WELLINGTON LUIZ DE ALMEIDA

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS E DE PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE *Coffea arabica* L. EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO NA LINHA DE PLANTIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa - *Campus* de Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

WELLINGTON LUIZ DE ALMEIDA

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS E DE PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE *Coffea arabica* L. EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO NA LINHA DE PLANTIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa - *Campus* de Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20/02/2015

Prof.a Jaqueline Dias Pereira
(Coorientadora)

Prof. Vinicius Ribeiro Faria

Prof. Cláudio Pagotto Ronchi
(Orientador)

A Deus pela fé que me mantém vivo e fiel a essa vida de trabalho e estudo.

À minha família, em especial aos meus pais Maria Neuza e Luiz Gonzaga, que souberam entender a minha ausência nos muitos momentos desde que ingressei no mestrado.

Aos meus queridos amigos e familiares pela ajuda e por me apoiarem nos momentos de dificuldades.

A todos os professores e amigos que de alguma forma colaboraram com essa pesquisa.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por sempre me dar forças nos momentos de ansiedade e tensão.

À Universidade Federal de Viçosa – *Campus* de Rio Paranaíba e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo aporte financeiro do projeto (Processo CRA-APQ-00044-11).

Ao Orientador Professor Cláudio Pagotto Ronchi, o qual aprendi a admirar e respeitar, pela paciência que teve nos momentos mais difíceis, pelo incentivo e principalmente por acreditar na minha capacidade.

Aos meus co-orientadores Jaqueline Dias Pereira e Pedro Ivo Vieira Good God, pelas orientações e conselhos que foram valiosos para o enriquecimento desse trabalho.

Aos professores membros da banca Vinicius Ribeiro Faria e Jaqueline Dias Pereira pela participação na banca de defesa.

Aos bolsistas de pós-doutoramento PNPD/CAPES, Antônia Mirian, Paulo e Leandro pela ajuda e colaboração nas avaliações.

Aos amigos Paulo, Flávia, Ane, Sabrina, Juliana e aos demais colegas de mestrado e equipe pelo companheirismo, apoio e incentivo.

À Transagro S.A. e seus funcionários por permitir a realização deste trabalho cedendo à área experimental e dando o apoio necessário.

À técnica Mirlem, pela eficiência e prestatividade de sempre e também aos colegas dos Laboratórios de Anatomia Vegetal e de Genética Ecológica e Evolutiva da UFV-CRP pela ajuda e colaboração.

ÍNDICE

RESUMO vi
ABSTRACT viii
1. INTRODUÇÃO 1
2. MATERIAL E MÉTODOS 4
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 9
4. CONCLUSÕES 38
5. LITERTURA CITADA 39

RESUMO

ALMEIDA, Wellington Luiz de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa - *Campus* de Rio Paranaíba, fevereiro de 2015. **Respostas morfofisiológicas e de produtividade de cultivares de** *Coffea arabica* L. **em função da variação do espaçamento na linha de plantio**. Orientador: Cláudio Pagotto Ronchi. Coorientadores: Jaqueline Dias Pereira e Pedro Ivo Vieira Good God.

Objetivou-se neste estudo caracterizar as respostas morfofisiológicas de cultivares de *Coffea arabica* L., submetidas a diferentes espaçamentos na linha de plantio, associando-as com a produção por planta e a produtividade desses materiais. Quatro cultivares de café arábica (Catuaí Vermelho IAC 144, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Amarelo IAC 32 e Tupi RN IAC 1669-13) foram plantados em janeiro de 2010, no espaçamento de 3,80 m entre linhas, adotando-se os espaçamentos de 0,40, 0,50, 0,60, 0,70 e 0,80 m entre plantas na linha. Em abril e dezembro de 2013 e, também, em abril de 2014, em ramos produtivos posicionados no sentido da linha ou perpendicularmente a esta, foram feitas avaliações de trocas gasosas, de parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, dos teores de pigmentos fotossintéticos, da anatomia do limbo, assim como de diversas medidas relacionadas ao crescimento, área foliar e partição de matéria seca do ramo plagiotrópico com carga pendente. Não obstante, a produção de café por planta, a produtividade, a uniformidade de maturação dos frutos e a análise física dos grãos foram mensuradas nas safras 2013 e 2014. Utilizou-se do delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. O fator espaçamento não influenciou a produtividade, entretanto houve reduções significativas na produção por planta com a redução dos espaçamentos na linha em todos os cultivares. A maior produtividade, em dois anos consecutivos, foi verificada na cultivar Catuaí Amarelo IAC 62, independentemente dos espaçamentos testados. A relação área foliar:fruto aumentou linearmente com a redução do espaçamento, variando de 11 cm^2 por fruto, no espaçamento de 0,8 m, a 22 cm^2 por fruto, no espaçamento de 0,4 m, na safra 2013. As variações na produção por planta em função do espaçamento, independentemente de cultivares, não foram explicadas pelas medidas instantâneas de trocas gasosas, pelos níveis de pigmentos foliares e nem pelo desempenho fotoquímico do FSII, apesar de terem sido observadas diferenças nos

níveis de pigmentos e nos parâmetros de fluorescência entre folhas de ramos mais expostos ou mais internos à copa. Evidenciou-se, no menor espaçamento entre plantas, redução na espessura do mesofilo, bem como na parede periclinal externa adaxial e epiderme adaxial. A redução da produção por planta, com o decréscimo do espaçamento na linha, verificada em todas as cultivares, ocorreu em consequência da redução drástica do número de frutos por ramo (associada ao menor número de frutos por roseta e não à redução do número de nós por ramo), independentemente da posição do ramo no dossel, e a intensidade dessa resposta variou com a cultivar e com o estádio fenológico da cultura.

ABSTRACT

ALMEIDA, Wellington Luiz de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa - *Campus* de Rio Paranaíba, fevereiro de 2015. **Morphofisiological and yield responses of Arabica coffee cultivars subjected to different plant spacings within rows.** Adviser: Cláudio Pagotto Ronchi. Co- advisers: Jaqueline Dias Pereira and Pedro Ivo Vieira Good God.

The aim of this study was to characterize the morphophysiological responses of *Coffea arabica* L. cultivars subjected to different spacings between plants within rows, associating them with coffee yield (either per plant and per area). Four Arabica coffee cultivars (Catuaí Vermelho IAC 144, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Amarelo IAC 32 and Tupi RN IAC 1669-13) were planted in 2010, January. The adopted plant spacings were 0.40,0.50, 0.60, 0.70, and 0.80 m between plants within rows, maintaining 3.8 m constant between rows. At three times (2013, April and December; and 2014, April) and in fruiting branches from two canopy positions (towards the rows or towards the inter-row spacing) it was evaluated the gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters, photosynthetic pigments levels, leaf anatomy, as well as the growth, leaf area and dry matter partitioning of plagiotropic fruiting branches. In addition, coffee production per plant, coffee yield, fruit maturation and physical analysis of green coffee were measured both in 2013 and 2014. A randomized block design with four replicates were applied. Although coffee yield was not affect by treatments, it was observed that green coffee production per plant was linearly reduced by decreasing plant spacings withing rows in all cultivars tested. The highest coffee yield into two consecutive years was found in the Catuaí Amarelo IAC 62 cultivar, regardless plant spacings. The leaf area to fruit ratio increased linearly by narrowing spacings between plants within rows: it, ranging from 11 cm^2 per fruit in 0.8 m treatment to 22 cm^2 per fruit in 0.4 m ones. Regardless the cultivars, variations in the coffee production per plant according to plant spacings within rows were not explained by instantaneous gas exchange measurements, nor by the photosynthetic pigments levels or photochemical performance of PSII. In any case, some differences were observed either in pigment leves and fluorescence parameters of leaves among the two branch positions from coffee plant canopy It was clearly observed a reduction in the mesophyll thickness and also in the leaf adaxial paraclinal external wall and adaxial epidermis in the smallest plant spacing, as compared to the largest one. The decline in coffee production per plant as decreasing

spacings between plants within rows in all tested coffee cultivars occurred mainly as a result of a drastic reduction in the number of fruits per branch (with was associated with a lower number of fruits per node and not with reduced number of nodes per branch), regardless the branch position in the canopy, and the intensity of this response varied with both the cultivar and the developmental stage of the coffee crop.

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de café deve alcançar a marca de 149,8 milhões de sacas na safra 2014/2015, das quais 49,5 milhões serão produzidas pelo Brasil (USDA, 2014). Assim, o Brasil configura-se no cenário mundial como maior produtor e também maior exportador de café. Registre-se ainda que o café é o quinto item agrícola mais exportado do país. Minas Gerais é o maior estado produtor e responde por mais de 50% da produção nacional, que conta com diferentes regiões produtoras (Acompanhamento da safra brasileira, 2015).

A produção de café arábica, na região do Cerrado brasileiro, concentra-se no Estado de Minas (Fernandes et al., 2012), particularmente nas regiões do Alto Paranaíba, Noroeste e Triângulo Mineiro, onde estima-se uma produção de 5,004 milhões de sacas para a safra 2015 (Acompanhamento da safra brasileira, 2015). Nessa região, a implantação das lavouras ocorre em filas ou renques abertos para permitir o cultivo e a colheita mecanizados, além de facilitar os tratos culturais (Matiello et al., 2010; Fernandes et al., 2012). Dessa forma, o espaçamento comumente praticado é de 4,0 m x 0,5 m, para as variedades de porte baixo (como o Catuaí), que são as amplamente cultivadas no Cerrado (Santinato et al., 2008; Matiello et al., 2010; Carvalho, 2008).

Embora a definição do melhor espaçamento de plantio dependa de muitas variáveis (como cultivares, porte da planta, topografia e condições de manejo), o arranjo ou a melhor distribuição das plantas dentro das fileiras (tendendo à redução do espaçamento entre plantas), pode representar aumentos significativos em produtividade por área (Santinato et al., 2008; Matiello et al., 2010). Por exemplo, Andrade et al. (2014) demonstraram que combinações mais produtivas, para uma mesma população de plantas por hectare, ocorreram quando se empregou menor espaçamento entre plantas na linha.

Reduções no espaçamento de plantio, tanto entre as linhas quanto entre as plantas na linha, refletem em maior altura do ramo ortotrópico primário (Rena et al., 1994; Nacif, 1997; Pereira & Cunha, 2004), causam morte mais intensa dos ramos plagiotrópicos no terço inferior dos cafeeiros (Matiello et al., 2002; Pereira & Cunha,

2004) e diminuem a área útil produtiva de cada planta, representada pelo diâmetro e o comprimento da copa (Pereira & Cunha, 2004), razões pelas quais dificilmente se utilizam espaçamentos inferiores a 0,5 m entre plantas na linha. Em espaçamentos superiores a 0,7 m, os cafeeiros apresentam baixa cobertura da superfície do solo e tanto a produção fotossintética total quanto a produtividade de grãos ficam muito aquém do seu valor potencial (Cannelll, 1976). Dessa forma, o arranjo espacial das plantas, associado à disponibilidade hídrica e ao manejo adequado da cultura podem promover melhorias físico-químicas dos solos (Pavan et al., 1999; Guarçoni et al., 2011), na nutrição de plantas (Augusto et al., 2007) e na qualidade dos grãos (Fernandes et al., 2012).

Com os avanços na obtenção de novas cultivares, institutos de pesquisa como IAC e MAPA/Procafé, dentre outros, têm trabalhado para desenvolver cultivares aptas a plantios mais adensados (Carvalho, 2008). Nesse sentido, foram lançadas comercialmente algumas cultivares como a Tupi RN IAC 1669-13, uma cultivar precoce, resistente ao nematóide *Meloidogyne exigua* e também à ferrugem (Carvalho, 2008; Bliska et al., 2011), uma das principais doenças do cafeeiro (Matiello et al., 2010).

Estudos sobre adaptabilidade e estabilidade de cultivares demonstram que diferentes cultivares de café podem apresentar desempenhos diferenciados quando submetidas a variações nos ambientes de cultivo (Botelho et al., 2010; Nascimento et al., 2010). As respostas diferenciadas das cultivares com a variação do ambiente denomina-se interação genótipo x ambiente (Ferrão et al., 2007). Alterações anatômicas foliares (Grisi et al., 2008; Batista et al., 2010; Baliza et al., 2012) e morfofisiológicas (Nascimento et al., 2006; Alves, 2008; Rodrigues-López et al., 2014) têm sido verificadas em resposta às variações ambientais. Uma forma de mensurar respostas morfofisiológicas em plantas são as análises de crescimento, elas são úteis para avaliar os efeitos de sistemas de manejo sobre as plantas, pois descreve as mudanças no crescimento e produção dos vegetais em função das condições ambientais a que são submetidos (Benicasa, 2003).

O cafeeiro é uma planta de ambiente sombreado que possui adaptações morfofisiológicas para esse tipo de ambiente, no entanto adapta-se bem ao cultivo a pleno sol (Tatagiba et al., 2010). De fato, no Brasil, o cafeeiro é cultivado predominantemente a pleno sol (DaMatta, et al., 2007). A prática do cultivo do cafeeiro a pleno sol tem apresentado problemas como a superprodução e o consequente

esgotamento das plantas durante os primeiros anos até que o autossombreamento diminua esse efeito (DaMatta, et al., 2007).

O sombreamento do cafeeiro é um dos fatores importantes na interceptação da radiação, pois a densidade e a arquitetura da copa determinam a fração de energia solar que chega à região inferior da planta (Morais et al., 2004). Em cafeeiros, caso a abertura estomática não seja limitante, a taxa de assimilação líquida do carbono (*A*) parece maior nas folhas expostas que nas sombreadas (DaMatta, 2004). No entanto, em função da alta sensibilidade do estômato do cafeeiro ao déficit de pressão de vapor entre o interior da folha e a atmosfera (δ_e), que normalmente aumenta, na medida em que a temperatura do ar se eleva e a umidade relativa decresce, podem ocorrer decréscimos apreciáveis em g_s (DaMatta, 2004), especialmente nos ramos superiores das faces expostas à radiação solar da tarde. Dessa forma, sugere-se que essa espécie apresenta mecanismos para ajustar sua maquinaria fotossintética às condições preponderantes de luminosidade, como no caso do autossombreamento (DaMatta, 2004), comum em lavouras mais adensadas.

Além disso, as características anatômicas são altamente influenciadas pelo nível de radiação. A espessura das lâminas foliares e a densidade estomática podem variar de acordo com a localização da folha na planta e com o grau de exposição ao sol. Folhas expostas à plena radiação apresentam maior espessura foliar quando comparada com as folhas de plantas sombreadas (Morais et al., 2003, 2004).

Embora muita discussão ainda exista sobre o melhor espaçamento para as várias situações de plantio e, mesmo considerando que a produtividade esteja mais diretamente associada à população de plantas por hectare e não ao arranjo entre e dentro de fileiras no campo (Mendes et al., 1994), sugere-se que a adoção de menores espaçamentos entre plantas na linha de plantio, mantendo-se o espaçamento entre linhas nos limites exigidos para a mecanização, pode contribuir para a maior produtividade do cafeeiro. Mesmo que a produtividade não aumente, a menor produção individual por planta pode contribuir para redução da bienalidade e aumento da longevidade da lavoura. Não obstante, a introdução de novos materiais genéticos, assim como o uso cada vez mais intenso da fertirrigação e também de novas tecnologias no manejo das lavouras, requer a definição criteriosa dos espaçamentos entre as plantas na linha, de preferência variável com a cultivar adotada.

Portanto objetivou-se com esse estudo caracterizar as respostas morfofisiológicas de quatro cultivares de *Coffea arabica* L. submetidos a diferentes espaçamentos na linha de plantio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental localizou-se na fazenda Transagro, em Rio Paranaíba, Minas Gerais (Latitude: 19°13'0.90"S, Longitude: 46°20'36.16"O, Altitude: 906 m), pertencente à região do Alto Paranaíba-MG (Cerrado mineiro). O solo na área experimental é Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa relevo suave – ondulado (Motta et al., 2004), apresentando na camada de 0-20 cm os seguintes atributos químicos: pH - 5,83; teor de matéria orgânica - 33,7g kg^{-1}; V% - 46,5; m% - 2,5; P – 0,84 mg dm^{-3}; K – 250 mg dm^{-3}; Ca –1,60 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg –0,47$cmol_c$ dm^{-3} e CTC (T) – 5,70 $cmol_c$ dm^{-3}.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, e do tipo Cwa, de zona tropical semi-úmida, caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: verão quente e chuvoso, seguido de inverno seco e frio (Fernandes et al., 2012). Dados diários de precipitação e temperaturas máxima e mínima foram coletados na Fazenda, durante todo o período experimental. A precipitação anual e a temperatura média anual, para esse período, foram de 1.512 mm e 22ºC, respectivamente (Figura 1).

O experimento foi iniciado em janeiro de 2010, com a implantação de uma lavoura comercial formada por quatro cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.). As mudas com quatro pares de folhas foram transplantadas para os sulcos, segundo método de plantio comumente utilizado na cafeicultura do Cerrado (Santinato et al., 2008), no espaçamento na entrelinha de 3,80 m. Os tratos culturais, durante o ano agrícola, consistiram basicamente de manejo de plantas daninhas com herbicidas, roçadeiras ou trincha, manejo fitossanitário, calagem na linha de plantio e aplicação de água e fertilizantes (fertirrigação) por um sistema de gotejamento, igualmente em toda a área experimental. O manejo da irrigação foi feito de setembro a maio, e o sistema de irrigação era ligado (8 h/dia) sempre que a Água Facilmente Disponível Inicial (AFDI) atingia o valor de 50%, elevando-a para no mínimo 80%. Durante o ano agrícola 2013/2014, foram aplicados 407, 162 e 387 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente, além de 677 kg ha^{-1} de calcário dolomítico e 1.531kg ha^{-1} de esterco de galinha.

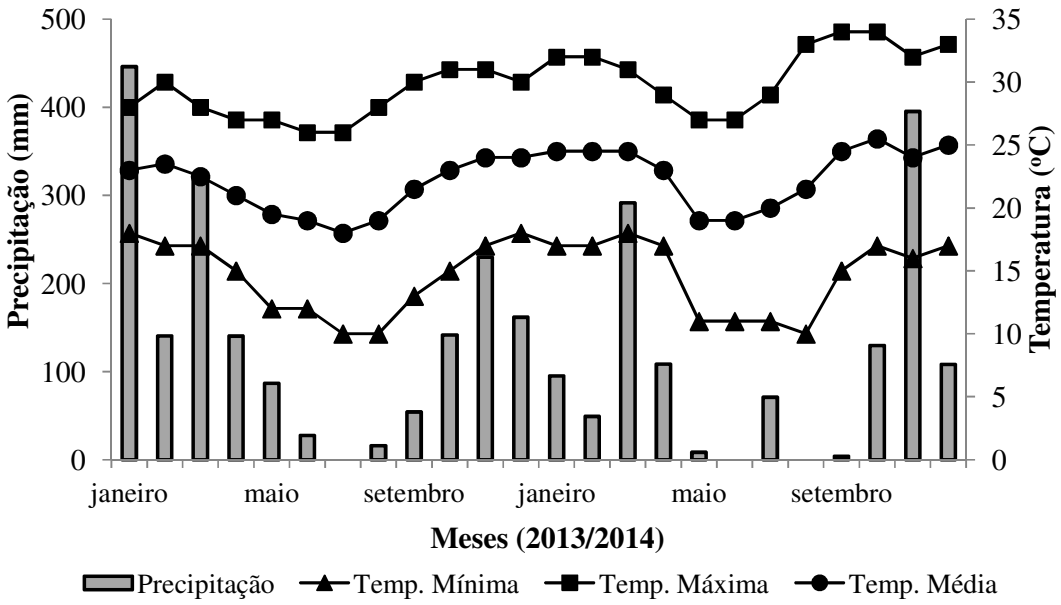

Figura 1. Temperaturas máxima, mínima e média e precipitações mensais durante os anos de 2013 e 2014 em Rio Paranaíba – Minas Gerais. Fonte: Fazenda Transagro.

Utilizou-se do delineamento em blocos casualizados, dispostos no esquema fatorial hierárquico (devido a uma restrição na casualização dos cultivares) onde o fator cultivar foi aninhado dentro de blocos. Para as avaliações de ramos foram utilizadas quatro cultivares de café arábica, submetidas a cinco espaçamentos entre plantas na linha de plantio e coletados em duas posições da copa, totalizando 40 tratamentos (4x5x2). Nas avaliações de produção individual por planta e produtividade não foram consideradas as posições do ramo na copa, sendo portanto 20 tratamentos no total (4x5). Para as avaliações de anatomia foliar não foi considerado o fator posição do ramo na copa, e foram utilizados apenas os espaçamentos 0,4 e 0,8 m (4x2). Em todas as avaliações foram utilizadas quatro repetições. As quatro cultivares de café arábica (Catuaí Vermelho IAC 144, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Amarelo IAC 32 e Tupi RN IAC 1669-13), foram escolhidas em função de serem materiais largamente empregados na cafeicultura mecanizada (IAC 144), ou de grande potencial para uso no Cerrado, devido à colocarão amarela dos frutos e alta adaptabilidade dentro dos Catuaís (IAC 62 e IAC 32), alta qualidade de bebida e resistência a ferrugem e nematóides (Tupi RN) (Carvalho et al., 2008).

Os espaçamentos adotados entre plantas na linha foram definidos dentro de uma faixa aceitável e real para cultivo em renques mecanizados na cafeicultura do Cerrado, uma vez que espaçamentos entre plantas inferiores a 0,5 m ou superiores a 0,7 m raramente são utilizados na Região, para materiais de porte baixo (Matiello et al., 2010).

Portanto, testaram-se os espaçamentos de 0,4, 0,5, 0,6, 0,7 e 0,8 m entre plantas, de forma a obterem-se, aproximadamente, 6.580, 5.260, 4.390, 3.760 e 3.290 plantas por hectare, respectivamente. Os blocos foram dispostos na linha de plantio, com dez plantas por unidade experimental. As seis plantas centrais foram consideradas úteis.

Para as avaliações fisiológicas, três datas de coletas foram estabelecidas em duas épocas fenologicamente importantes da cultura: foram feitas coletas em abril de 2013 e de 2014, na fase final da granação, e outra foi realizada em dezembro de 2013, onde ocorre as maiores taxas de crescimento vegetativo do café arábica (Camargo & Camargo, 2001; DaMatta et al., 2007).

Nas três épocas foram feitas avaliações de trocas gasosas e de parâmetros de fluorescência, em folhas completamente expandidas do terceiro ou quarto par a partir do ápice de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas, em ramos posicionados paralelamente (posição 1) ou perpendicularmente (posição 2) à linha de plantio: na primeira, os ramos situavam-se no interior da copa; na segunda, os ramos projetavam-se para a entrelinha. As taxas de assimilação líquida de carbono (*A*), a condutância estomática (g_s) e a transpiração (*E*) foram medidas em sistema aberto, sob luz saturante artificial (1.000 µmol de fótons m^{-2} s^{-1}), concentração de CO_2 ambiente, com um analisador de gás a infravermelho portátil (LICOR 6400XT, Li-COR, Lincoln, EUA).

Com esse mesmo equipamento e simultaneamente às medições de trocas gasosas, foram estimados os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*. A eficiência de captura de energia de excitação pelos centros de reação abertos do FSII ($F_v´/F_m´$), coeficiente de extinção fotoquímica (*q*P) e o rendimento quântico do transporte de elétrons (ϕ_{FSII}), foram estimadas exatamente como descrito em DaMatta et al., (2002) e Lima et al., (2002). Nas folhas do mesmo par utilizado para a avaliação das trocas gasosas, foram coletados e imediatamente congelados em nitrogênio líquido, discos foliares de área conhecida (~1,0 cm^2) para quantificação dos níveis foliares de pigmentos. As clorofilas *a* e *b* e totais, e os carotenoides totais foram extraídos em acetona/água 80% (v/v) e determinadas segundo Lichtenthaler (1987).

Nas três épocas de coletas foram retirados, em cada parcela, dois ramos plagiotrópicos do terço mediano da copa (ramos com carga pendente), sendo um ramo na posição 1 e outro na posição 2. Os ramos foram acondicionados em caixas de isopor e, em laboratório, frutos e folhas foram destacados, separados e contados. A área foliar total do ramo foi medida em um medidor de bancada (LI-3000CAP, Li-COR, Lincoln, EUA) e, em seguida, folhas, frutos e ramos foram secos em estufa a 70ºC por 72 h e, posteriormente, pesados. Com essas informações, foram calculadas as razões entre: *i*)

massa seca de frutos e massa seca total do ramo (RMFr), *ii*) massa seca do ramo e massa seca total do ramo (RMR), *iii*) massa seca de folhas e massa seca total do ramo (RMFo), *iv*) área foliar e massa seca de total de ramos (RAF), e *v*) área foliar e número de frutos do ramo (RAFFr) e massa seca de frutos pelo número de frutos (MSFr/NFr). Considerando todas as folhas do ramo também foi calculada a área foliar específica (AFE), pela relação entre a área foliar do ramo e massa seca das folhas (Benincasa, 2003).

Para estudos anatômicos, coletou-se amostras de 0,5 cm^2 em cada folha utilizada para avaliações de trocas gasosas apenas nos tratamentos de 0,4 e 0,8 m, correspondentes ao menor e ao maior espaçamento, respectivamente. As coletas foram realizadas em dezembro de 2013 e abril de 2014. As amostras foram fixadas em $FAA_{50\%}$, desidratadas em série etílica crescente e incluídas em metacrilato (Historesina, LeicaInstruments, Heidelberg, Alemanha). Em seguida, cortes transversais com espessura de 8 μm feitos em micrótomo rotativo de avanço automático (Leica RM 2255), os mesmos foram submetidos à coloração com azul de toluidina pH 4,0 (O`Brien & Mccully, 1981), para posterior montagem das lâminas com Permount (SP15-500, Fisher Scientific, New Jersey, USA).

Para análise micromorfométrica, foram mensuradas, em três campos de cada corte, as espessuras: da parede periclinal externa da epiderme adaxial, das epidermes adaxial e abaxial, do mesofilo (parênquima paliçádico + parênquima lacunoso) e a espessura total da lâmina foliar. Para determinação do índice estomático (Cutter, 1978), amostras foliares passaram por dissociação epidérmica, seguindo metodologia proposta por Jeffrey (Johansen, 1940). Os dados de espessura e índice estomático foram obtidos com o auxílio do software Anati Quanti (Aguiar et al., 2007). A digitalização das imagens foi realizada em fotomicroscópio (modelo BX 41-Olympus) com sistema U-Photo (Olympus Q Color 3).

Em junho de 2013 e 2014 foram feitas as colheitas dos frutos na área útil da parcela. Após derriça no pano e abanação, quantificou-se o peso e o volume de "café da roça" de cada amostra. Em seguida, amostras de ½ litro de "café da roça" foram retiradas para avaliação da uniformidade de maturação dos frutos, utilizando-se de uma escala visual de cores da polpa, representando várias classes de maturação (classe 1: fruto verde; classe 2: fruto verde-amarelado; classe 3: fruto vermelho e classe 4: fruto preto), adaptada de Ronchi & DaMatta, (2007). Para isso, os frutos amostrados foram separados nas diferentes classes de maturação, contados e, em seguida, foi calculada a porcentagem de frutos em cada classe.

O café colhido foi seco em terreiro asfaltado. Após isso, foi retirada uma amostra de 1,0 L de café em coco para beneficiamento e estimativa da produção de café beneficiado por planta. Considerando-se as diferentes densidades de plantas por hectare de cada tratamento, a produtividade de cada tratamento, em sacas de café beneficiadas por hectare, foi estimada. Amostras de grãos foram submetidas à análise física, para determinação das peneiras (separação pela forma e tamanho do grão), estas foram agrupadas em peneiras 17 acima (17AC), peneiras 15+16 (P15/16), peneiras 13+14 (P13/14), peneiras 12 abaixo (P12AB). Além disso, foram estimados também o rendimento (litros de café da roça/saca de café beneficiado) e a renda (kg de café em coco/kg de café beneficiado).

Realizou-se uma análise de variância conjunta com os dados das quatro cultivares, utilizando-se de um esquema fatorial hierárquico (onde as cultivares foram aninhadas dentro de blocos, devido a uma restrição na casualização das cultivares), com desdobramento das interações significativas e de interesse. Para comparar as médias das características referentes às cultivares ou às posições do ramo, e os desdobramentos destes dentro dos níveis de espaçamentos, utilizou-se do teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para verificar a influência dos espaçamentos e do desdobramento desses dentro dos níveis de cultivares ou posições do ramo ajustaram-se modelos de regressão que foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, no coeficiente de determinação e no desempenho biológico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na safra 2013 ocorreram interações significativas (P<0,05) entre cultivares e espaçamentos sobre as variáveis volume de café da roça (VCRPL) e de café em coco (VCCPL) por planta (Tabela 1). Para um mesmo espaçamento, o desempenho das cultivares foi estatisticamente semelhante, todavia, verificou-se que as cultivares responderam diferentemente à variação do espaçamento (Figura 2): todas aumentaram linearmente a produção por planta com aumento do espaçamento, mas este incremento foi menor no IAC 32 (Figura 2).

Analisando-se o fator espaçamento isoladamente (Tabela 1), verificou-se que houve redução linear nas variáveis cereja + passa (CEPA) (Figura 3-A), massa de café da roça (MCRPL) e em coco (MCCPL) (Figura 3-B), VCRPL e VCCPL (Figura 3-C) e produção de café beneficiado por planta (PROPP) (Figura 3-D) com a redução do espaçamento entre plantas. A menor produção por planta em espaçamentos menores está relacionada à maior competitividade entre indivíduos (Andrade et al., 2014) e ao autosombreamento (Nascimento et al., 2006), que reduz o aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa. Todavia, efeito inverso se observou na maturação dos frutos, uma vez que a porcentagem de grãos verdes aumentou com a redução do espaçamento (Figura 3-A). Scalco et al. (2005), estudando o efeito de diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio, chegaram à conclusão de que o aumento da densidade de plantio, associado a maior disponibilidade de umidade no solo, atrasou a maturação dos frutos do cafeeiro aumentando a porcentagem de frutos verdes na colheita.

Apesar da redução na produção de café beneficiado por planta, com a redução do espaçamento (Figura 3-D), não se verificou alteração na produtividade da lavoura, independentemente de cultivares (Tabela 1). Em trabalhos de Browing & Ficher (1976), Santinato et al., (1998) e Ferroni et al., (1998) ocorreram respostas semelhantes na produção de diferentes variedades quando submetidas a alterações nos espaçamentos de plantio. Todavia, Augusto et al., (2006) constataram aumentos na produtividade, com a redução do espaçamento, em função da maior população de plantas por área (acima de 13.333 plantas ha^{-1}).

Tabela 1– Análise de variância para os fatores cultivar, espaçamento e suas interações sobre as variáveis verde + verde-cana (VEVC), cereja + passa (CEPA), massa (MCRPL) e volume (VCRPL) de café da roça por planta, massa (MCCPL) e volume (VCCPL) de café em coco por planta, massa de café beneficiado por planta (MCBPL), produtividade (PRODU), rendimento (REND) e renda (RENDA) de café (*Coffea arabica* L.) nas safras 2013 e 2014, em Rio Paranaíba-MG.

		Valores de F									
FV	GL	VEVC	CEPA	MCRPL	VCRPL	MCCPL	VCCPL	MCBPL	PRODU	REND	RENDA
					Safra 2013						
Bloco (Cultivar)[1]	3	1,82^{ns}	1,02^{ns}	1,02^{ns}	1,28^{ns}	0,85^{ns}	1,42^{ns}	0,80^{ns}	0,87^{ns}	0,79^{ns}	0,48^{ns}
Espaçamento	4	4,78**	3,77**	70,11**	56,68**	48,5**	51,94**	27,21**	0,54^{ns}	0,38^{ns}	1,11^{ns}
Cultivar	3	73,62**	73,54*	0,77^{ns}	8,54**	0,71^{ns}	8,22**	4,71**	4,22**	1,55^{ns}	3,67*
C x E	12	1,29^{ns}	1,06^{ns}	0,77^{ns}	2,03*	0,30^{ns}	2,23*	1,46^{ns}	1,36^{ns}	1,52^{ns}	1,39^{ns}
CV (%)		17,33	7,76	18,27	17,04	21,52	17,38	23,01	23,01	12,77	25,85
					Safra 2014						
Bloco (Cultivar)	3	0,32^{ns}	0,33^{ns}	0,92^{ns}	0,78^{ns}	0,82^{ns}	1,07^{ns}	0,54^{ns}	0,44^{ns}	0,29^{ns}	0,58^{ns}
Espaçamento	4	0,83^{ns}	0,66^{ns}	43,09**	31,61**	41,5**	38,08**	21,67**	2,17^{ns}	1,16^{ns}	1,02^{ns}
Cultivar	3	29,7**	24,9**	1,44^{ns}	2,57**	1,22^{ns}	5,72**	4,21*	3,76*	1,31^{ns}	3,72*
C x E	12	1,24^{ns}	1,23^{ns}	0,31^{ns}	0,88^{ns}	0,30^{ns}	0,86^{ns}	0,54^{ns}	0,47^{ns}	0,66^{ns}	0,22^{ns}
CV (%)		13,37	11,68	21,94	21,51	22,96	21,74	28,68	29,30	18,37	23,64

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; ** e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste *F;* ^{ns}: não significativo; [1]Cultivar dentro de bloco.

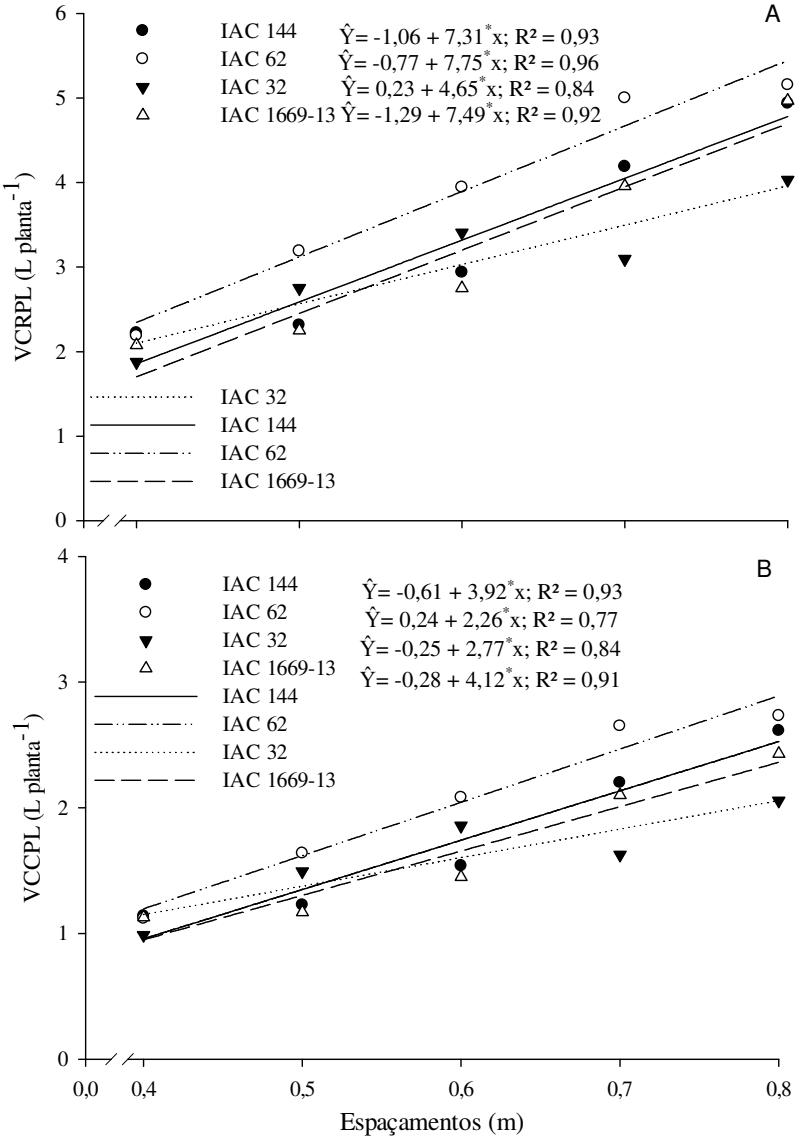

Figura 2 – Desdobramento do efeito de cultivar dentro de espaçamentos sobre A - volume de café da roça e B – volume de café em coco por planta na safra 2013, em Rio Paranaíba, MG. Regressões ajustadas, coeficientes de determinação e ** e *: significância dos coeficientes a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

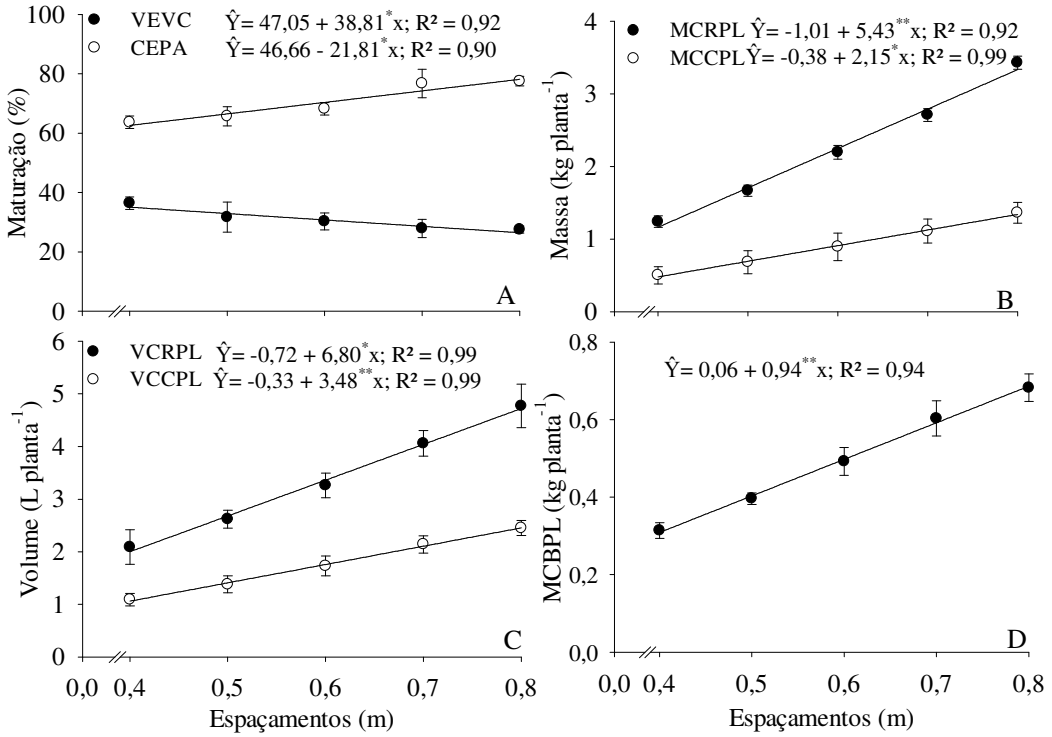

Figura 3 – Efeito do fator espaçamento sobre as variáveis: A – café verde + verde-cana (VEVC), café cereja + passa (CEPA); B – massa de café da roça (MCRPL) e em coco (MCCPL); C – volume de café da roça (VCRPL) e em coco (VCCPL) e D – massa de café beneficiado por planta (MCBPL), na safra 201, em Rio Paranaíba, MG. Regressões ajustadas, coeficientes de determinação e ** e *: significância dos coeficientes a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. Os valores referem-se à média ± erro padrão da média, n =16.

Paulo et al., (2005), trabalhando com 29 progênies de *Coffea arabica* em sistemas de plantio convencional (2.631 plantas ha^{-1}) e adensado (9.259 plantas ha^{-1}), também constataram aumento na produtividade em função do aumento da densidade de plantio, e concluíram, independentemente da progênie, que a produtividade inicial no sistema adensado foi maior que no sistema convencional. Ressaltaram ainda que essas diferenças desapareceram com a idade da lavoura.

Na safra 2013, com a redução de 0,8 m para 0,4 m no espaçamento entre plantas ocorreu uma redução de 376 g de café beneficiado por planta. Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al., (2011), que durante oito colheitas consecutivas observaram uma queda média de cerca de 215 g de café beneficiado por planta com a redução de 0,5 m no espaçamento entre as plantas na linha de plantio. Isso ocorre devido ao menor esgotamento individual das plantas em condições de adensamento (Barros et al., 1995).

Ainda em 2013, independentemente do espaçamento, verificou-se efeito das cultivares sobre algumas variáveis (Tabela 1). As menores porcentagens de VEVC (~23%) e, consequentemente, as maiores de CEPA (~77%), foram observadas para as cultivares IAC 144 e IAC 62, não havendo diferenças significativas entre elas, quando comparadas com as demais cultivares (Figura 4-A).

A cultivar IAC 62 apresentou produção por planta (0,58 kg; Figura 4-B) e por área (41 sc ha^{-1}; Figura 4-C) superiores às demais cultivares (0,46 kg e 34 sc ha^{-1}, respectivamente), entre as quais não houve diferenças significativas, mesmo apresentado RENDA inferior, por exemplo, ao IAC 144 (Figura 4-D).

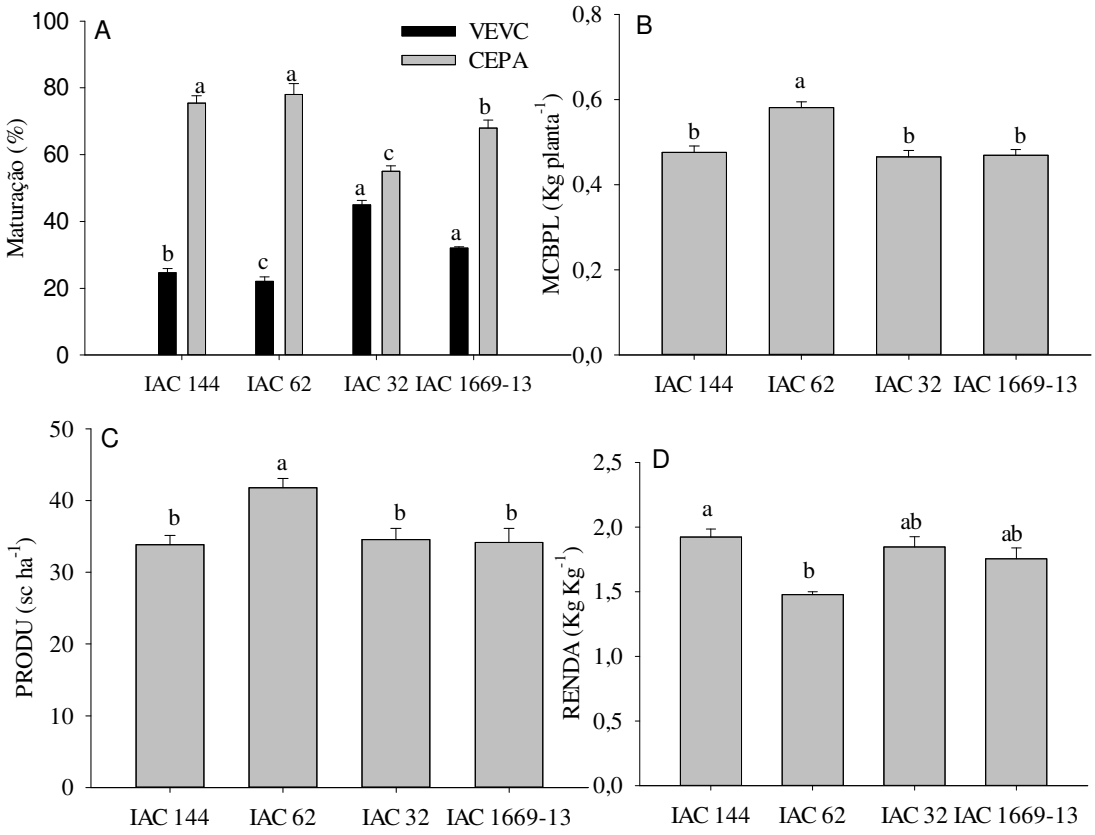

Figura 4 – Efeito do fator cultivar sobre as variáveis A - verde + verde-cana (VEVC) e cereja + passa (CEPA), B - massa de café beneficiado por planta (MCBPL), C - produção de café beneficiado por área (PRODU) e D - renda (RENDA) de café independentemente de espaçamentos, na safra 2013, em Rio Paranaíba-MG. Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média, $n = 20$.

Na safra 2014, não houve interação significativa entre espaçamento e cultivar, em nenhuma das variáveis avaliadas (Tabela 1). Assim como na safra anterior, verificou-se redução da MCRPL e MCCPL (Figura 5-A), do VCRPL e VCCPL (Figura 5-B) e da MCBPL (Figura 5-C) com a redução do espaçamento, independentemente das

cultivares avaliadas, porém sem qualquer efeito sobre a PRODU (Tabela 1). Pereira et al. (2011) também não encontraram diferenças significativas de produtividade em função de diferentes espaçamentos entre as plantas na linha de plantio dos cafeeiros, todavia, a produção individual de cada planta reduziu significativamente, em média, 15% e 59% quando a distância entre as plantas na linha reduziu de 1,0 m para 0,75 m e de 0,75 m para 0,50 m, respectivamente. Para o presente trabalho, a redução de 0,80 m para 0,4 m reduziu a produção por planta em 58%.

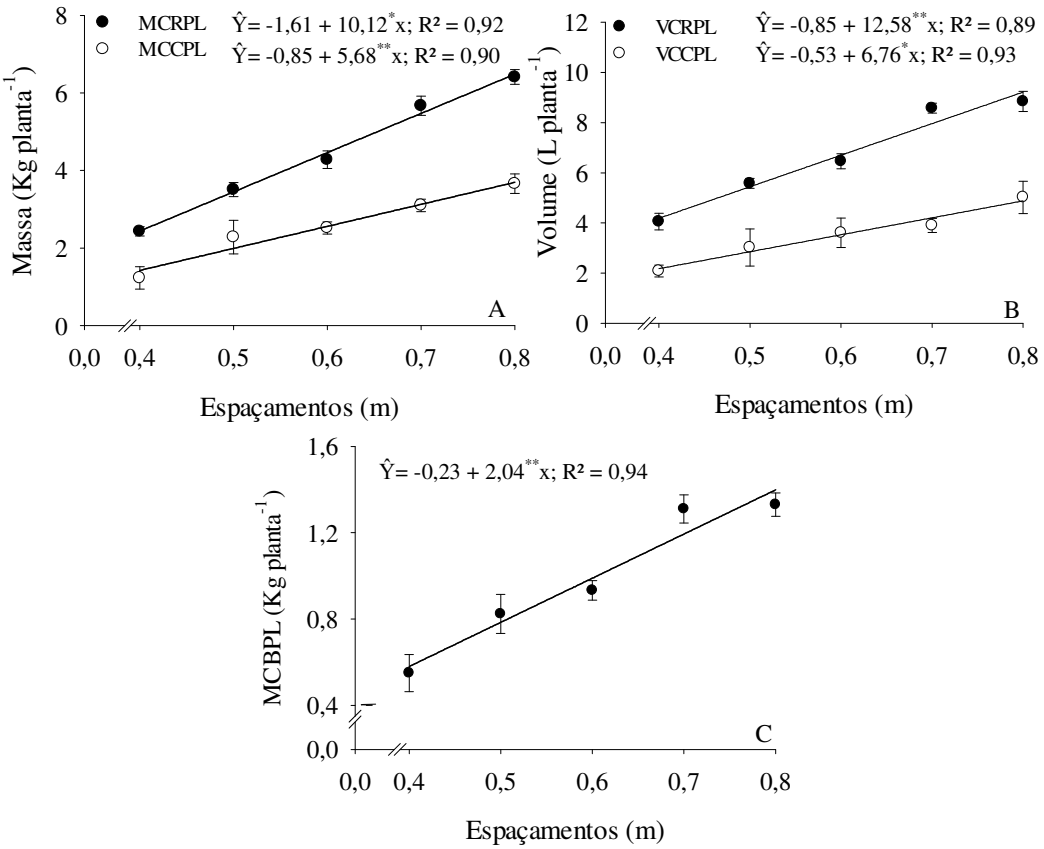

Figura 5 – Efeito do fator espaçamento sobre as variáveis: A – (MCRPL) e em coco (MCCPL); B – volume de café da roça (VCRPL) e em coco (VCCPL) e C – massa de café beneficiado por planta (MCBPL), na safra 2014, em Rio Paranaíba-MG. Regressões ajustadas, coeficientes de determinação e ** e *: significância dos coeficientes a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Os valores referem-se à média ± erro padrão da média, *n* =16.

Quanto à maturação dos frutos, independentemente de espaçamentos, a cultivar IAC 32, seguida pela cultivar IAC1669-13, apresentaram as maiores médias de VEVC, 58% e 48%, respectivamente. A menor média de porcentagem de VEVC (40%) foi observada na cultivar IAC 62 (Figura 6-A).

A cultivar IAC 62 apresentou também VCRPL e VCCPL 21% (Figura 6-B) e MCBPL e PRODU 22% superiores às médias das cultivares IAC 144 e IAC1669-13 (Figura 6-C e 6-D). Além disso, a cultivar IAC 62 apresentou renda 21% inferior àquela da cultivar IAC 144, demonstrando assim alta adaptabilidade na produção de frutos, independentemente dos espaçamentos entre plantas (Carvalho, 2008).

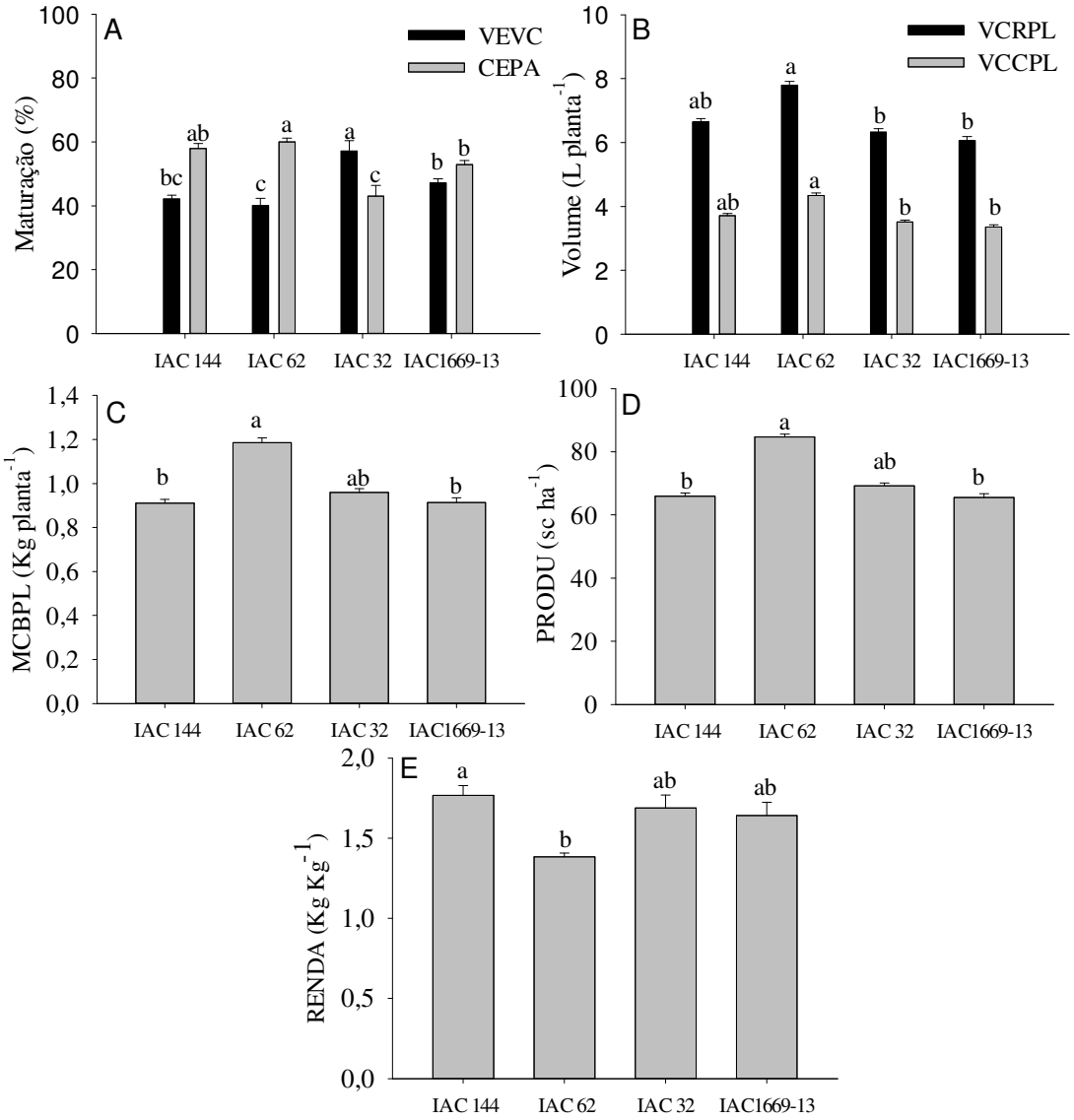

Figura 6 – Efeito do fator cultivar sobre as variáveis A - verde + verde-cana (VEVC) e cereja + passa (CEPA), B - volume de café da roça (VCRPL) e em coco (VCCPL) por planta, C - massa de café beneficiado por planta (MCBPL), D - produtividade (PRODU) e G - renda (RENDA) de café independentemente de espaçamentos, na safra 2014, em Rio Paranaíba-MG. Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média, $n = 20$.

Corroborando com esses dados, Botelho et al. (2010), trabalhando com estabilidade e adaptabilidade fenotípica de 20 cultivares, constaram que a cultivar IAC 62 foi uma das mais promissoras, destacando-se entre as mais produtivas em comparação, por exemplo, com a cultivar IAC 144. Dessa forma, esses autores concluíram que essa cultivar apresentou estabilidade e adaptabilidade à alta média de produtividade, em ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Em ambas as safras, não houve efeito significativo dos fatores cultivar, espaçamento e das suas interações sobre as peneiras, cujas médias gerais são apresentadas na Figura 7. Todavia, Botelho et al. (2010) encontraram diferenças entre a porcentagem de grãos chatos (peneiras 17 acima) entre as cultivares IAC 144 (44%) e IAC 32 (37%) e inferiores às médias encontradas nesse trabalho. Essa diferença pode estar associada à disponibilidade hídrica em fases importantes da frutificação, pois segundo Camargo et al., (1987), o período de 10 a 17 semanas após o florescimento, considerado de expansão rápida do fruto, a disponibilidade hídrica é fator determinante no tamanho final dos grãos. Dessa forma, as disponibilidades hídrica e mineral promovidas pela fertirrigação no presente experimento podem ter colaborado com essa porcentagem relativamente maior de grãos chatos em ambas as safras.

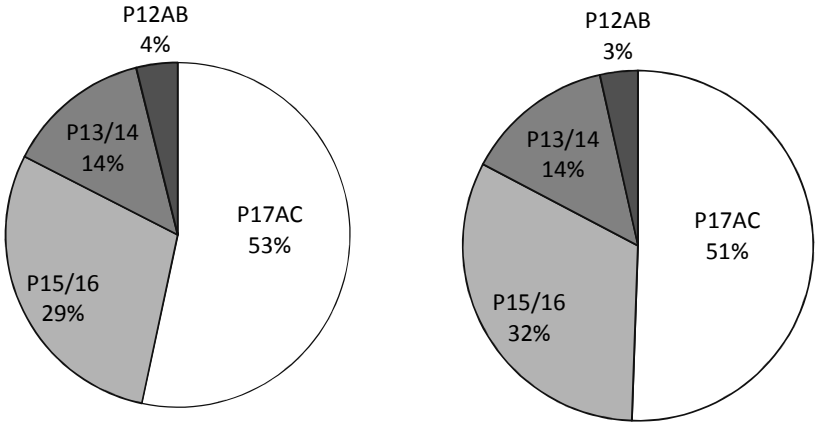

Figura 7 – Médias gerais dos tratamentos para as variáveis peneiras 17 acima (17AC), peneiras 15+16 (P15/16), peneiras 13+14 (P13/14), peneiras 12 abaixo (P12AB), avaliadas nas safras 2013 (esquerda) e 2014 (direita), em Rio Paranaíba-MG. Médias expressas em porcentagem em relação ao peso total da amostra.

Para as avaliações de ramos feitas em abril de 2013, houve efeito da interação entre cultivares e espaçamento apenas para variável número de frutos por ramo (NFr). Verificou-se aumento linear no NFr com o aumento do espaçamento entre plantas, para todas as cultivares avaliadas, porém esse efeito foi mais marcante nas cultivares IAC 32 e IAC 1669-13 (Figura 8). Caracteriza-se, portanto, elevada influência dos espaçamentos na produção de frutos por ramo, com variações entre cultivares.

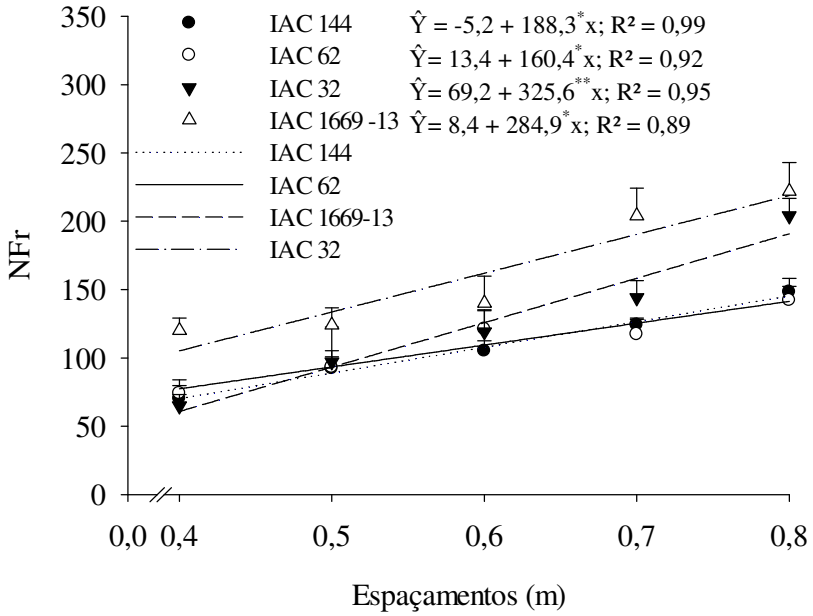

Figura 8 – Desdobramento do efeito de espaçamento dentro de cultivares sobre o número de frutos por ramo (NFr), avaliado em abril de 2013, em Rio Paranaíba, MG. Regressões ajustadas, coeficientes de determinação e ** e *: significância dos coeficientes a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. Os valores referem-se à média ± erro padrão da média, *n* =4.

Trabalhando com efeito do espaçamento entre linhas e na linha sobre a produtividade do cafeeiro, Pereira et al. (2011) também observaram incremento na produção por planta nos dois primeiros anos de produção, com o aumento no espaçamento entre as plantas na linha, o que pode ser explicado, portanto, pelo maior número de frutos por ramo, como evidenciado no presente trabalho. É importante ressaltar que o número de frutos por ramo plagiotrópico, que é o resultado da multiplicação do número de nós por ramo pelo número de frutos por nó (ou roseta) é um dos principais componentes de produção do cafeeiro, além da massa seca por fruto, do número de ramos por planta e do número de plantas por hectare (Cannelll, 1973;

DaMatta et al., 2007). Assim, considerando que o número de nós/ramo não foi afetado pelos espaçamentos, conclui se que houve uma redução no número de frutos/nó.

De fato, ao se avaliar o efeito isolado do espaçamento sobre as variáveis relacionadas ao crescimento do ramo plagiotrópico, verificou-se que a matéria seca total do ramo plagiotrópico aumentou com o aumento do espaçamento (Figura 9-A), em função de aumento proporcional na matéria seca de frutos (Figura 9-B), e não das demais partes constituintes do ramo. Isso quer dizer que houve maior partição de matéria seca para frutos, em detrimento a folhas e ramo, fato este claramente confirmado pelo aumento linear na razão de massa de frutos (Figura 9-E), ao passo que a de ramos (Figura 9-C) e folhas (Figura 9-D) reduziram-se com o aumento do espaçamento. Nas fases de expansão rápida do fruto e de acúmulo de matéria seca nos grãos, os frutos restringem a expansão do ramo, o numero de nós e o ganho de área foliar (Castro et al., 2002), pois atuam como drenos prioritários em cafeeiros durante o período de granação (Laviola et al., 2007).

Uma vez que não foi observado efeito de espaçamento sobre a área foliar do ramo plagiotrópico (mesmo com a marcante redução em RMFo com o aumento do espaçamento; Figura 9-D), mas houve grande incremento no número de frutos por ramo (Figura 8), o aumento do espaçamento reduziu linear e significativamente ($P<0,001$) a razão entre a área foliar total do ramo e o número de frutos do ramo (Figura 9-F). Assim, esta razão variou de 22cm^2/fruto no espaçamento de 0,4 m, até 11cm^2/fruto no espaçamento de 0,8 m, independentemente de cultivares e posição do ramo plagiotrópico. Trabalhos clássicos de fisiologia de café (Cannell 1976; 1985) apontam que são necessários 20 cm^2 de folha para cada fruto de café. Chaves et al., (2012), entretanto, demonstraram que o crescimento de ramos e a produção total de frutos, decrescem na medida em que reduz RAFFr, enquanto que a morte de ramos aumenta com redução na RAFFr, evidenciando a competição entre o crescimento vegetativo e reprodutivo, com este prevalecendo sobre o primeiro. No presente trabalho, demonstra-se efeito marcante do espaçamento sobre esta relação (área foliar/fruto). Tomados em conjunto, esses resultados indicam que em lavouras mais adensadas, a marcante menor produção por planta (também verificada por Camargo et al., 2001; Andrade et al., 2014) é acompanhada por uma relação mais adequada na área foliar:fruto (caracterizando, portanto, aumento na relação fonte:dreno), o que pode explicar a menor bienalidade da produção e maior longevidade das plantas nestes cultivos, como sugerido por DaMatta et al. (2007).

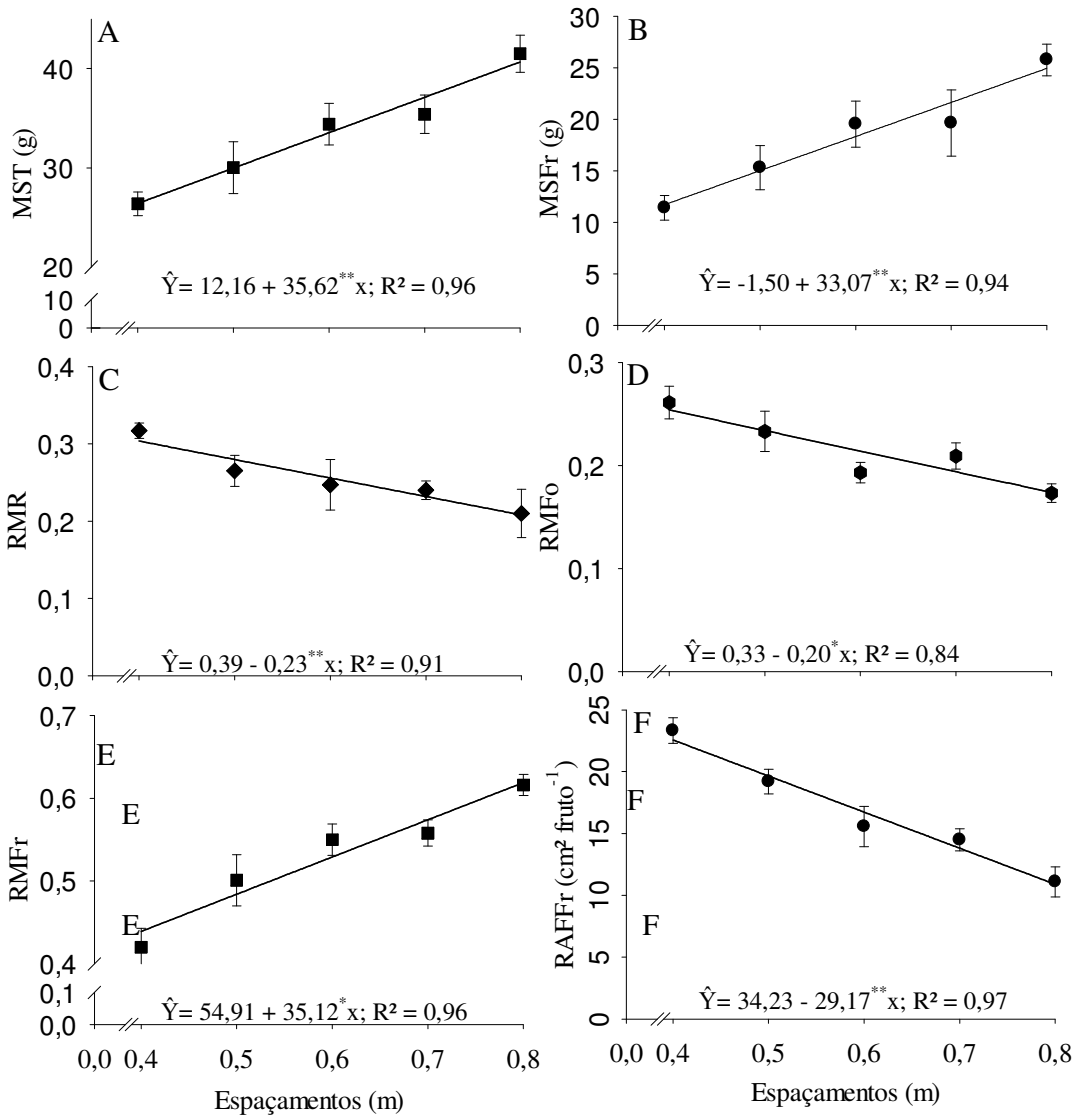

Figura 9 – Efeito do fator espaçamento sobre as variáveis: A - massa seca total do ramo (MST), B - massa seca dos frutos (MSFr), C - razão de massa do ramo (RMR), D - razão de massa de folhas (RMFo), E - razão de massa de frutos (RMFr) e F - razão entre a área foliar total do ramo e o número de frutos do ramo (RAFFr) em abril de 2013, em Rio Paranaíba, MG. Regressões ajustadas, coeficientes de determinação e ** e *: significância dos coeficientes a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Os valores referem-se à média ± erro padrão da média, *n* =16.

Avaliando-se o fator posição do ramo plagiotrópico, independentemente de cultivares e espaçamentos, verificou-se que ramos na posição 2 (ramos voltados para a entrelinha) apresentaram comprimento 4% superior (Figura 10-A) e razão de área foliar por fruto 14% inferior (Figura 10-B) àqueles da posição 1 (ramos paralelos à linha, portanto voltados para o interior da copa). A maior intensidade luminosa parece ter influenciado positivamente essas características. Segundo Rodríguez-López et al., (2014) alterações morfológicas (áreas foliar específica e razão de área foliar), são

responsivas principalmente à quantidade de luz total e não flutuações de luz diurna ou a qualidade da luz, a um determinado fornecimento de luz.Esses resultados corroboram com os de Chaves et al. (2012), que trabalhando com RAFFr's em diferentes posições do dossel (superior leste, inferior leste, superior oeste e inferior oeste) observaram que dentro de uma mesma posição existe uma variabilidade notável de RAFFr's nos ramos. Neste caso, foram identificados ramos que apresentavam três diferentes classes de RAFFr (0 a 6 ; 6,1 a 14 e >14 cm^2 $fruto^{-1}$) em cada uma das quatro posições avaliadas.

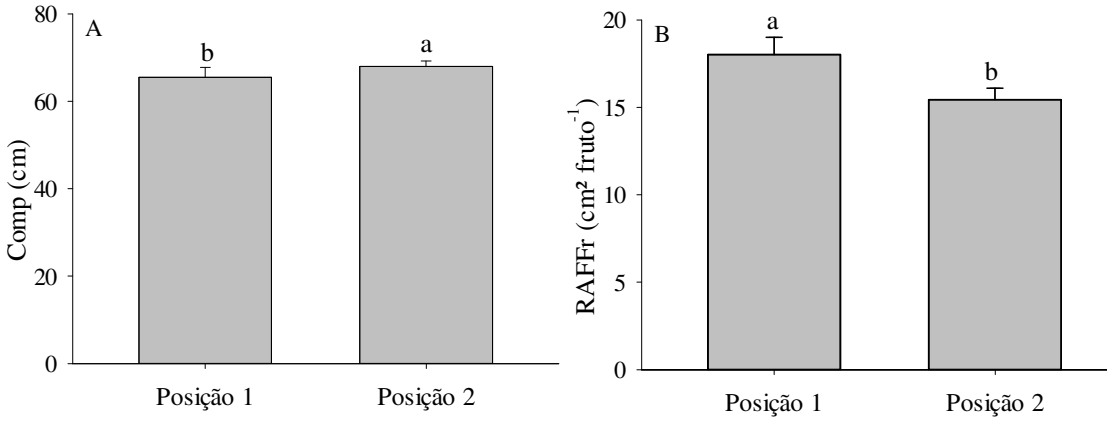

Figura 10 - Efeito do fator posição do ramo sobre as variáveis: A - Comprimento do ramo (Comp) e B - razão entre a área foliar total do ramo e o número de frutos do ramo (RAFFr) em abril de 2013, em Rio Paranaíba, MG. Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média n = 40. Posição 1: paralelamente à linha de plantio, Posição 2: perpendicularmente à linha de plantio.

Ao se avaliar o efeito isolado de cultivares sobre as variáveis relacionadas ao crescimento do ramo plagiotrópico, verificou-se que a cultivar IAC 1669-13 apresentou desempenho contrastante com as demais cultivares do grupo Catuaí. A matéria seca total do ramo plagiotrópico foi superior nesta cultivar em função de aumento proporcional na matéria seca de folhas e frutos e não na matéria seca do ramo (Figura 11-A). O comprimento do ramo e a razão de massa de frutos também foram superiores em detrimento da razão de ramos nessa cultivar (Figura 11-B e 11-C). Apesar do menor NFo (Figura 11-D) em relação às cultivares IAC 144 e IAC 1669-13, a cultivar IAC 62 apresentou área foliar específica superior às cultivares IAC 144 e IAC 1669-13 (Figura 11-E).

A RAFFr foi idêntica as demais cultivares do grupo Catuaí (18cm² fruto^{-1}), bem próxima da relação ideal de 20 cm² fruto^{-1} (Cannell,1976), diferentemente da cultivar IAC 1669-13, que apesar de apresentar destaque na maioria das variáveis de crescimento do ramo (citadas acima), apresentou RAFFr (13 cm² fruto^{-1}) relativamente inferior (Figura 11-F).

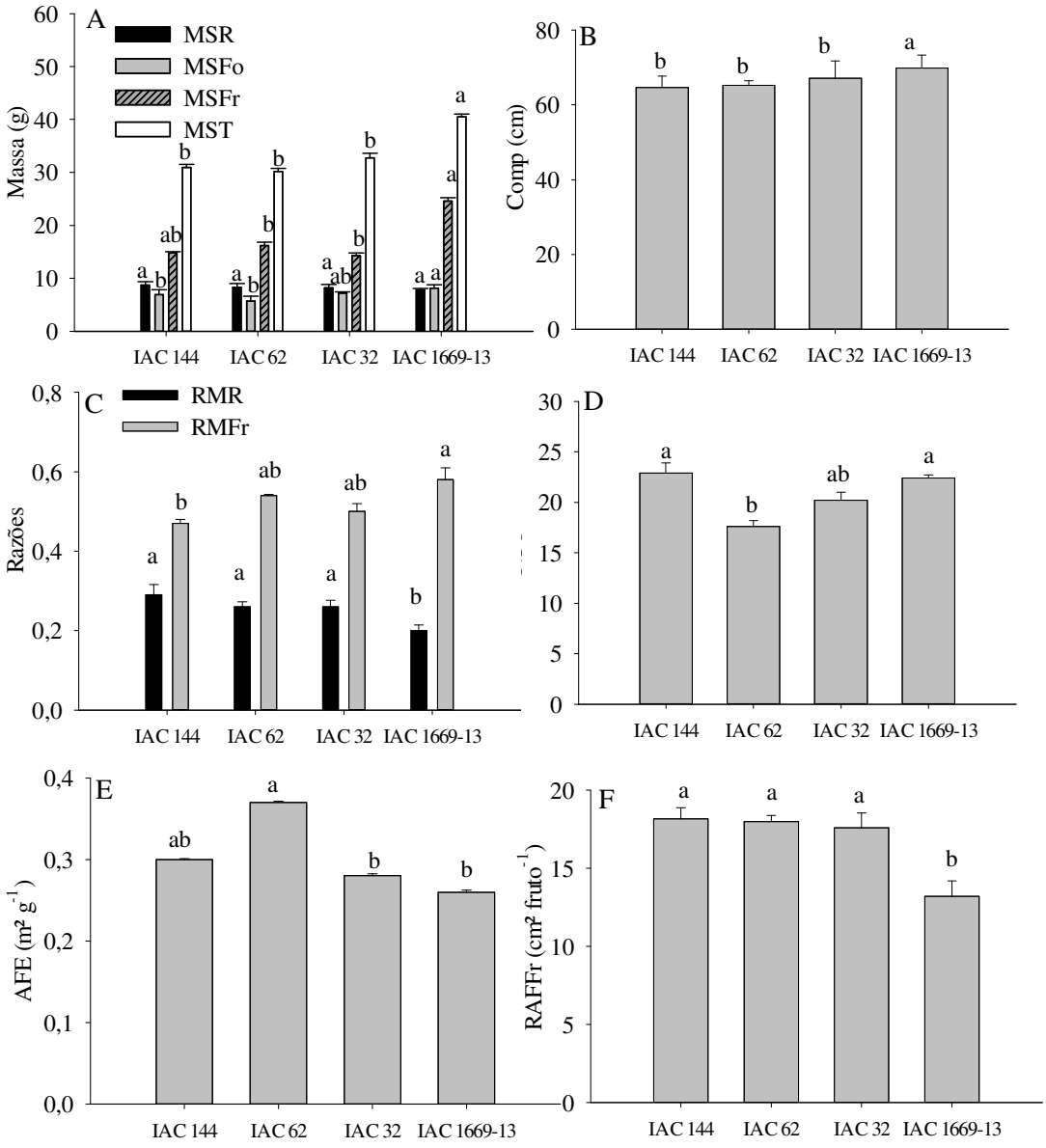

Figura 11 – Efeito do fator cultivar sobre as variáveis: A - Comprimento do ramo (Comp), B - massa seca de folhas (MSFo), de frutos (MSFr), e total do ramo plagiotrópico (MST), C – razão de massa do ramo (RMR) e razão de massa de frutos (RMFr) D - número de folhas do ramo (NFo); E – Área foliar específica (AFE) e razão entre a área foliar total do ramo e o número de frutos do ramo (RAFFr) em abril de 2013, em Rio Paranaíba, MG. Colunas seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média, n = 20.

As respostas diferenciadas para cada variável demonstram a elevada plasticidade e adaptabilidade apresentada pelas cultivares de *Coffea arabica* frente às condições ambientais a que são impostas (Botelho et al., 2010; Nascimento et al., 2010). Todavia, é possível notar certa similaridade no desempenho das linhagens do grupo dos Catuaís.

Em abril de 2013, os teores de clorofilas *a* e de carotenóides foram superiores em 21 e 32%, respectivamente, nos ramos voltados para a entrelinha em comparação àqueles voltados para a linha (no interior da copa), porém apenas na cultivar Catuaí Amarelo IAC 62, independente de espaçamentos (Tabela 2). O maior nível de pigmentos, sobretudo de carotenoides, pode estar relacionado a mecanismos de fotoproteção (Morosinotto et al., 2003; Horton et al., 2008) nesses ramos mais expostos, o que poderia contribuir para explicar uma maior produção no IAC 62, mesmo porque não se observou nenhuma alteração significativa nas taxas fotossintéticas (e nas trocas gasosas como um todo) em função dos fatores investigados (dados não apresentados).

Tabela 2- Interação entre os fatores cultivar e posição do ramo sobre os teores de clorofila *a* e de carotenoides em Abril de 2013 em Rio Paranaíba-MG.

	Posição do ramo		
Cultivares	Posição 1	Posição 2	Média
	Teor de clorofila a (mmol m^{-2})		
Catuaí Vermelho IAC 144	3,63Aa	3,83Aa	3,73
Catuaí Amarelo IAC 62	3,38Ab	4,31Aa	3,84
Catuaí Amarelo IAC 32	3,90Aa	3,93Aa	3,91
Tupi RN IAC 1669-13	3,99Aa	3,86Aa	3,92
Média	3,72	3,98	3,85
	Teor de carotenóides (mmol m^{-2})		
Catuaí Vermelho IAC 144	1,04Aa	1,17Aa	1,10
Catuaí Amarelo IAC 62	0,96Ab	1,42Aa	1,19
Catuaí Amarelo IAC 32	1,20Aa	1,14Aa	1,17
Tupi RN IAC 1669-13	1,20Aa	1,20Aa	1,20
Média	1,10	1,23	1,16

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Posição 1: em ramos posicionados paralelamente à linha de plantio; Posição 2: perpendicularmente à linha de plantio.

Nessa mesma época, em folhas expostas (portanto a pleno sol ou mais externas à copa), não foram observados mecanismos efetivos (como redução em ϕ_{PSII}) para proteger a maquinaria fotossintética contra irradiâncias potencialmente estressantes (Rodríguez-Calcerrada et al., 2008) (Figura 18). Todavia, o maior teor de carotenoides, mesmo que apenas para a cultivar IAC 62, pode explicar pelo menos em parte, sua

maior adaptabilidade, uma vez que esses pigmentos desempenham a função de agentes antioxidantes e fotoprotetores por dissipação do excesso de energia (Janhs & Holzwarth, 2012). Uma vez que não houve efeito do fator espaçamento sobre os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* (dados não apresentados), acredita-se que as variações de produção por planta, em função das variações do espaçamento, não têm associação com a atividade fotoquímica do FSII.

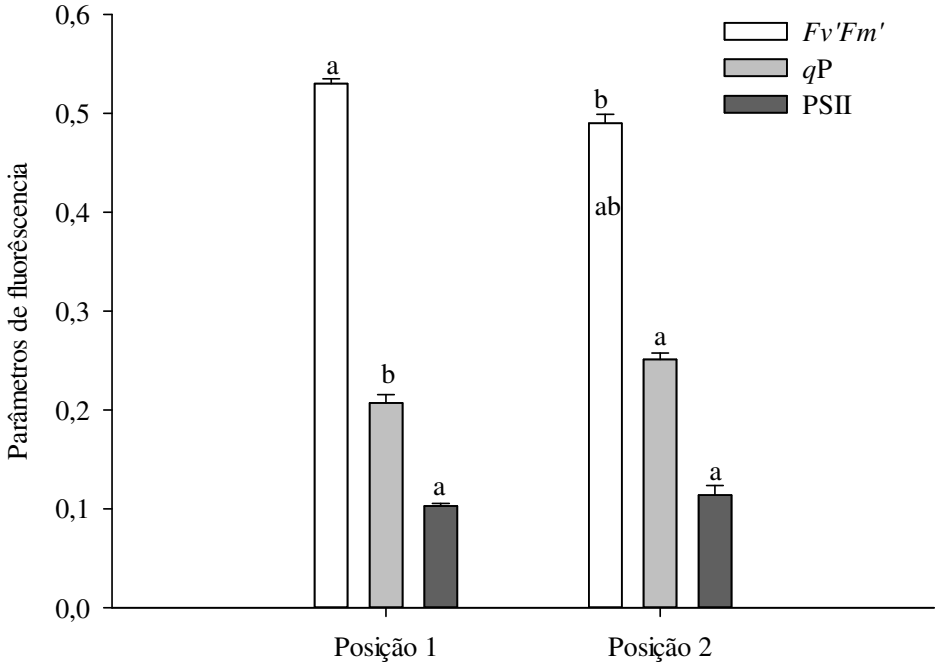

Figura 12 - Eficiência de captura de energia de excitação pelos centros de reação abertos do PSII (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímica (*q*P) e rendimento quântico do transporte de elétrons através do PSII (ϕ_{PSII}) em folhas de *Coffea arabica*, independentemente de espaçamento e da cultivar em abril de 2013 em Rio Paranaíba-MG. Colunas de mesma cor seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média, *n* = 40.

Na avaliação de ramos em dezembro de 2013, verificou-se que o incremento no NFr, em função do aumento do espaçamento entre plantas, ocorreu a taxas diferenciadas dependendo da cultivar (Figura 13-A) e da posição do ramo na planta (Figura 13-B). O NFr respondeu mais ao aumento do espaçamento nas cultivares IAC 144 e IAC 62, em comparação às demais e, principalmente, em ramos voltados para a entrelinha. Dentro do mesmo espaçamento, não se verificou diferenças significativas no Nfr entre as cultivares, independentemente da posição do ramo, ao passo que no espaçamento de 0,8 m, o Nfr foi maior (24%) em ramos voltados para a entrelinha (posição 2), independentemente das cultivares (Tabela 3).

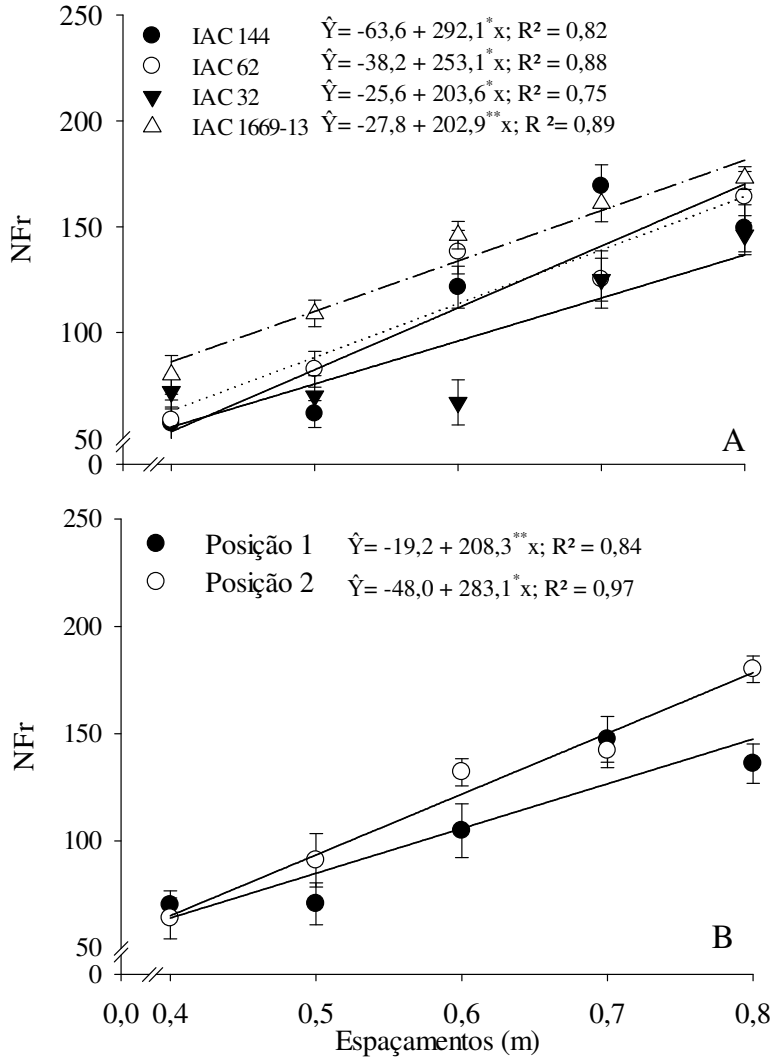

Figura 13 - A- Desdobramento do efeito de cultivar e posição do ramo na planta, dentro de espaçamentos, sobre o número de frutos por ramo (NFr) em dezembro de 2013, Rio Paranaíba, MG. Regressões ajustadas, coeficientes de determinação e ** e *: significância dos coeficientes a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Os valores referem-se à média ± erro padrão da média; A: *n* =4 e B: *n* =8.

Um provável menor número de gemas/roseta, devido a menor profusão floral causada pelo autosombreamento (Canell, 1985) parece explicar a redução do número de frutos por ramo, haja vista que o número de nós por ramo não se alterou em função do espaçamento (dados não apresentados), em nenhuma das épocas avaliadas.

Dessa forma, parece que tanto o maior autosombreamento, quanto as condições de microclima criadas no menor espaçamento, afetaram a frutificação. Conforme demonstrado por Fahl et al. (2009), que trabalharam com o efeito dos níveis de luz na intensidade de frutificação do cafeeiro, o sombreamento antecipou o desenvolvimento das gemas e a abertura dos botões florais, em relação às plantas cultivadas a pleno sol,

mas nesse último tratamento, o desenvolvimento e maturação dos frutos foram mais rápidos.

Tabela 3 – Desdobramento do efeito de cultivar e espaçamentos e posições do ramo e espaçamentos sobre o número de frutos por ramo, em dezembro de 2013, em Rio Paranaíba-MG.

	Espaçamentos (m)					
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	Média
	Cultivares					
Catuaí Vermelho IAC 144	57A	61A	121A	169A	149A	111
Catuaí Amarelo IAC 62	58A	82A	138A	125A	164A	113
Catuaí Amarelo IAC 32	72A	70A	67A	125A	146A	96
Tupi RN IAC 1669-13	80A	109A	146A	161A	173A	134
Média	66,75	80,5	118	145	158	123,1
	Posição do ramo					
Posição 1	70A	70A	104A	147A	136B	105
Posição 2	64A	91A	132A	142A	180A	121
Média	67	80	118	144	158	113

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na avaliação de dezembro, independentemente de cultivares e posição do ramo na planta, verificou-se que mesmo com o aumento no número de folhas do ramo (Figura 14-A), houve um decréscimo linear tanto na RAFFr (Figura 14-B) como na razão MSFr/NFr (Figura 14-C), com o aumento do espaçamento, devido ao forte aumento no número de frutos por ramo (Figura 13-A). Verificou-se, portanto, decréscimo de 4,0 cm^2 de área foliar por fruto para cada 0,1 m de incremento no espaçamento.

Vaast et al. (2006) demonstraram que quando a carga de frutos é alta, há competição por carboidratos entre os frutos, fato que afeta fortemente o tamanho final do grão, a composição bioquímica e a qualidade da bebida. Porém, nesse experimento, para sustentar uma alta carga de frutos em espaçamentos mais amplos, com uma baixa RAFFr, a massa dos drenos parece ter sido reduzida, porém sem influenciar o tamanho final da semente, conforme avaliado nas peneiras da safra 2014 (Figura 7). De qualquer forma, é importante registrar que em dezembro de 2013 os frutos ainda não haviam entrado na fase de intensa demanda de carboidratos, o que se verificaria posteriormente, na granação (Morais et al., 2008).

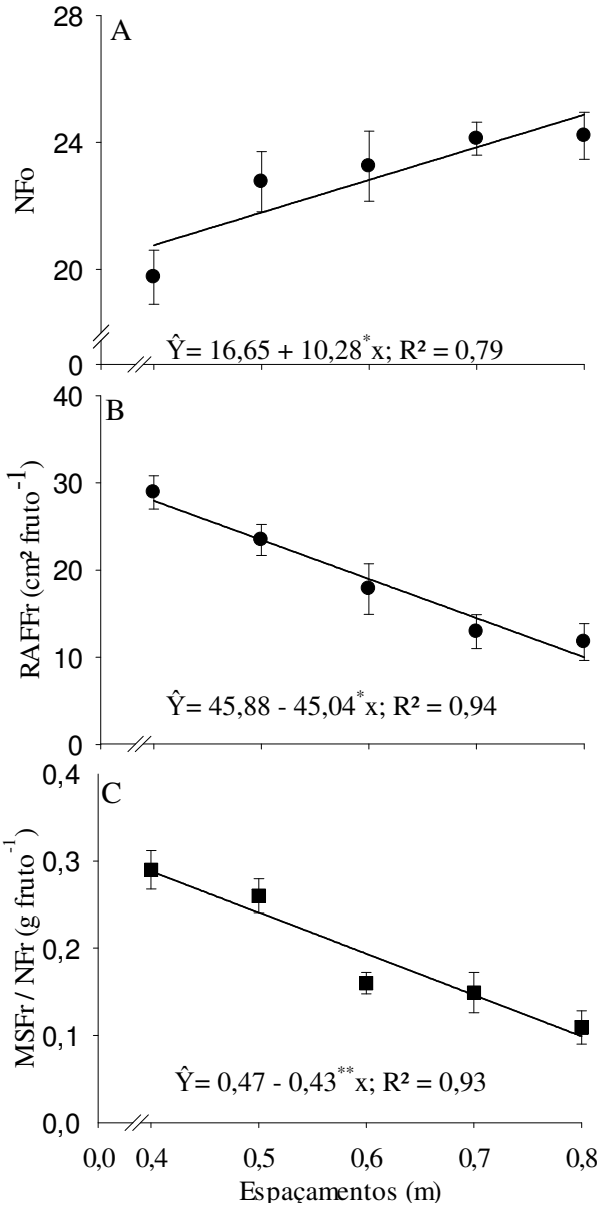

Figura 14 - Efeito do fator espaçamento sobre o número de folhas por ramo (NFo), razão de área foliar por fruto (RAFFr) e razão da massa de frutos pelo número de frutos (MSFr/NFr), em dezembro de 2013, em Rio Paranaíba, MG. Regressões ajustadas, coeficientes de determinação e ** e *: significância dos coeficientes a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. Os valores referem-se à média ± erro padrão da média, *n* = 16.

Independentemente de espaçamento e posição do ramo, a cultivar IAC 1669-13 se destacou em relação às cultivares do grupo dos Catuaís no comprimento do ramo (Figura 15-A), massa seca total e das partes constituintes do ramo (Figura 15-B), razão de massa de frutos (Figura 15-D) e área foliar total do ramo (figura 15-E). Todavia, essa cultivar apresentou produtividade inferior à cultivar IAC 62 (Safra 2014), que teve desempenho inferior nas avaliações de crescimento do ramo citadas acima. A cultivar

IAC 32 apresentou número de folhas por ramo superior as cultivares IAC 62 e IAC 1669-13 (Figura 15-C), todavia a cultivar IAC 1669-13 apresentou maior área foliar do ramo, enquanto a IAC 62 apresentou a menor área foliar entre as cultivares (Figura 15-E). Apesar dessas diferenças entre cultivares no NFo e AFO, a área foliar específica não foi influenciada por esse fator (dados não apresentados).

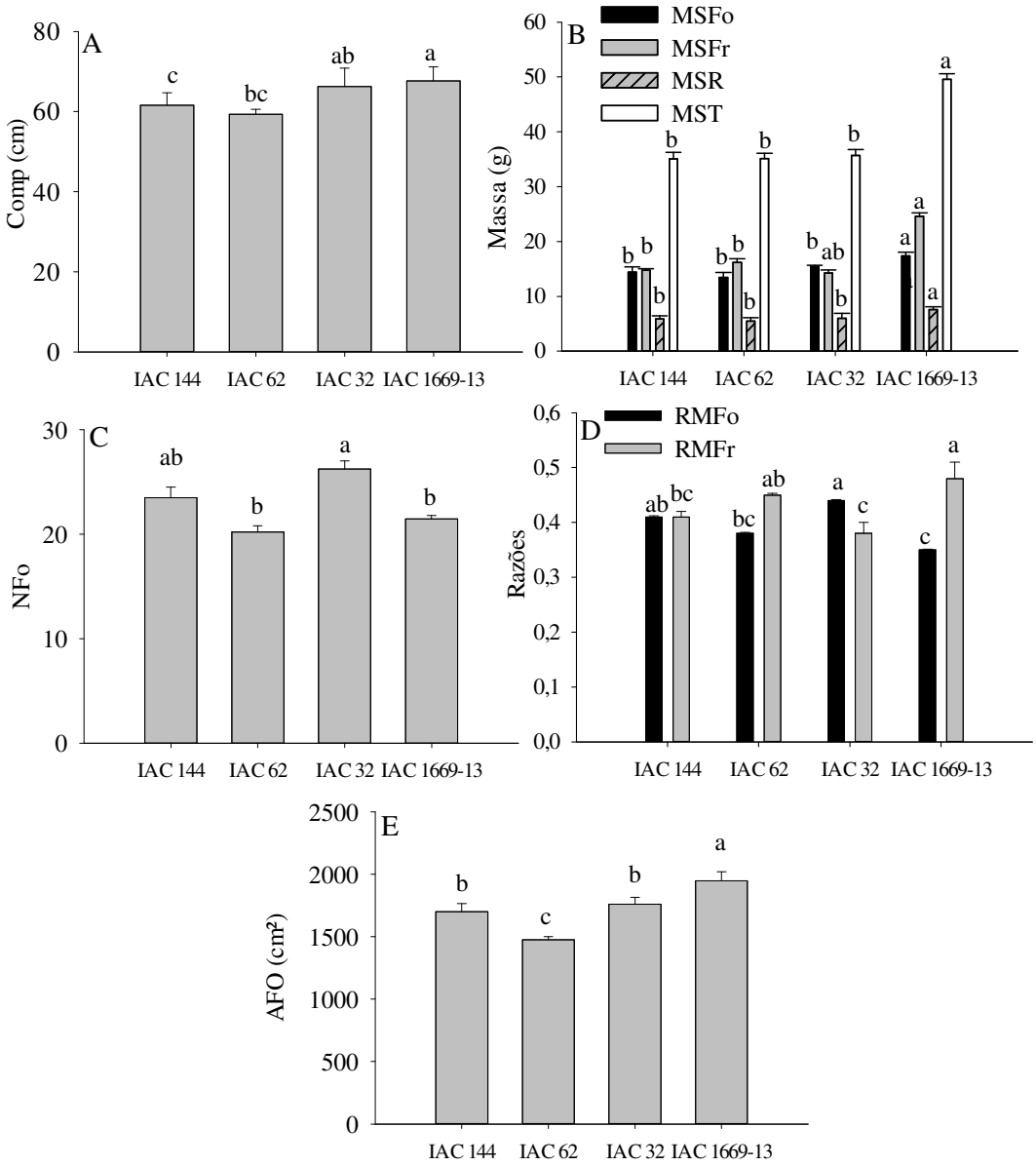

Figura 15 - Efeito do fator cultivar sobre as variáveis: A - Comprimento do ramo (Comp); B - massa seca dos folhas (MSFo), massa seca dos frutos (MSFr), massa seca do ramo (MSR) massa seca total do ramo (MST); C - número de folhas por ramo (NFo); D - razão de massa de frutos (RMFr), razão de massa de folhas (RMFo) e E – área foliar do ramo (AFTR), em dezembro de 2013, em Rio Paranaíba-MG. Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média, $n = 20$.

Registre-se que as variáveis acima relacionadas podem afetar indiretamente a produtividade da lavoura, mas não se constituem em componentes de produção do cafeeiro (Cannell, 1973; 1975; DaMatta et al., 2007). Dessa forma, esses resultados em conjunto demonstram mais uma vez a elevada adaptabilidade produtiva da cultivar IAC 62, conforme demonstrado por Botelho et al., (2010).

Os estudos anatômicos das folhas de *Coffea arabica* coletadas em diferentes tratamentos revelaram que elas são caracterizadas por padrão dorsiventral, com mesofilo constituído de parênquima paliçádico (face adaxial) e parênquima lacunoso (face abaxial), epiderme revestida por cutícula, além de serem hipoestomáticas.

Nas avaliações da anatomia foliar feitas em dezembro de 2013, houve efeito da interação entre espaçamentos e cultivares sobre a espessura do mesofilo (PP + PL) e, consequentemente, sobre a espessura da lamina foliar (Tabela 5). Os aumentos na espessura de PP, PL e da lâmina foliar foram verificados na cultivar IAC 32 no espaçamento de 0,8 m, enquanto a cultivar IAC 1669-13 apresentou redução dessas variáveis. Os maiores valores de para os parênquimas paliçádico e lacunoso podem conferir uma maior capacidade fotossintética, podendo ser um fator favorável em condições de maior radiação incidente (Castro et al., 2009). Todavia, nesse trabalho, as taxas fotossintéticas e o teor de pigmentos fotossintéticos não foram influenciados pelos tratamentos (dados não apresentados), apesar da variação de magnitude da radiação incidente, de 477 µmol de fótons m^{-2} s^{-1} no espaçamento de 0,4 m a 756 µmol de fótons m^{-2} s^{-1} no espaçamento de 0,8 m (dados não apresentados).

Constatou-se que a espessura da parede periclinal externa da epiderme adaxial foi 12% superior no espaçamento de 0,8 m (5,45 µm), quando comparado ao espaçamento de 0,4 m (4,80 µm), independentemente de cultivares, demonstrando que a redução de 0,4 m no espaçamento entre plantas pode reduzir a espessura de ceras associadas a tecidos de proteção. Em plantas mais espaçadas, uma maior disponibilidade luminosa, está comumente associada ao aumento da espessura da cutícula (Fahl et al., 1994).

Verificaram-se diferenças na epiderme (adaxial e abaxial) e na PPE da EAD. A cultivar IAC 62 apresentou maior espessura da EAD quando comparada às cultivares IAC 32 e IAC 1669-13 e maior espessura da EAB quando comparadas ás cultivares IAC 144 e IAC 1669-13. Todavia, essas diferenças não apresentaram um padrão de resposta que explicasse a maior produtividade dessa cultivar em relação às demais.

Tabela 4 – Análise de variância para os fatores cultivar e espaçamento entre plantas e suas interações sobre a micromorfometria foliar de *coffea arabica*: parede periclinal externa da face adaxial (PPEAD), epiderme da face adaxial (EAD), parênquima paliçádico (PP), parênquima lacunoso (PL), epiderme da face abaxial (EAB) parede periclinal da face abaxial (PPEAB), espessura da lâmina foliar (ELF), índice estomático (IE) e densidade estomática (DE), em dezembro de 2013 e abril de 2014, em Rio Paranaíba-MG.

		Valores de F								
FV	**GL**	**PPEAD**	**EAD**	**PP**	**PL**	**EAB**	**PPEAB**	**ELF**	**IE**	**DE**
					Dezembro/2013					
Bloco (Cultivar)	3	$1,76^{ns}$	$0,88^{ns}$	$1,98^{ns}$	$1,26^{ns}$	$1,62^{ns}$	$2,51^{ns}$	$1,51^{ns}$	$1,20^{ns}$	$1,13^{ns}$
Espaçamento	4	$4,79^{*}$	$3,01^{ns}$	$0,71^{ns}$	$0,06^{ns}$	$0,56^{ns}$	$0,27^{ns}$	$0,54^{ns}$	$0,77^{ns}$	$0,32^{ns}$
Cultivar	3	$3,60^{*}$	$4,94^{*}$	$2,77^{ns}$	$1,25^{ns}$	$6,08^{**}$	$2,06^{ns}$	$0,45^{ns}$	$5,20^{ns}$	$7,16^{ns}$
C x E	12	$0,22^{ns}$	$3,29^{ns}$	$6,38^{**}$	$12,4^{**}$	$2,47^{ns}$	$3,46^{ns}$	$14,6^{**}$	$1,82^{ns}$	$2,42^{ns}$
CV (%)		16,35	8,98	8,20	8,46	9,56	13,15	6,40	15,19	17,03
					Abril/2014					
Bloco (Cultivar)	3	$1,09^{ns}$	$0,43^{ns}$	$0,91^{ns}$	$0,43^{ns}$	$0,80^{ns}$	$2,09^{ns}$	$0,51^{ns}$	$1,03^{ns}$	$0,96^{ns}$
Espaçamento	4	$46,34^{**}$	$30,02^{**}$	$8,19^{*}$	$24,64^{**}$	$0,28^{ns}$	$0,97^{ns}$	$1,49^{**}$	$2,63^{ns}$	$0,72^{ns}$
Cultivar	3	$0,12^{ns}$	$1,15^{ns}$	$6,40^{ns}$	$0,15^{ns}$	$3,36^{ns}$	$6,64^{ns}$	$38,4^{ns}$	$3,02^{ns}$	$1,74^{ns}$
C x E	12	$0,35^{ns}$	$1,25^{ns}$	$2,69^{ns}$	$2,50^{ns}$	$1,87^{ns}$	$0,27^{ns}$	$3,21^{ns}$	$2,51^{ns}$	$1,23^{ns}$
CV (%)		23,99	16,66	11,12	8,57	16,22	23,45	6,77	13,45	15,94

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; ** e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste *F;* ^{ns}: não significativo; [1]Cultivar dentro de bloco.

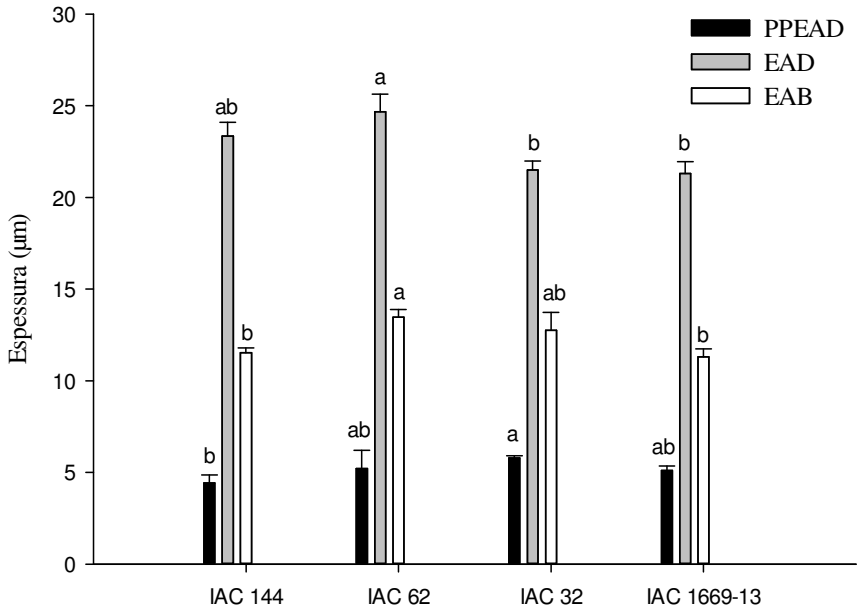

Figura 16 – Espessura da parede periclinal externa da face adaxial (PPEAD), epiderme da face adaxial (EAD), epiderme da face abaxial (EAB) em folhas de *Coffea arabica*, independentemente de espaçamento e da posição do ramo coletadas em dezembro de 2013 em Rio Paranaíba-MG. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média. Colunas da mesma cor seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, $n = 4$.

Tabela 5 – Desdobramento do efeito da interação entre os fatores cultivar e espaçamentos sobre diferentes variáveis de espessura de tecidos (µm) em *Coffea arabica* avaliadas em dezembro de 201 em Rio Paranaíba-MG.

	Espaçamento (m)		
	0,4	0,8	Média
Espessura do parênquima paliçádico (PP)			
Catuaí Vermelho IAC 144	70,6Aa	69,2ABa	69,9
Catuaí Amarelo IAC 62	64,7Aa	68,7ABa	66,7
Catuaí Amarelo IAC 32	60,7Aa	74,3Ab	67,5
Tupi RN IAC 1669-13	67,0Aa	57,3Ba	62,1
Média	65,7	67,3	66,5
Espessura do parênquima lacunoso (PL)			
Catuaí Vermelho IAC 144	209,1ABa	192,2Aa	200,6
Catuaí Amarelo IAC 62	204,1ABa	221,2Aa	212,6
Catuaí Amarelo IAC 32	177,9Bb	232,0Aa	204,9
Tupi RN IAC 1669-13	240,0Aa	191,7Ab	215,8
Média	207,7	209,2	208,4
Espessura da lâmina foliar (ELF)			
Catuaí Vermelho IAC 144	321,1ABa	308,8ABa	314,9
Catuaí Amarelo IAC 62	316,1ABa	338,3ABa	327,2
Catuaí Amarelo IAC 32	282,2Bb	352,7Aa	317,4
Tupi RN IAC 1669-13	350,6Aa	289,8Bb	318,7
Média	317,5	322,4	319,9

Médias na coluna seguidas de mesma letra maiúscula ou na linha seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não foi possível ajustar nenhum modelo de regressão significativo e com lógica biológica, que explicasse o desempenho das variáveis de trocas gasosas em função dos espaçamentos (e das suas interações), para nenhuma cultivares e épocas avaliadas (seja nesta de dezembro de 2013, em pleno crescimento vegetativo, como naquelas feitas em abril, em fase final de granação). Assim, não se verificaram alterações nas medidas instantâneas de *A,* g_s e *E* que justificassem o aumento na produção de café por planta, verificado com o incremento do espaçamento, tanto na safra 2013 (Figura 3-D) como na safra 2014 (Figura 5-C). Não obstante, o maior valor de g_s, observado em dezembro de 2013, na cultivar IAC 62 (Figura 17-A), em comparação às demais cultivares, independentemente de espaçamento e posição do ramo na planta, não se traduziu em aumentos significativos em *A* (Figura 17-B), o que poderia, pelo menos em parte, explicar a maior produtividade verificada no cultivar IAC 62, nas duas safras avaliadas.

O cafeeiro apresenta baixas taxas de assimilação líquida de carbono (Araújo et al., 2008; Chaves et al., 2008; DaMatta et al., 2008). Devido a variações diurnas, predominam-se valores próximos a 4 μmol m^{-2} s^{-1} (Rena et al., 1994). As taxas máximas normalmente são registradas no inicio da manhã e situam-se na faixa de 7 a 12 μmol m^{-2} s^{-1} (Ronchi et al., 2006). No presente experimento, as taxas medidas no início da manhã se mantiveram próximas a essa faixa, com pequena variação entre as cultivares. Fontes de variação fotossintéticas oscilam consideravelmente e estão intimamente ligadas à espécie e aos genótipos específicos dentro de uma mesma espécie, mais ou menos adaptados as restrições do ambiente (Guo et al., 2002).

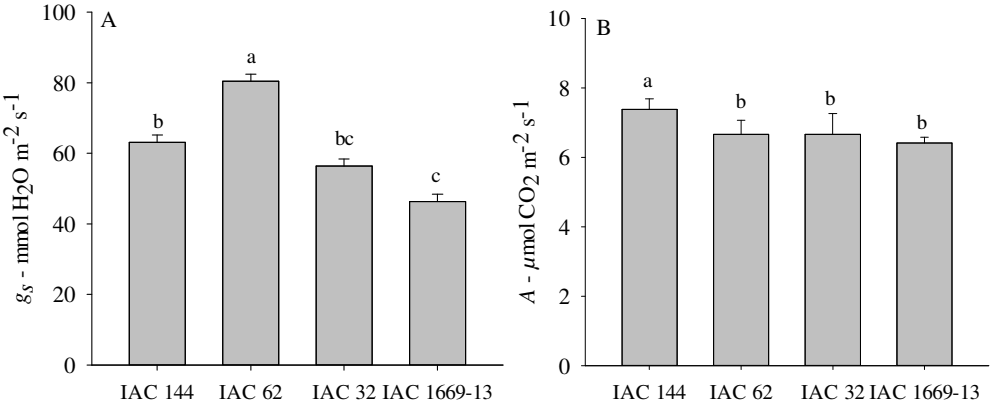

Figura 17 - A - condutância estomática (g_s) e B - taxa de assimilação líquida de carbono (*A*) em folhas de diferentes cultivares de *Coffea arabica*, independentemente de espaçamento e posição do ramo na planta, avaliadas em dezembro de 2013. Rio Paranaíba-MG. Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média, *n* = 20.

Pequenas variações significativas foram observadas nos parâmetros de fluorescência e nos teores de pigmentos entre as cultivares, apenas nas avaliações de dezembro de 2013 (Figura 18-A) e abril de 2014 (Figura 18-B), mas, em todas as épocas avaliadas, não se verificou efeito dos espaçamentos (e de suas interações) sobre a atividade fotoquímica do FSII. Registre-se, entretanto, que as folhas dos ramos voltados para a entrelinha apresentaram maior *q*P que aquelas da linha (portanto, sombreadas), mas isso não se traduziu em aumento em ϕ_{PSII}, pois, inversamente, as folhas voltadas para a entrelinha apresentaram menor Fv´/Fm´ que as da linha.

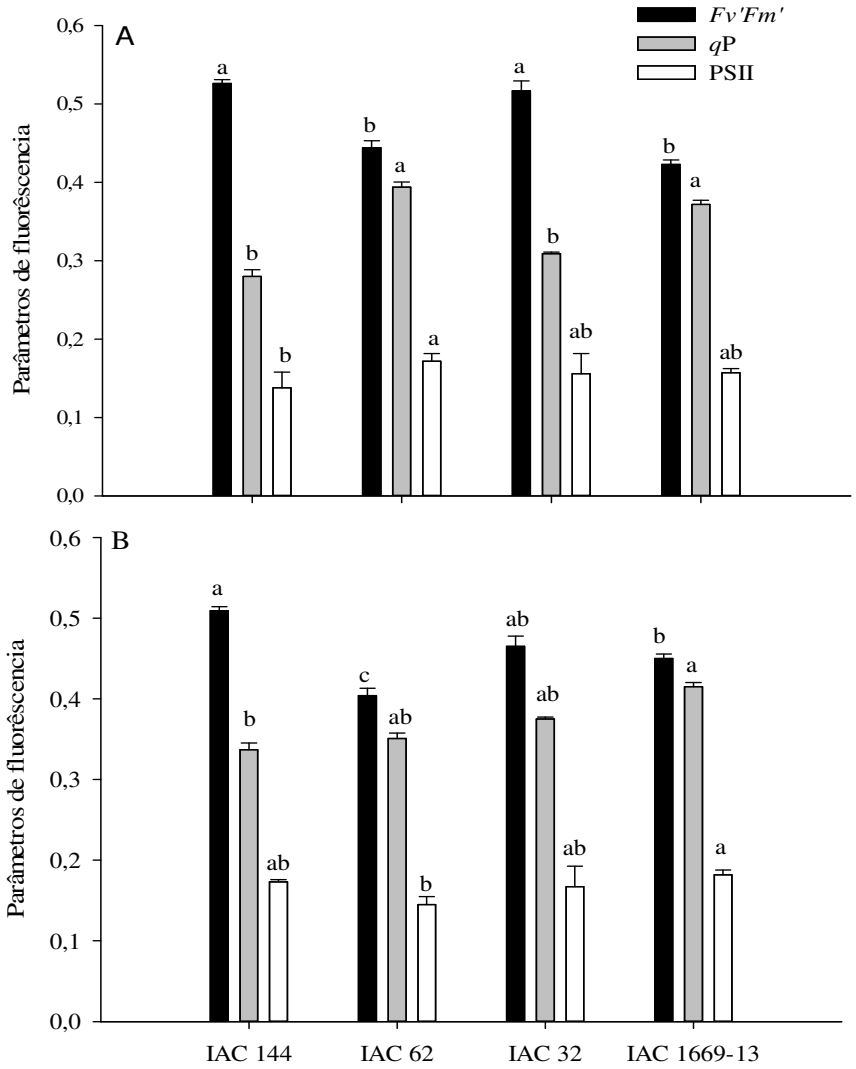

Figura 18 – Eficiência de captura de energia de excitação pelos centros de reação abertos do FSII (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímica (*q*P) e rendimento quântico do transporte de elétrons através do FSII (ϕ_{PSII}) em folhas *Coffea arabica*, independentemente de espaçamento e da cultivar em A – dezembro de 2013 e B –abril de 2014 em Rio Paranaíba-MG. Colunas de mesma cor seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média, $n = 20$.

Em abril de 2014, assim como observado na safra anterior, houve efeito da interação de cultivares e espaçamentos para o NFr, de forma que esta variável aumentou, em todas as cultivares, à medida em que se aumentou o espaçamento entre plantas na linha, sendo este efeito mais pronunciado na cultivar IAC 62 (Figura 19). Esses dados corroboram com trabalho de Botelho et al., (2010) que classificaram essa cultivar como uma das mais promissoras nas regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais, independentemente das condições de cultivo, devido a alta adaptabilidade e estabilidade produtiva.

Na avaliação de abril de 2014, diferentemente daquela feita no ano anterior, o fator espaçamento isoladamente não afetou as variáveis referentes ao ramo plagiotrópico, independentemente das cultivares e da posição do ramo. Ainda em 2014, constatou-se que a partição de matéria seca no ramo foi preferencialmente para folhas, seguida pelos frutos e caule e, também, que a razão entre a área foliar e o número de frutos do ramo foi de aproximadamente 19 cm^2/fruto, independentemente de espaçamentos e cultivares (dados não apresentados). Esse resultado ocorreu, mesmo tendo sido observado, como exposto acima, aumento no número de frutos do ramo com o aumento do espaçamento (Figura 19). Apesar da partição e matéria seca ter sido direcionada, nessa época de avaliação, preferencialmente para folhas, a RAFFr foi mantida próxima àquela considerada ideal (Canell, 1985). Portanto, nesta segunda safra avaliada, uma área foliar compatível parece ter sustentado uma elevada carga de frutos. No ramo produtivo, com carga pendente, a partição de matéria seca parece ocorrer prioritariamente para os frutos, num ano, e para folhas, no ano seguinte, em detrimento das demais partes constituintes do ramo, caracterizando, uma alternância de drenos prioritários dentro de um ciclo fenológico bienal.

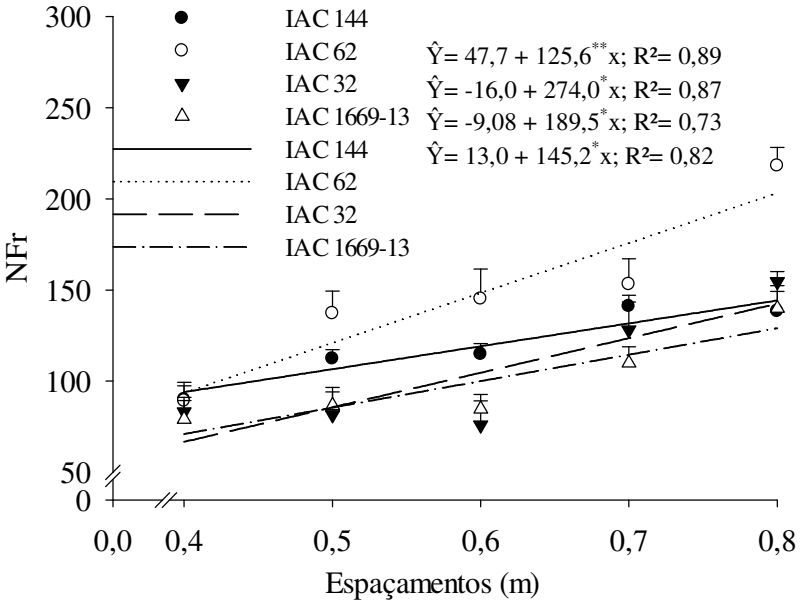

Figura 19 - Desdobramento do efeito de cultivar dentro de espaçamentos sobre o número de frutos por ramo (NFr), em abril de 2014, em Rio Paranaíba, MG. Regressões ajustadas, coeficientes de determinação e ** e *: significância dos coeficientes a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. Os valores referem-se à média ± erro padrão da média, *n* =16.

Diferentemente do espaçamento, o fator cultivar afetou diversas variáveis medidas nos ramos plagiotrópicos, em abril de 2014. Apesar do menor número de nós (Figura 20-A), as cultivares IAC 32 e IAC 1669-13 apresentaram maior investimento em folhas (Figura 20-B e 20-E), consequentemente, a RAFFr foi 25% superior às demais cultivares, atingindo 20 cm² fruto^{-1}, valor este considerado adequado para café (Canell 1976; 1985). A MSFr/NFr foi inferior nas cultivares IAC 62 e 144 (Figura 20-D), devido ao maior investimento em frutos (Figura 20-B e 20-E) e maior número de nós (Figura 20-A).

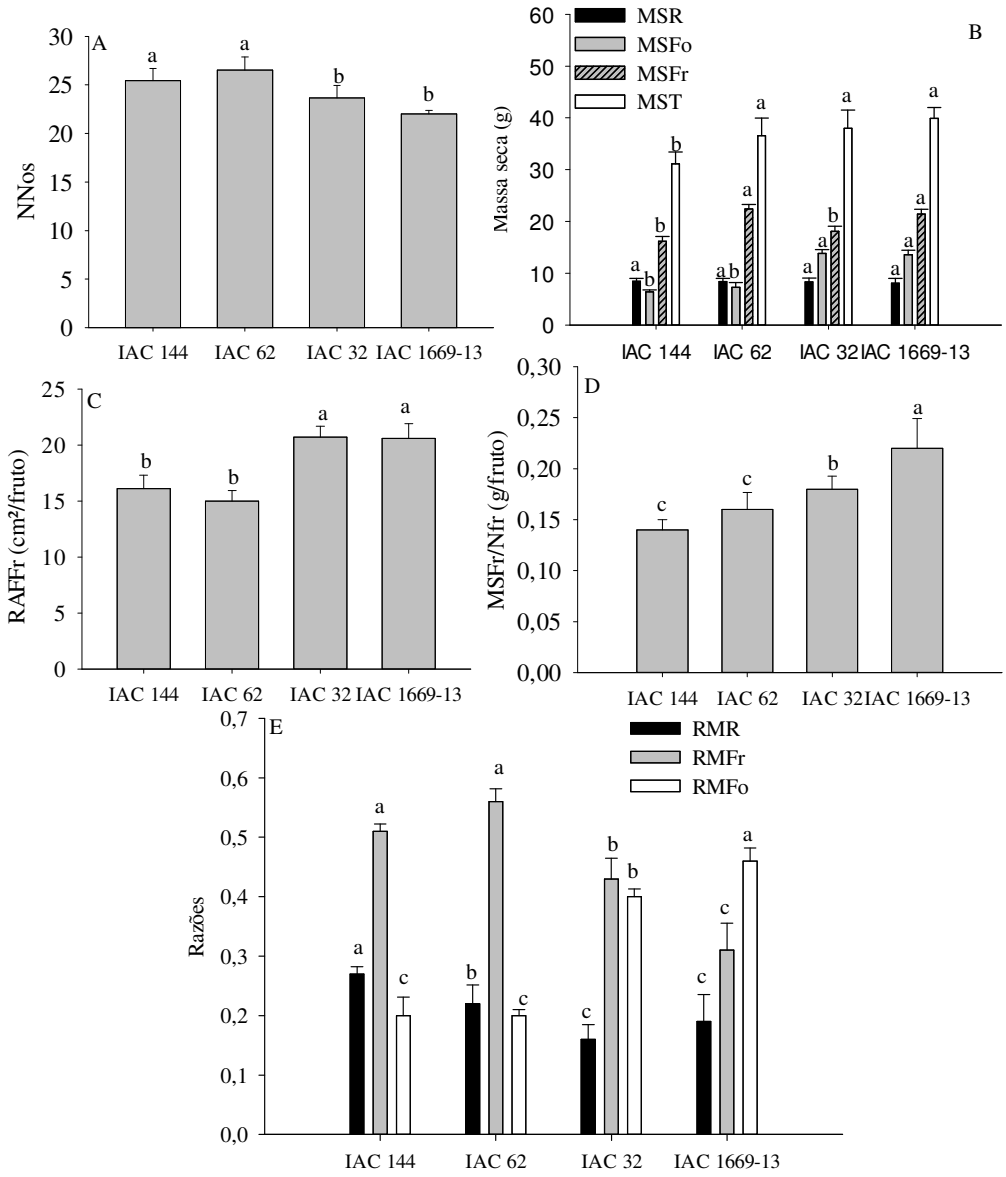

Figura 20 - Efeito do fator cultivar sobre as variáveis: A – Numero de nós (NNos); B - massa seca de ramos (MSR), massa seca de folhas (MSFo), massa de frutos (MSFr), massa seca total do ramo (MST); C - razão entre a área foliar total do ramo e o número de frutos do ramo (RAFFr); D – Razão da massa de frutos pelo número de frutos (MSFr/NFr); E - razão de massa do ramo (RMR), razão da massa de frutos (RMFr) e razão de massa de folhas (RMFo) em abril de 2014, em Rio Paranaíba-MG. Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média $n = 20$.

Plantas de café submetidas a condições de maior intensidade de radiação, sem sombreamento, apresentaram maiores médias da espessura do limbo foliar, típicas de folhas de sol (Nascimento et al., 2006). Em abril de 2014, as espessuras da PPEAD, EAD, PP, PL e ELF no espaçamento de 0,8 m foram superiores em 44%, 24%, 10%, 14% e 13%, respectivamente, em comparação ao de 0,4 m, independentemente de

cultivares (Figura 22 e Figura 23). Todavia, não foram verificadas alterações na área foliar específica, em função desses aumentos.

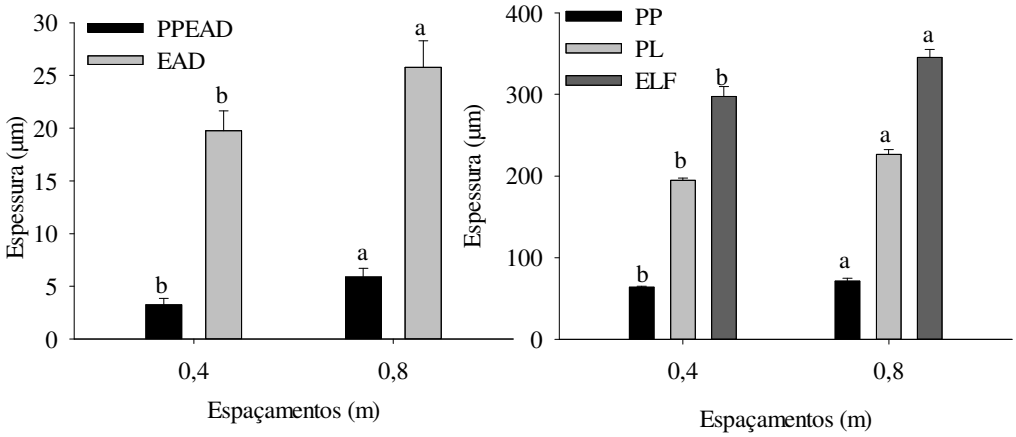

Figura 22 - Espessura dos tecidos: parede periclinal externa da face adaxial (PPEAD), epiderme da face adaxial (EAD), parênquima paliçádico (PP), parênquima lacunoso (PL) e espessura da lâmina foliar (ELF) em folhas de *Coffea arabica*, independentemente da cultivar, coletadas em abril de 2014. Rio Paranaíba-MG. Colunas da mesma cor seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Cada coluna refere-se à média ± erro padrão da média (n = 4).

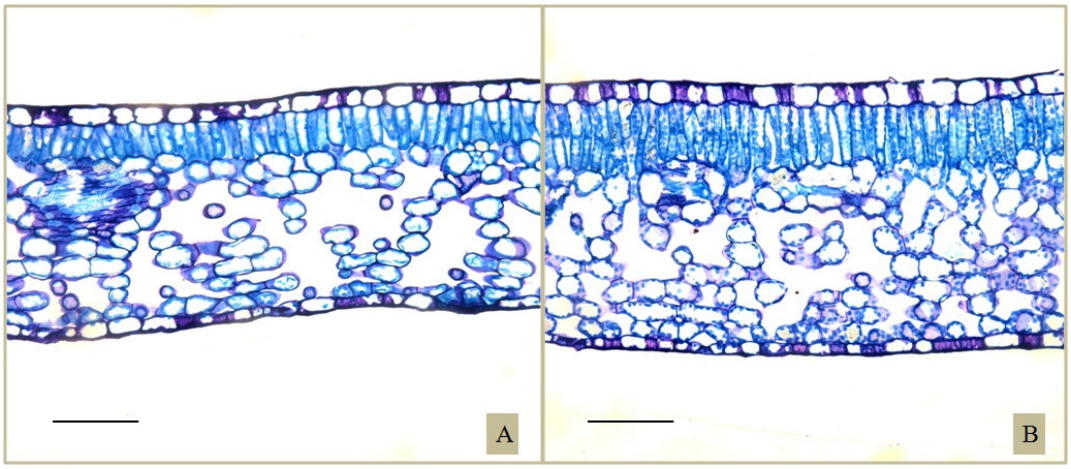

Figura 23 - Fotomicrografias de secções transversais da lamina foliar de *Coffea arabica*, cultivar catuaí amarelo IAC 62. (A – espaçamento entre plantas de 0,4 m; B - espaçamento entre plantas de 0,8 m). Barra = 100 µm

Nascimento et al., (2006), estudando as alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), concluíram que além de afetar as trocas gasosas e os parâmetros de fluorescência, (fato pouco verificado nesse trabalho), as plantas de café a pleno sol apresentaram médias superiores de espessura dos parênquimas paliçádico e lacunoso e da lâmina foliar, quando comparada às plantas sombreadas pela seringueira.

De acordo com Castro et al. (2009), a folha é um dos órgãos mais plásticos em respostas a fatores ambientais, sendo que as variações decorrentes desses fatores são observadas nos tecidos foliares na tentativa de adaptação da planta, podendo se estabelecer como uma característica da planta em longo prazo ou sofrendo modificações mais plásticas e menos fixas.

De forma geral, as avaliações da anatomia foliar, as medidas instantâneas de trocas gasosas, os níveis de pigmentos foliares e o desempenho fotoquímico do FSII não explicaram as variações na produção por planta em função do espaçamento, independentemente de cultivares, apesar de terem sido observadas diferenças nos níveis de pigmentos e nos parâmetros de fluorescência entre folhas de ramos mais expostos ou mais internos à copa.

A redução da produção por planta, em função da redução do espaçamento na linha, verificada em todas as cultivares, ocorreu em consequência da redução drástica do número de frutos por ramo, em função do menor número de frutos por roseta, haja vista que o número de nós por ramo na safra 2013 não variou com o espaçamento, independentemente da posição do ramo no dossel; a intensidade dessa resposta variou com o cultivar e com o estádio fenológico da cultura.

4. CONCLUSÕES

Para todas as cultivares avaliadas, houve decréscimo linear na produção por planta, com a redução do espaçamento na linha de plantio, porém sem qualquer efeito sobre a produtividade ou qualidade física dos grãos (peneiras).

O menor número de frutos por ramo, em consequência do menor número de frutos por roseta, explicou a menor produção por planta nos menores espaçamentos.

A cultivar IAC 62 foi a mais produtiva dentre as cultivares avaliadas.

A redução do espaçamento entre plantas na linha aumentou a porcentagem de grãos verdes no momento da colheita, em todas as cultivares.

Independentemente de cultivares e posição do ramo plagiotrópico, a relação área foliar por fruto aumentou linearmente com a redução do espaçamento, caracterizando, portanto, o aumento na relação fonte:dreno em cultivos mais adensados.

Independentemente de cultivares e espaçamento, os ramos do interior da copa são menores, porém com uma maior relação de área foliar por fruto.

Nas avaliações micromorfométricas foram constatadas reduções nas espessuras dos tecidos foliares em plantas mais adensadas, todavia essa redução, assim como os demais tratamentos, não influenciaram as medidas instantâneas de trocas gasosas, os níveis de pigmentos foliares e o desempenho fotoquímico do FSII.

5. LITERTURA CITADA

AGUIAR, T.V.; SANT'ANNA-SANTOS, B.F.; AZEVEDO, A.A.; FERREIRA, R.S. Anati quanti: software de análises quantitativas para estudos em anatomia vegetal. **Planta Daninha**, v.25, p.649-659, 2007.

ALVES J.D. Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C.H.S. de. **Cultivares de café**: origem, característica e recomendações. Brasília, EMBRAPA CAFÉ. p.33-55, 2008.

ANDRADE, W.E.B.; GUIMARÃES, P.T.G; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, R.J. Produtividade do cafeeiro arábica em condições de adensamento, no noroeste fluminense. **Coffee Science**, v.9, p.90-101, 2014.

ARAUJO, W.L.; DIAS, P.C.; MORAES, G.A.B.K.; CELIN, E.F.; CUNHA, R.L.; BARROS, R.S.; DAMATTA, F.M. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.46, p.884-890, 2008.

AUGUSTO, H.S.; MARTINEZ, H.E.P.; SAMPAIO, N.F.; CRUZ, C.D.; PEDROSA, A.W. Produtividade de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) sob espaçamentos adensados. **Revista Ceres**, v.53, p.539‑547, 2006.

AUGUSTO, H.S.; MARTINEZ, H.E.P.; SAMPAIO, N.F.; CRUZ, C.D.; PEDROSA, A.W. Concentração foliar de nutrientes em cultivares de *Coffea arabica* L. sob espaçamentos adensados. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.973-981, 2007.

BALIZA, D.P.; CUNHA, R.L.; CASTRO A.M.; BARBOSA J.P.R.A.D.; PIRES, M.F.; GOMES, R.A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v.7, p.250-258, 2012.

BATISTA, L.A.; GUIMARÃES, R.J.; PEREIRA, F.J.; CARVALHO, G.R.; CASTRO, E.M. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.475-481, 2010.

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

BLISKA, F.M.M; FAZUOLI, L.C.; BRAGHINI, M.T. Impactos de cultivares resistentes a doenças e pragas no desenvolvimento sustentável da cafeicultura nas principais regiões cafeeiras do Brasil. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Anais...** Araxá: EMBRAPA CAFÉ, 2011.

BOTELHO, C.E.; REZENDE, J.D.; CARVALHO, G.R.; CARVALHO, A.D.; ANDRADE, V.T.; BARBOSA, C.R. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1404-1411, 2010.

BROWNING, G.; FISHER, N.M. High density coffee: yield results for the first cycle from systematic plant spacing designs. **Kenya Coffee**, v.41, p.209-217, 1976.

CAMARGO, A.P. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, n.???, 1987, Campinas. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill. p.53-90, 1987.

CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v.60, p. 65-68, 2001.

CANNELLL, M.G.R. Effects of irrigation, mulch and N fertilisers on yield components of Arabica coffee in Kenya. **Experimental Agriculture**. v.9, p.225-232, l973.

CANNELLL, M.G.R. Crop physiological aspects of coffee bean yield. A review. **Kenya Coffee**, v.41, p.245-253, 1976.

CANNELLL, M. G. R. **Physiology of the coffee crop**. In: Coffee. Springer US, p.108-134, 1985.

CARVALHO, C.H.S. de. **Cultivares de café**: origem, características e recomendações. Distrito Federal: Embrapa, 2008. 334p.

CASTRO, A. M.; Efeito de desfrutificações sequenciadas sobre o crescimento e a produção do cafeeiro arábico. 2002. 106 f. Viçosa, Tese (Doutorado em fisiologia vegetal), Departamento de Biologia vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: strutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CHAVES, A.R.M.; TEN CATEN A.; PINHEIRO H.A.; RIBEIRO A.; DAMATTA F.M. Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. **Trees,** v.22, p.351-362, 2008.

CHAVES, A.R.M, MARTINS, S.C., BATISTA, K.D., CELIN, E.F., DAMATTA, F.M. Varying leaf-to-fruit ratios affect branch growth and dieback, with little to no effect on photosynthesis, carbohydrate or mineral pools, in different canopy positions of field-grown coffee trees. **Environmental and Experimental Botany**, v. 77, p. 207-218, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Primeiro Levantamento de safra de café 2015** – Janeiro 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_14_11_57_33_boletim_cafe_janeiro_2015.pdf>. Acesso em: 21 Jan. 2015.

CUCOLOTTO, M.; PIPOLO, V.C.; GARBUGLIO, D.D.; FONSECA JUNIOR, N. da S.; DESTRO, D.; KAMIKOGA, M.K. Genotype x environment interaction in soybean: evaluation through three methodologies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.7, p.270‑277, 2007.

CUTTER, E.G**.** Plant Anatomy**: Cells and Tissues Part I,** London: William Clowes and Sons, 1978. 315p.

DaMATTA, F.M.; LOOS, R.A.; SILVA, E.A.; LOUREIRO, M.E. Limitations to photosynthesis in *Coffea canephora* as a result of nitrogen and water availability. **Journal Plant Physiology**, v.15, p.975-981, 2002.

DaMATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v.86, p.99-114, 2004.

DaMATTA, F.M.; RONCHI, C.P. MAESTRI, M; BARROS, R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.485-510, 2007.

DaMATTA, F.M.; CUNHA, R.L.; ANTUNES, W.C.; MARTINS, S.C.V.; ARAUJO, W.L.; FERNIE, A.R.; MORAES, G.A.B.K. In field-grown coffee trees source-sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. **New Phytologist** v.178, p.348-357, 2008.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; VEGA, J.; MAGALHÃES, A.C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, v.69, p.161-169, 1994.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; DIAS, A.A.; CAMARGO, M.B.P.D. Efeitos de níveis de luz na floração, frutificação e produtividade de *Coffea arabica*. In: VI SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **anais...** Brasília, DF: EMBRAPA - CAFÉ, p.87-106. 2009.

FERNANDES, A.L.T.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.42, p.231-240, 2012.

FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; VERDIM FILHO, A.C.; VOLPI, P.S. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; VERDIM FILHO, A.C.; VOLPI, P.S. **Café conilon**. Vitória, ES: INCAPER, p.66-91, 2007.

FERRONI, J.B.; ALMEIDA, S.R.; MATIELLO, J.B.; MIGUEL, A.E. Interação entre cultivares de café e espaçamentos de rua e de linha, no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas-MG**. Resumos dos trabalhos apresentados...**, Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ/PNFC. p.316-317, 1998.

GRISI, F.A.; ALVES, J.D.; CASTRO, E.M.; OLIVEIRA, C.; BIAGIOTTI, G.; MELO, L. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'Catuaí' e 'Siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1730-1736, 2008.

GUARÇONI M., A. Características da fertilidade do solo influenciadas pelo plantio adensado de café conilon. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, p.949-958, 2011.

GUO, J.; JERMYN, W.A.; TURNBULL, M. H. Diurnal and seasonal photosynthesis in two asparagus cultivars with contrasting yield. **Crop Science**, v.42, p.399-405, 2002.

HORTON P.; JOHNSON M.P.; PEREZ-BUENO M.L.; KISS A.Z.; RUBAN A.V.; Photosynthetic acclimation: does the dynamic structure and macro-organisation of

photosystem II in higher plant grana membranes regulate light harvesting states? **FEBS** v.27, p.1069-1079, 2008.

JAHNS, P.; HOLZWARTH, A.R. The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem II. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v.1817, p.182-193, 2012.

JOHANSEN, D.A. **Plant Microtechnique.** New York: McGraw-Hill, 1940. 332p.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M.; PAULA, N. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1521-1530, 2007.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: COLOWICK S.P.; KAPLAN N.O. **Methods in Enzimology.** Academic Press, San Diego. v.148, p.350-382, 1987.

LIMA, A.L.S.; DaMATTA, F.M.; PINHEIRO, H.A.; TOTOLA, M.R.; LOUREIRO, M.E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental Experimental Botany,** v.47, p.239-247, 2002.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de Café no Brasil:** Novo Manual de Recomendações. MAPA/PROCAFE, Rio de Janeiro, 2002. 434p.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil:** manual de recomendações. Rio de Janeiro-RJ/Vaginha-MG: MAPA/PROCAFE, 546p, 2010.

MENDES, A.N.G.; GUIMARÃES, P.T.G.; MELLES, C.C.A.; BARTHOLO, G.F. Estudo do espaçamento entre e dentro de fileiras para as cultivares Catuaí e Mundo Novo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais**... Londrina: IAPAR, p.300-301, 1994.

MORAIS, H.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A.; GOMES, J.C. Características fisiológicas e de crescimento de *Coffea arabica* sombreado com guandu (*Cajanus cajan*) e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.38, p. 1131-1137, 2003.

MORAIS, H.; MEDRI, M.E.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A.; GOMES, J.C. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology,** v.47, p. 863-871, 2004.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; KOGUISHI, M. S.; RIBEIRO, A. M. D. A. Escala fenológica detalhada da fase reprodutiva de Coffea arabica. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 257-260, 2008.

MOROSINOTTO, T.; CAFFARRI, S.; DALL'OSTO, L.; BASSI, R. Mechanistic aspects of hexanthophyll dynamics in higher plant thylakoids. **Plant Physiology,** v.119, p.347-354, 2003.

MOTTA, P.E.F; BARUQUI, A.M; SANTOS, H,G. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004. 414 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 44).

NACIF, A.P. **Fenologia e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí sob diferentes densidades de plantio e doses de fertilizantes, no cerrado de Patrocínio-MG**. 1997. 124 f. Viçosa, Tese (Doutorado em Fitotecnia), Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1997.

NASCIMENTO, E.A.; OLIVEIRA, L.E.M.; CASTRO, E.M.; DELÚFILHO, N.; MESQUITA, A.C.; VIEIRA, C.V. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, v.36, p.852-857, 2006.

NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; FERRÃO, R.G.; CAMPANA, A.C.M.; BHERING, L.L.; CRUZ, C.D.; FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A. Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.41-48, 2010.

O`BRIEN, T.P.; McCULLY, M.E. **The study of plant structure principles and select methods**. Melbourne Australian: Termarcarphi Pty. Ltda., 1981. 45p.

PAULO, E.M.; JUNIOR, E.F.; FAZUOLI, L.C. Desempenho de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. **Bragantia**, v.64, p.397-409, 2005.

PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A.; COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E.L. High coffee population density to improve fertility of anoxisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.459-465, 1999.

PEREIRA, S.P.; CUNHA, R.L. Caracterização fenológica e reprodutiva de cafeeiros em diversos espancamentos, antes e após a poda. 2004. 105 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004.

PEREIRA, S.P.; BARTHOLO, G.F.; BALIZA, D.P.; SOBREIRA, F.M.; GUIMARÃES, R.J. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.152-160, 2011.

PEREIRA, S.P.; BALIZA, D.P.; SANTOS, M.O.; ALVES, J.D.; GUIMARÃES, R.J. Influência do espaçamento de cultivo em duas épocas de poda nos teores caulinares de carboidratos em cafeeiros. **Coffee Science**, v.8, p.460-468, 2014.

RENA, A.B.; NACIF, A.P.; GUIMARÃES, P.T.G.; PEREIRA, A.A. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1., 1994, Londrina, PR. **Anais**...Londrina: IAPAR, p.71-85, 1994.

RODRÍGUEZ-CALCERRADA J.; REICH P.B.; ROSENQVIST E, J.A.; PARDOS J.A.; CANO F.J.; ARANDA I. Leaf physiological versus morphological acclimation to

high-light exposure at different stages of foliar development in oak. **Tree Physiology**, v.28, p.761-771, 2008.

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N.F.; MARTINS, S.C.V.; CAVATTE, P.C.; SILVA, P.E.M.; MORAIS, L.E. ; PEREIRA, L.F.; REIS, J.V.; ÁVILA, R.T.; GODOY, A.G.; LAVINSKI, A.O.; DaMATTA, F.M. Morphological and physiological acclimations of coffee seedlings to growth over a range of fixed or changing light supplies. **Environmental and Experimental Botany,** v.102, p.1-10, 2014.

RONCHI, C.P.; DAMATTA, F.M.; BATISTA, K.D.; MORAES, G.A.; LOUREIRO, M.E.; DUCATTI, C. Growth and photosynthetic down-regulation in *Coffea arabica* in response to restricted root volume. **Functional Plant Biology**, v.33, p.1013-1023, 2006.

RONCHI, C.P.; DaMATTA, F.M. Aspectos fisiológicos do café conilon. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DEMUNER, L.H. **Café Conilon**. Vitória: Incaper, p.95-115. 2007.

SANTINATO R.; MATIELLO J.B.; SILVA V.A.; CARVALHO R. Espaçamentos (hiper, super e adensado) na rua e na linha de plantio para cafeeiros resistentes a ferrugem, cultivares Icatu 2944 e Catucaí - Produções até a 5a safra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas-MG. **Resumos dos trabalhos apresentados**..., Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ/ PNFC. 311-313, 1998.

SANTINATO, R.; FERNANDS, A.L.T.; FERNANDES, D.R. **Irrigação na cultura do café**. 2.ed. Belo Horizonte: Editora O Lutador, 2008. 476p.

SCALCO, M.S.; COLOMBO, A.; QUINTELA, A.C.R.; PAIVA, L.C.; MORAIS, A.R. Rendimento e maturação de frutos do cafeeiro sob diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio safra 2003/2004. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL 4., 2005 Londrina, PR. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA - CAFÉ. CD-ROM, 5p.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E.F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v.5, p.251-261, 2010

VAAST, P.; BERTRAND, B.; PERRIOT, J-J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, p.197-204, 2006.

UNITED STATES DEPARTAMENTO OF AGRICULTURE - USDA. **Coffee: World Markets and Trade.** 2014. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/data/coffee-world-markets-and-trade.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2015.