliados de 5:00 e 13:00 horas, enquanto que o clone 13V apresentou uma queda de 80%, revelando maior sensibilidade ao aumento da demanda evaporativa do ar. A maior queda de  $\Psi_w$  para o clone 13V também implicaria na maior redução dos parâmetros de  $F_v/F_m$  e de PI para este clone (Tabela 7), indicando efeitos negativos do aumento da demanda evaporativa entre os dois horários de avaliação (Pinheiro et al., 2004, Ronchi e DaMatta, 2007).

Bolhàr- Nordenkamp et al. (1989) qualificam como ótimo os valores de  $F_v/F_m$  entre 0,75 e 0,85, acreditando que os mesmos reflitam em ótima eficiência do PSII. Entretanto, neste trabalho, muitos dos valores de  $F_v/F_m$  encontrados às 9:00 horas foram inferiores à 0,75 (Tabela 7). Mas, valores na faixa entre 0,70 e 0,75 já foram reportados para plantas de *C. canephora* em condições controladas (Partelli et al., 2009; Rodrigues et al., 2016). Além disso, a partir do aumento da intensidade luminosa, é esperado que já haja uma queda desta variável (Valentini et al., 1994). Outro fator preponderante são os níveis de SPAD abaixo de 40 que é considerado um nível ótimo para que se apresentem valores de  $F_v/F_m$  mais altos (Torres Neto et al., 2004). Mesmo assim, com todos os atenuantes citados, foi possível identificar uma queda entre os dois horários analisados de  $F_v/F_m$  e PI do clone 13V.

O índice SPAD apresentou diferenças significativas entre os materiais onde o clone 120 e o 14/86 apresentaram valores mais baixos para esta variável 32,3 e 28,6, respectivamente. Esta variação é explicada pela variabilidade genética entre os clones estudados onde os genótipos são mais ligados ao grupo 'conilon' como sendo plantas de menor porte, mais arbustivas, folhas mais claras (menor índice SPAD) e alongadas (Fonseca, Sakayama e Borem, 2015).

Porém, o valor atingido de  $\Psi_w$  não foi suficiente para inferir diferenças em A, gs e E (Tabela 7) entre nenhum clone e entre os dois horários de avaliação, talvez por não terem sido alcançados valores tão baixos dentro da faixa indicada de -1,7 a -2,2 Mpa, quando se inicia o ponto de perda de turgescência (DaMatta e Ramalho, 2006), com exceção do clone 13V que mais se aproximou (-1,66 Mpa).

Também não se observaram diferenças entre os clones quanto a  $K_L$ , nem tão pouco em relação a DE, que apresentou valores comumente encontrados

para o cafeeiro (Batista et al., 2010). Diferenças quantitativas de DE são relatadas conforme condição de sombreamento ou condição hídrica de cultivo no desenvolvimento das folhas (Castro et al., 2009), não podendo ser observado na fase de mudas produzidas em condições edáficas similares entre os materiais estudados (Figura 5).

O diâmetro do caule na altura do corte (DSC), onde é realizada a mensuração de J (tabela 3,) apresentou diferenças significativas, mas o estudo de correlação desta variável com  $K_R$  apresentou coeficiente fraco e não significativo. A densidade da madeira do caule seria responsável por esta falta de correlação, pois fisiologicamente, as consequências de maior densidade na arquitetura hidráulica podem incluir uma condutividade hidráulica mais baixa (Meinzer et al., 2003; Pratt et al., 2007; Menezes-Silva et al., 2015). Os níveis de J determinados em um teste preliminar em ramos (dados não mostrados) foram muito superiores aos encontrados nos dois ensaios anteriores, portanto, indicando que não haveria um efeito “gargalo” interagindo nos resultados.

Ainda que as dimensões do sistema radicular não expliquem totalmente sua eficiência na obtenção/condução de água, seus parâmetros biométricos assumem relevância, principalmente nas correlações entre as massas secas. A correlação entre duas variáveis de raízes (VR e MSR) com a AF ou mesmo a MSPA apresentaram coeficientes classificados como fortes e significativos. Um alto valor na relação raiz/parte aérea indica o movimento de considerável proporção de fotoassimilados para o sistema radicular (Knifer e Fricke, 2011).

A proporção entre raízes e parte aérea é funcionalmente relacionada, e pode variar apenas dentro de certos limites (Knifer e Fricke, 2011). A relação MSR/PA assume papel relevante quando se percebe o maior investimento do clone 14/86 em MSR, mesmo na fase de mudas, com 57% de MSR em relação à MSPA no primeiro ensaio e 35% no segundo, sempre superior aos demais clones dos experimentos. O clone 13V, único material a ter redução significativa de  $F_V/F_M$ , PI e de  $\Psi_W$  foliar em relação aos demais materiais no segundo ensaio, apresentou também significativamente a menor MSR/PA. Este resultado demonstra a importância de um sistema radicular bem desenvolvido na manutenção do  $\Psi_W$  foliar. Esta característica assume grande importância em situações de restrição hídrica para clones que ainda apresentam produções elevadas nestas condições, via o estabelecimento de um sistema radicular

profundo e um controle estomático mais eficiente (Ronchi e DaMatta 2017). (Lopes e Reynolds, 2010; Franco e Inforzato, 1946; Rena & Guimarães, 2000; Carvalho et al., 2008).

As inferências de resultados de experimentos com cafeeiros realizados com mudas na fase adulta da planta ou em condições de campo vêm sendo bastante discutidas, mas segundo diversos autores os resultados são bastante promissores, além desta prática representar grande economia de tempo e recursos (Cavatte et al., 2008, Silva et al., 2013, Ronchi e DaMatta, 2017).

## 6. RESUMO E CONCLUSÕES

Os clones 1V, 2V, 3V, 5V, 6V, 8V, 10V e 109a apresentaram maior condutividade hidráulica por massa seca de raiz ( $K_{R,RM}$ ), seguidos pelo grupo formado pelos clones 7V, 11V, 12V, 13V e 120, em sequência pelo grupo contendo os clones 4V, 9V e 14/86 com as menores médias. No segundo ensaio, a ordem seguindo do maior para o menor valor de  $K_{R,RM}$  foi formada pela sequência dos clones 5V, 120, 13V, 12V e 14/86, resultado condizente com o primeiro ensaio.

A importância da relação de MSR/PA foi confirmada por meio do estudo de correlação entre MSR, VR e MSPA, que apresentou coeficientes indicando correlação significativa e forte. Porém, as correlações de  $K_R$  com MSR e VR apresentaram coeficientes baixos, indicando que outros parâmetros devem ser buscados, como comprimento de raiz e área superficial de raiz como sugerido por Tyree et al. (1999).

A relação de  $K_R$  com AF e com MSF que apresentaram coeficientes significativos, indicando uma correlação moderada entre estes parâmetros, demonstram o equilíbrio fisiológico entre a capacidade do sistema radicular em fornecer água à parte aérea.

O diâmetro do caule por si só não representa a capacidade de conduzir água à parte aérea, sendo necessária melhor caracterização anatômica de seus vasos xilemáticos. Portanto, não deve ser utilizado como parâmetro de normalização de  $K_R$ .

A condutância hidráulica de raiz foi preponderante para a manutenção da hidratação das folhas e da integridade do aparato fotossintético em situação de menor relação MSR/PA como evidenciado pelo clone 13V.

Entre os clones estudados não foram observadas diferenças significativas entre as condutâncias hidráulicas da folha ( $K_L$ ), nem tão pouco, na densidade estomática (DE), demonstrando que estes parâmetros não explicariam quaisquer diferenças que fossem encontradas entre a capacidade de manutenção do status hídrico foliar entre os clones estudados.

A relação MSR/PA demonstrou uma medida biométrica importante bem como  $K_R$  na manutenção de um *status* hídrico adequado à planta, necessitando ainda uma melhor avaliação destes dois parâmetros associados ao funcionamento estomático, em condições de restrição hídrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alekcevetch, J. C. (2013) *Estudo da diversidade genética por meio de marcadores moleculares, de uma população de Coffea canephora var conilon*. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) – Lavras - MG - Universidade Federal de Lavras - UFLA, 92p.
- Andrade Júnior, S. De., Alexandre, R.S., Schmildt, E.R., Partelli, F.L., Ferrão, M.A.G., Mauri, A.L. (2013) Comparison between grafting and cutting as vegetative propagation methods for 'Conilon' coffee plants. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 35:461-469.
- Atkinson, D. (1990) Influence of root system morphology and development on the need for fertilizers and the efficiency of use. In: Baligar, V. C. (Ed.) *Crops as enhancer of nutrient use*. Academic Press, London, pp. 411-451.
- Atkinson, D. (2000) Root characteristics: Why and what to measure. In: Smit, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., Noordwijk, M. Van., Pellerin, S., Geijn, S.C. (Eds.) *Root methods: A Handbook*. Springer-Verlag, Berlin, 1-32.
- Batista, L. A., Guimarães, R. J., Pereira, F. J., Carvalho, G. R., Castro, E. M. de. (2010) Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. *Revista Ciência Agronômica*: 41(3), 475-481.
- Becker, P., Tyree, M.T., Tsuda, M. (1999) Hydraulic conductances of angiosperms versus conifers: similar transport sufficiency at the whole-plant level. *Tree Physiology*, 19: 445-452.
- Blum, A. (2009) Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112:119–123.

- Brouwer, R. (1962) Nutritive influences on the distribution of dry matter in plant. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 10: 399-408.
- Callegari-Jacques, S. M. (2003) *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artemed, 255p.
- Carvalho, M., Jesus, A.M.S., Carvalho, S.P., Gomes, C.N., Soares, A.M. (2008) Comportamento em condições de campo de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente e por sementeira. *Coffee Science*, 3:108-114.
- Castro, E. M.; Pereira, F. J.; Paiva, R. (2009) *Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos*. Lavras: UFLA. 234 p.
- Conab. (2014) Acompanhamento da Safra Brasileira – Café: Safra 2014 Quarto Levantamento Dezembro de 2014: [[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_12\\_22\\_09\\_53\\_5\\_5\\_boletim\\_dezembro\\_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_22_09_53_5_5_boletim_dezembro_2014.pdf)]. Acessado em 20/03/2015.
- Costa, G.F., Marengo, R.A. (2007) Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *Acta Amazonica*, 37(2): 229 – 234.
- Covre, A.M., Partelli, F.L., Mauri, A.L., Dias, M.A. (2013) Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. *Revista Agro@ambiente On-line*, 7(2):193-202.
- DaMatta, F. M., Loos, R.A., Silva, E.A., Loureiro, M.E., Ducatti, C. (2002) Effects of soil water deficit and nitrogen nutrition on water relations and photosynthesis of pot-grown *Coffea canephora* Pierre. *Trees* 16: 555–558.
- DaMatta, F.M., Loos, R.A., Silva, E.A., Loureiro, M.E., Ducatti, C. (2002) Effects of soil water deficit and nitrogen nutrition on water relations and photosynthesis of pot-grown *Coffea canephora* Pierre. *Trees* 16: 555–558.
- DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Pinheiro, H.A., Ducatti, C., Loureiro, M.E. (2003) Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science*, 164:111-117.
- DaMatta, F. M., Ramalho, J. D. C. (2006) Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*: 18, 55-81.
- Davis A.P., Tosh J., Ruch N., Fay M.F. (2011) Growing coffee: *Psilanthus*

(Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*, *Botanical Journal of the Linnean Society*. 167: 357-377.

DeEll, J. R, Toivonen, P. M. A. (2003) Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology. *Kluwer Academic Publishers*. USA, 259.

Emery, R.J.N., Salon, C. (2002) Water entry into detached root systems saturates with increasing externally applied pressure; a result inconsistent with models of simple passive diffusion. *Physiologia Plantarum*, 115: 406–416.

Ferrão, R. G.; ferrão, M. A. G.; Fonseca, A. F. A. Da.; Lani, J. A.; Verdin Filho, A. C.; Volpi, P. S.; Ferrão, L. M. V. F (2014) Café conilon: cultivares melhoradas sustentáveis. In. Incaper em *Revista – Pesquisa Agropecuária – A trajetória do conhecimento científico no Espírito Santo*. ed. Incaper, Vitória, 4 e 5 (Janeiro de 2013 a dezembro de 2014), p. 78-82.

Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A. da, Ferrão, M.A.G., DeMuner, L.G. (2017) *Coffea canephora* In: Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A. da, Ferrão, M.A.G., DeMuner, L.G. *Café Conilon*, 2. Ed. Vitória: Incaper, p:37-53.

Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A. da., Bragança, S.M., Ferrão, M.A.G., De Muner, L.H. (2007) *Café conilon*: 1. ed. Vitória, ES: Incaper, 702p.

Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A. da., Ferrão, M.A.G., Verdin Filho, A.C., Volpi, P.S., De Muner, L.H., Lani, J.A., Prezotti, L.C., Ventura, J.A., Martins, D. dos S., Mauri, A.L., Marques, E.M. G. Zucatei, F. (2012) *Café conilon: Técnicas de Produção com Variedades Melhoradas*. 4. Ed. Vitória, ES: Incaper, 74p.

Fonseca, A. F. A. da, Ferrão, M.A.G., Ferrão, R.G. (2013) Vantagens e riscos no uso de mudas clonais de *coffea canéfora*. *Visão Agrícola*. Piracicaba, SP, 12:17-18.

Fonseca, A. F. A. da., Ferrão, M.A.G., Ferrão, R.G., Verdin Filho, A.C., Volpi, P.S., Zucatei, F. (2004) Conilon Vitória - Incaper 8142: improved *Coffea canephora* var. Kouillou clone cultivar for the State Espírito Santo. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* (Impresso), 4(4):503-505.

Fonseca, A. F. A. da., Sakayama, N. S., Borem, A. O. (2015) *Café Conilon: do plantio à colheita*. Viçosa, MG. UFV. (1): 11-25.

- Fonseca, A.F.A. da, Ferrão, M.A.G., Ferrão, R.G. (2013) Vantagens e riscos no uso de mudas clonais de *coffea canéfora*. *Visão Agrícola*. Piracicaba, SP, 12:17-18.
- Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., Ferrão, R.G., Verdin Filho, A.C., Volpi, P.S.; Zucateli, F. (2005) Conilon Vitória 'Incaper 8142': Variedade Clonal de Café Desenvolvida para o Estado do Espírito Santo'. In: IV Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Londrina. *Anais do IV Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil* - Disponível em CD. Brasília, DF: EMBRAPA – CAFÉ.
- Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., Ferrão, R.G., Verdin Filho, A.C., Volpi, P.S., Zucateli, F. (2004) Conilon Vitória - Incaper 8142: improved *Coffea canephora* var. Kouillou clone cultivar for the State Espírito Santo. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* (Impresso), 4(4):503-505.
- Franco, C.M.; Inforzato, R. (1946) *O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo*. *Bragantia*, 6:443-458.
- Frensch, J., Steudle, E. (1998) Axial and radial Hydraulic resistance to roots of maize (*Zea mays* L.) *Plant Physiol.* 91:719-726.
- Gambetta, G.A., Manuck, C.M., Drucker, S.T., Shaghasi, T., Fort, K., Matthews, M.A., Walker, M.A., McElrone, A.J. (2012) The relationship between root hydraulics and scion vigour across *Vitis* rootstocks: what role do root aquaporins play. *Journal of Experimental Botany*, 63(18):6445–6455.
- Graham, R.D. (1984) Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant Nutr.*, 1:57-101.
- Hammer, G.L., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C. Paszkiewicz, S., Cooper, M. (2009) Can Changes in Canopy and/or Root System Architecture Explain Historical Maize Yield Trends in the U.S. Corn Belt *Crop Science*. 49:299–312.
- Hunt, S. (2003) Measurements of photosynthesis and respiration in plants. *Physiologia Plantarum*, 117: 314-325.
- Kanechi, M., Uchida, N.U., Yasuda, T., Yamaguchi, T. (1996) Nonstomatal inhibition associated with inactivation of Rubisco in dehydrated coffee leaves under unshaded and shaded conditions. *Plant & Cell Physiology*, 37(4): 455-460.

- Knipfer, T., Das, D., Steudle, E. (2007) During measurements of root hydraulics with pressure probes, the contribution of unstirred layers is minimized in the pressure relaxation mode: comparison with pressure clamp and high-pressure flowmeter. *Plant, Cell and Environment* 30:845–860.
- Knipfer, T., Fricke, W. (2011) Water uptake by seminal and adventitious roots in relation to whole-plant water flow in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Botany*, 62(2):717–733.
- Knipfer, T., Fricke, W. (2011) Water uptake by seminal and adventitious roots in relation to whole-plant water flow in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Botany*, 62(2):717–733.
- Knipfer, T., Steudle, E. (2008) Root hydraulic conductivity measured by pressure clamp is substantially affected by internal unstirred layers. *Journal of Experimental Botany*, 59(8):2071–2084.
- Lima, A.L.S., DaMatta, F.M., Pinheiro, H.A.; Totolab, M. R., Loureiro, M. E. (2002) Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. *Plant Science*, 167(6):1307-1314.
- Liu, W.G., Shan L, Deng X P. (2001) Probe the method of measuring root system hydraulic conductivity using pressure chamber. *Acta Botanica Boreo-Occidental Sinica*, 21:761-765. (in Chinese).
- Lopes, M. S., Reynolds, M. (2010) Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. *Funct Plant Biol* (37), 147-156.
- Lynch, L. (1995) Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology*, 109:7-13.
- Marschner, H. (2012) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3<sup>a</sup> ed. Elsevier & Academic Press, Austrália.
- Martins, S.C.V., Galme´s, J., Cavatte, P.C., Pereira, L.F., Ventrella, M.C., DaMatta, F. M. (2013) Understanding the Low Photosynthetic Rates of Sun and Shade Coffee Leaves: Bridging the Gap on the Relative Roles of Hydraulic, Diffusive and Biochemical Constraints to Photosynthesis. *PLoS ONE* 9(4): e95571.

- Maurel, C., Verdoucq, L., Luu, D., Santoni, V. (2008) Plant aquaporins: membrane channels with multiple integrated functions. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 595–624.
- Meinzer F. C., James SA, Goldstein G, Woodruff D (2003) Whole-tree water transport scales with sapwood capacitance in tropical forest canopy trees. *Plant Cell Environ* 26:1147–1155.
- Meinzer, F.C., G. Goldstein, P. Jackson, N.M. Holbrook, M.V. Guttierrez and J. Cavelier. (1995) Environmental and physiological regulation of transpiration in tropical forest gap species: the influence of boundary layer and hydraulic properties. *Oecologia* 101:514-522.
- Menezes-Silva, P. E., Cavatte, P. C., Martins, S. C. V., Reis, J. V., Pereira, L. F., Ávila, R. T., Almeida, A. L., Ventrella, M. C., DaMatta, F. M. (2015) Wood density, but not leaf hydraulic architecture, is associated with drought tolerance in clones of *Coffea canephora*. *Trees* 29 (6), 1687-1697.
- Mesquita, G. L., Zambrosi, F. C. B., Tanaka, F. A. O., Boaretto, R. M., Quaggio, J. A. Ribeiro, R. V. Mattos, D. (2016) Anatomical and Physiological Responses of Citrus Trees to Varying Boron Availability Are Dependent on Rootstock. *Frontiers in Plant Science*, (7): 224.
- Nardini, A. Öunapuu-Pikas, E. Savi, T. (2014) When smaller is better: leaf hydraulic conductance and drought vulnerability correlate to leaf size and venation density across four *Coffea arabica* genotypes. *Functional Plant Biology / Csiro Publishing*.
- Montagnon, C., Leroy, T., Yapo, A. B. (1992) Diversité génotypique et phénotypeque de quelques groups de caféiers (*Coffea canephora* Pierre) em collection. Consequences sur leur utilization en selection. *Café Cacao Thé* 36:187-198.
- North G.B., Nobel P.S. (1992) Drought-induced changes in hydraulic conductivity and structure in roots of *Ferocactus acanthodes* and *Opuntia ficus-indica*, *New Phytologist*. 120:9–19.
- Nunes, M.A. (1988) Environmental effects of stomatal and mesophyll regulation of photosynthesis in coffee leaves. *Photosynthetica*, 22(4):547-553.
- Oliveira, E. M. de. (2014) *Produtividade dos treze clones do cafeeiro conilon vitória submetido a diferentes lâminas de irrigação*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Viçosa – MG – Universidade Federal de Viçosa –

UFV, 97p.

- Pallardy, S.G., J. Ěermák, F.W. Ewers, M.R. Kaufmann, W.C. Parker and J.S. Sperry. (1995) Water transport dynamics in trees and stands. In *Resource Physiology of Conifers: Acquisition, Allocation, and Utilization*. Eds. W.K. Smith and T.M. Hinckley. Academic Press, San Diego, p. 301-389.
- Partelli F. L., Vieira H. D., Viana A. P., Santos, P. B., Rodrigues, A. P., Leitão A. L., Ramalho, J. C. (2009) Low temperature impact on photosynthetic parameters of coffee genotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 44:1404-1415.
- Partelli, F.L., Vieira, H.D., Santiago, A.R., Barroso, D.G. (2006) Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café 'Conilon' propagadas por sementes e por estacas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(6):949-954.
- Pinheiro, H.A., DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Loureiro, M.E., Ducatti C. (2005) Drought Tolerance is Associated with Rooting Depth and Stomatal Control of Water Use in Clones of *Coffea canephora*. *Anal. of Botany* 96:101-108.
- Pinheiro, H.A., Da Matta, F.M., Chaves, A.R.M., Fontes, E.P., Loureiro, M.E. (2004) Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. *Plant Science* 167:1307–1314.
- Pratt RB, Jacobsen AL, Ewers FW, Davis SD (2007) Relationship among xylem transport, biomechanics and storage in stems and roots of nine Rhamnaceae species of the California chaparral. *New Phytol* 174:787–798.
- Praxedes. S.C., Da Matta, F.M., Loureiro, M.E., Ferrão, M.A.G., Cordeiro, A.T. (2006) Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. kouillou) leaves. *Plant Science*, 55(3):263-273.
- Qing-ming, L., Bin-bin, L. (2010) Comparison of three methods for determination of root hydraulic conductivity of maize (*Zea mays* L.) root system. *Agricultural Sciences in China* 9 (10): 1438-1447.
- Rena, A.B. (1998) A Água na fisiologia do cafeeiro. In. *Simpósio Estadual do Café*, 3, Vitória. Anais... Vitória: CETCAF, p. 132-152.

- Rena, A.B., Barros, R.S., Maestri, M., Söndahl, M.R. Coffee. (1994) In: Schaffer, B., Andersen, P.C. (eds.). *Handbook of environmental physiology of tropical fruit crops: sub-tropical and tropical crops*. 1. Ed. Boca Raton: CRC Press, p. 101-122.
- Rena, A.B., Guimarães, P.T.G. (2000) *Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam*. Epamig, 80p. (EPAMIG. Documentos, 37).
- Ribeiro, R.V., Machado, E.C., Santos, M.G., and Oliveira, R. F. (2009) Photosynthesis and water relations of well-watered orange plants as affected by winter and summer conditions. *Photosynthetica*, 47:215–222.
- Rodrigues, W. P., Martins, M. Q., Fortunato, A. S., Rodrigues, A. P., Semedo, J. N., Simões-Costa, M. C., Pais, I. P., Leitão, A. E., Colwell, F., Goulao, L., Máguas, C., Maia, R., Partelli, F. L., Campostrini, E., Scotti-Campos, P., Ribeiro-Barros, A. I., Lidon, F. C., DaMatta, F. M., Ramalho, J. C. (2016a) Long-term elevated air [CO<sub>2</sub>] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. *Global Change Biology*, 22:415–431.
- Ronchi, P.G., Da Matta, F.M. (2007) Aspectos fisiológicos do café conilon in: Ferrão, R. G., Fonseca, A. F. A. da, Bragança, S. M., Ferrão, M.A.G., DeMuner, L.G. *Café Conilon*, 1. Ed. Vitória: Incaper, p:92-119.
- Ronchi, P.G., DaMatta, F.M. (2017) Aspectos fisiológicos do café conilon in: Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A. da, Ferrão, M.A.G., DeMuner, L.G. *Café Conilon*, 2. Ed. Vitória: Incaper, p:103-129.
- Roubelakis-Angelakis, K. A. (2009) *Grapevine Molecular Physiology & Biotechnology*. 2 ed. London: Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 610.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D. & Hemmingsen, E.A. SAP pressure in vascular plants. *Science*, 148: 339 – 346, 1965.
- Seixas, G.B. (2009) *Determinação da transpiração em plantas de Nim Indianos (Azadirachta indica A. Juss) utilizando métodos de estimativa de fluxo de seiva*. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Mato Grosso – MT, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, 88p.
- Silva, V.A., Antunes, W.C., Guimarães, B.L.S., Paiva, R.M.C., Da Matta, F.M., Loureiro, M.E., Silva, V.F., Ferrão, M.A.G. (2010) Physiological response

of Conilon coffee clone sensitive to drought grafted onto tolerant rootstock. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 45(5):457-464.

Sinclair, T.R.; Zwienieckib, M.A.; Holbrook, N.M. (2007) Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean, *Physiologia Plantarum*, 132: 446–451.

Sperry, J.S. (1995) Limitations on stem water transport and their consequences. In *Plant Stems: Physiology and Functional Morphology*. Ed. B.L. Gartner. *Academic Press*, San Diego, p. 105-124.

Strasser, B.J., Strasser, R.J. (1995) Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP test. In: *Proceedings of Xth International Photosynthesis Congress*. Dordrecht, Netherlands, pp. 977-980.

Strasser, R. J., Srivastava, A., Tsimilli-Michael, M. (2004) Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou, G., Govindjee. *Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis. Advances in photosynthesis and respiration*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 19, 321-362.

Strasser, R.J., Srivastava, A., Govindjee, (1995) Polyphasic chlorophyll a fluorescence transient in plants and cyanobacteria. *Photochem. Photobiol.* 61, 32–42.

Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M. (2001) *Stress in plants, from daily rhythm to global changes, detected and quantified by the JIP-test*. *Chim. Nouvelle (SRC)* 75:3321–3326.

Taiz, L., Zeiger, E. (2009) *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 819p.

Tester, M., Bacic, A. (2005) Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant Physiology*, 137, 791-793.

Torres Netto, A., Campostrini, E., Oliveira, J. G. de, Bressan Smith, R. E. (2005) Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104:199-209.

Torres Netto, A., Campostrini, E., Oliveira, J.G., Yamanishi, O.K. (2002) Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Brazilian Journal Plant*

- Physiology [online]. 14 (3):203-210.
- Torres Netto, A.; Campostrini, E.; Oliveira, J.G., Yamanishi, O.K. (2002) Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Brazilian Journal Plant Physiology* [online]. 14 (3):203-210.
- Tyerman, S. D., Niemietz, C. M., Bramley, H. (2002) Plant aquaporins: multifunctional water and solute channels with expanding roles. *Plant, Cell and Environment*. 25:173–194.
- Tyree, M.T. (1999) Water relations and hydraulic conductance measured by the high-pressure flow meter in crop plants. *Journal Experimental Botany* 51:823-828.
- Tyree, M.T., Ewers, F.W. (1991) Transley Review 34. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist*. 119:345-360.
- Tyree, M.T., V. Velez and J W. Dalling. (1998) Growth dynamics of root and shoot hydraulic conductance in seedlings of five neotropical tree species: scaling to show possible adaptation to differing light regimes. *Oecologia* 114:293--298.
- Valentini, R.; Cecchi, G.; Mazzinghi, P.; Scarascia Mugnozza, G.; Agati, G.; Bazzani, M.; De Angelis, P.; Fusi, F.; Matteicci, G.; Raimondi, V. (1994) Remote Sensing of Chlorophyll a Fluorescence of Vegetation Canopies: 2. Physiological Significance of Fluorescence Signal. In Response to Environmental Stresses. *Remote Sensing Environment*. 47: 29.
- Vandeleur, R. K., Mayo, G., Shelden M. C., Gilliham, M., Kaiser, B. N., Tyerman, S. D. (2009) The Role of Plasma Membrane Intrinsic Protein Aquaporins in Water Transport through Roots: Diurnal and Drought Stress Responses Reveal Different Strategies between Isohydric and Anisohydric Cultivars of Grapevine. *Plant Physiology*: 149, 445–460.
- Whitehead, D., Edwards, W.R.N., Jarvis, P.G. (1984) *Conducting sapwood area, foliage area, and permeability in mature trees of Picea sitchensis and Pinus contorta*. *Can. J. For. Res.* 14:940--947.
- Zaman-Allah, M., Jenkinson, D.M., Vadez, V. (2011) A conservative pattern of water use, rather than deep or profuse rooting, is critical for the terminal drought tolerance of chickpea. *Journal of Experimental Botany*. 1-14.

Zwieniecki, M.A., Brodribb, T.J., Holbrook, N.M. (2007) Hydraulic design of leaves: insights from rehydration kinetics. *Plant Cell Environ* 30:910–921.

## APÊNDICE



Figura 1A. Procedimentos de determinação de fluxo de seiva (J) para obtenção de  $K_R$ : a.) remoção do tubete; b.) remoção da parte aérea com corte realizado em imersão; c.) colocação do sistema radicular íntegro dentro de câmara de pressão; d.) aplicação de pressão sob o sistema radicular; e.) pesagem de papel absorvente; f.) captação de seiva exsudada; e.) pesagem de papel absorvente com seiva absorvida.



Figura 2A. Aspectos do sistema radicular dos clones estudados no segundo experimento.