



Bragantia

ISSN: 0006-8705

editor@iac.sp.gov.br

Instituto Agronômico de Campinas

Brasil

Alfonsi, Eduardo Lauriano; Fahl, Joel Irineu; Carvalho Carelli, Maria Luiza; Fazuoli, Luiz Carlos
Crescimento, fotossíntese e composição mineral em genótipos de coffeea com potencial para utilização
como porta-enxerto

Bragantia, vol. 64, núm. 1, 2005, pp. 1-13
Instituto Agronômico de Campinas
Campinas, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90864101>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ÁREAS BÁSICAS

CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE E COMPOSIÇÃO MINERAL EM GENÓTIPOS DE *COFFEA* COM POTENCIAL PARA UTILIZAÇÃO COMO PORTA-ENXERTO⁽¹⁾

EDUARDO LAURIANO ALFONSI^(2,5); JOEL IRINEU FAHL⁽³⁾;
MARIA LUIZA CARVALHO CARELLI⁽³⁾; LUIZ CARLOS FAZUOLI⁽⁴⁾

RESUMO

Foi estudado o desenvolvimento da parte aérea e das raízes, as trocas gasosas fotossintéticas e a composição mineral nos genótipos de *Coffea*, Apoatã IAC 2258 (*C. canephora*); Bangelan IAC col. 5 (*C. congensis* X *C. canephora*); Catuaí IAC 144 (*C. arabica*); Excelsa (*C. liberica*, var. dewevrei) e Piatã (IAC 387) (*C. arabica* X *C. liberica*, var. dewevrei), visando conhecer seus potenciais para utilização como porta-enxerto em *C. arabica*. Utilizaram-se plantas jovens cultivadas em terra, contida em saco plástico e em tubos de PVC sob telado, e no campo em plantas de quatro anos de idade. Em 'Bangelan' observaram-se maior comprimento da raiz pivotante e mais quantidade de raízes secundárias do que em 'Catuaí' e 'Piatã'. Os teores foliares de potássio do 'Piatã', 'Apoatã' e 'Bangelan' foram maiores aos observados para 'Catuaí' e 'Excelsa'. No campo, com baixa disponibilidade de água e nutrientes, os teores foliares de fósforo em 'Apoatã' e 'Piatã' foram maiores que em 'Catuaí' e 'Excelsa'. Em 'Catuaí,' notou-se maior eficiência na absorção de todos os micronutrientes (B, Cu, Mn e Zn), exceto ferro. A taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração decresceram à tarde em todos os genótipos. Sob défice hídrico no solo, houve quedas significativas nas taxas fotossintéticas, condutância estomática e transpiração, sendo mais pronunciadas em 'Apoatã' e 'Excelsa', e menos em 'Catuaí' e 'Piatã', em relação aos valores observados sem restrição hídrica. A taxa fotossintética do 'Apoatã' foi menos influenciada pelo teor de água no solo em relação aos demais genótipos, que mostraram quedas acentuadas no período da tarde. Verificaram-se em 'Bangelan' e 'Apoatã' características favoráveis para a utilização como porta-enxerto em *C. arabica*.

Palavras-chave: Café, raiz, parte aérea, teor de nutrientes, trocas gasosas.

ABSTRACT

GROWTH, PHOTOSYNTHESIS AND MINERAL COMPOSITION OF COFFEA GERMPLASM WITH POTENTIAL AS ROOTSTOCK

The development of shoot and roots, photosynthetic gas exchange and mineral composition of *Coffea* plants were studied in 'Apoatã' IAC 2258 (*C. canephora*), 'Bangelan' IAC col. 5 (*C. congensis* X *C. canephora*); 'Catuaí' IAC 144 (*C. arabica*); 'Excelsa' (*C. liberica*, var. dewevrei) and 'Piatã' (IAC 387) (*C. arabica*)

⁽¹⁾ Parte da dissertação do primeiro autor apresentada no Instituto Agronômico, Campinas, IAC. Recebido para publicação em 17 de julho de 2003 e aceito em 3 de agosto de 2004.

⁽²⁾ Estagiário do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica.

⁽³⁾ Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica, IAC, Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

⁽⁴⁾ Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica dos Agronegócios do Café "Alcides Carvalho", IAC.

⁽⁵⁾ Bolsista do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café.

X *C. liberica* var. *deweuvrei*), in order to know their potential as rootstock for *C. arabica*. The studies were carried out with young plants grown under shade in plastic bag and PVC tubes containing soil, and in four year-old plants grown in unshaded field conditions. 'Bangelan' had longer tap roots and more secondary roots than 'Catuai' and 'Piatã'. Potassium content in leaves of 'Piatã', 'Apoatã' and 'Bangelan' were higher than in 'Catuai' and 'Excelsa'. In the field, under lower availability of water and nutrients, phosphorus content in leaves of 'Apoatã' and 'Piatã' was higher than 'Catuai' and 'Excelsa'. 'Catuai' showed the best efficiency in the absorption of micronutrients B, Cu, Mn and Zn, but not Fe. Significant decreases of photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration were observed in the afternoon. Under soil water deficit conditions the decreases were more intense in 'Apoatã' and 'Excelsa', and less in 'Catuai' and 'Piatã', as compared to the values observed without water restriction. The photosynthetic rate of 'Apoatã' was the least influenced by soil water content. The results point out that 'Bangelan' and 'Apoatã' have suitable characteristics as rootstocks for *C. arabica*.

Key words: coffee, root, shoot, nutrient content, gas exchange.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, foram obtidas várias cultivares de café arábica e híbridos interespecíficos, com variação para porte da planta, resistência ao agente causal da ferrugem (*Hemileia vastatrix*), produtividade e relativa adaptabilidade às condições de clima e solo das diferentes regiões produtoras. Apesar do vigor e da alta produtividade desses materiais genéticos, seu cultivo tem sido inviabilizado em grandes áreas cafeeiras tradicionais do Brasil, devido à suscetibilidade a nematóides do solo de *Coffea arabica*. Por outro lado, estudos com *C. canephora* vêm evidenciando tolerância aos nematóides dos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus*, assim como a *H. vastatrix*, além de elevada produção (COSTA et al., 1991). Entretanto, o cultivo desse material apresenta obstáculos, como baixa qualidade de bebida e falta de tradição de cultivo nas principais regiões cafeeiras do País (Costa et al., 1991).

A enxertia de cultivares comerciais de *C. arabica* sobre *C. canephora* cv. Apoatã tem apresentado resultados promissores, oferecendo aos cafeicultores alternativa para o cultivo do café arábica em áreas infestadas por nematóides (FAZUOLI et al., 1983; COSTA et al., 1991). Em adição, parece existir uma interação fisiológica entre a parte aérea e o sistema radicular a qual proporciona melhor desempenho às plantas enxertadas, mesmo em condições isentas de nematóides. Em trabalhos anteriores, notou-se que a enxertia de cultivares de *C. arabica* sobre *C. canephora* cv. Apoatã proporcionou expressivos aumentos no crescimento e na produção das plantas enxertadas, em solos livres de nematóides (FAHL e CARELLI, 1985; FAHL et al., 1998, 2001a). O melhor desempenho das plantas enxertadas foi atribuído à maior capacidade do sistema radicular de *C. canephora* cv. Apoatã em explorar maior volume de solo e à maior eficiência em

fornecer água para a parte aérea nos períodos de défices hídricos intensos, mantendo maiores taxas fotossintéticas e maior ganho em carbono (FAHL et al., 2001b). Também se observou que a enxertia pode alterar os teores de macro e micronutrientes da parte aérea das plantas devido à selevidade diferencial do sistema radicular do porta-enxerto em absorver nutrientes (FAHL et al., 1998).

O efeito da enxertia pode variar com o material genético utilizado nas diversas combinações enxerto/ porta-enxerto. Assim, torna-se importante conhecer as características fisiológicas de materiais genéticos que potencialmente possam ser utilizados como porta-enxerto para *C. arabica*. O presente trabalho tem por objetivo estudar o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular, as trocas gasosas e a nutrição mineral em plantas jovens e adultas de café, visando conhecer seus potenciais para utilização como porta-enxerto para cultivares comerciais de *C. arabica*, em condições isentas de nematóides.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os genótipos estudados foram obtidos no Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio do Café "Alcides Carvalho", do Instituto Agronômico, consistindo dos seguintes materiais: Apoatã IAC 2258 (*C. canephora*); Bangelan IAC col. 5 (*C. congensis* X *C. canephora*); Catuai IAC 144 (*C. arabica*); Excelsa (*C. liberica*, var. *deweuvrei*) e Piatã IAC 387 (*C. arabica* X *C. C. liberica*, var. *deweuvrei*). Os estudos foram realizados em plantas crescidas em tubos de PVC, sob telado de sombrite, com restrição de 50% de luz solar, de agosto de 2001 a julho de 2002, e no campo, em 2001 e 2002. No experimento de campo, somente quatro materiais genéticos foram estudados, excluindo Bangelan -IAC- col 5.

No experimento em tubos de PVC, as sementes dos diversos genótipos foram postas para germinar em caixas contendo areia lavada. Ao atingirem o estádio de desenvolvimento de "palito de fósforo", (outubro/ 2001), 15 plântulas de cada genótipo, foram transplantadas para tubos de PVC de 100 mm de diâmetro e 1 m de altura, contendo mistura de terra e matéria orgânica na proporção de 3:1. A raiz pivotante das plântulas foi seccionada a 5 cm do colo da plântula, a fim de evitar a ocorrência do dobramento das raízes por ocasião do transplante. Os tubos foram divididos em três fileiras espaçadas entre si de 50 cm, no sentido Leste/Oeste, contendo cinco blocos de cinco plantas, totalizando 25 unidades para cada épocas de avaliação. As plantas foram irrigadas diariamente, de manhã e à tarde. Nesse experimento, foram efetuadas medidas das trocas gasosas fotossintéticas e das características de crescimento da raiz e da parte aérea.

As medidas de fotossíntese líquida (P_n), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (Tr), temperatura da folha (T_f), umidade relativa do ar (UR) e densidade fotossintética de fluxo de fôtons (DFFF) foram feitas no próprio ambiente de cultivo das plantas com um sistema portátil de medida fotossintética (LI-6400, LICOR Inc. Ltda., Lincoln-USA), no terceiro par de folhas, contado do ápice para a base do ramo ortotrópico (par de folhas + 3). As medidas foram efetuadas em fevereiro de 2002, no período da manhã das 9 às 10 horas e à tarde das 14 às 15 horas. Em cada período de avaliação, foram avaliadas duas folhas de cada planta totalizando 50 medidas.

As características de crescimento da raiz e da parte aérea foram determinadas em cinco plântulas de cada genótipo, 240 dias após o transplante (DAT). Em cada avaliação as plantas foram retiradas dos tubos, a terra foi removida do sistema radicular com a ajuda de um jato de água, obtendo-se, no fim da operação, a planta com a raiz intacta. Foram determinadas as seguintes características: (1) altura de planta, medida do colo ao ápice do ramo ortotrópico; (2) número de ramos plagiotrópicos, (3) número de pares de folhas no ramo ortotrópico, excluindo-se o par de folha cotiledonar; (4) área foliar, calculada segundo FAHL et al. (1992a); (5) comprimento da raiz pivotante, medido do colo à extremidade da raiz (6) volume do sistema radicular, pelo método de deslocamento do volume de água; (7) número de raízes secundárias, a cada 10 cm da raiz pivotante, a partir do colo da planta. Após essas determinações, o material foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel e seco a 65 °C em estufa com circulação forçada de ar até peso constante, para avaliar a massa seca de cada tipo de tecido vegetal.

O experimento de campo foi realizado em plantas com aproximadamente quatro anos de idade, cultivadas a pleno sol, com espaçamento de 3 m entre linhas por 1 metro entre planta na linha, com tratos fitossanitários e adubação normais para uma cultura de café em produção. Foram utilizadas quatro plantas de cada genótipo estudado. As medidas de trocas gasosas fotossintéticas foram efetuadas das 9 às 11 horas e das 14 às 16 horas, em duas épocas do ano (junho de 2001 e março de 2002), de forma análoga ao descrito no experimento sob telado. As medidas foram efetuadas no terceiro par de folha do ramo plagiotrópico, situado no terço médio da planta. Foram utilizadas três folhas de cada planta, totalizando 12 medidas em cada genótipo, por horário de medida. Nesse experimento também determinou-se a massa foliar específica do terceiro par de folhas, contado do ápice para a base do ramo plagiotrópico, localizado no terço médio da planta.

Com a finalidade de obter os teores foliares de macro e micronutrientes dos genótipos estudados, foi instalado um experimento, com plântulas do mesmo estádio de desenvolvimento do experimento em tubos de PVC, transplantadas individualmente, em número de 20 plantas de cada material genético, para sacos plásticos de 40 litros, com diâmetro de aproximadamente 35 cm, contendo uma mistura de terra e matéria orgânica semelhante àquela utilizada no experimento em tubos de PVC. Aos 240 DAT, foram retiradas as folhas do 3.º par do ramo ortotrópico, contado do ápice, para determinar os teores de macro e micronutrientes, conforme descrito por BATAGLIA et al. (1983). Em março de 2002, em condições de campo, foi realizada uma coleta de folhas do 3.º par de folha do ramo plagiotrópico, contado da extremidade do ramo, localizado no terço médio da planta. As análises químicas dos solos utilizados nos experimentos em sacos plásticos e no campo são apresentadas na Tabela 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2, verifica-se que 'Bangelan' mostrou maior comprimento da raiz pivotante que 'Catuai' e 'Piatã', não diferindo de 'Apoatã' e 'Excelsa'. O número de raízes secundárias foi significativamente maior em 'Bangelan' que nos demais genótipos, que não diferiram significativamente entre si. Os maiores valores de massa seca de raízes foram obtidos para 'Catuai' e 'Piatã' e os menores para 'Apoatã' e 'Bangelan' (Tabela 2). Por esses dados, verifica-se que em 'Bangelan', o sistema radicular é mais ramificado e profundo, com raízes de menor diâmetro, do que em 'Catuai'.

Tabela 1. Resultado da análise do solo e substrato utilizado nos experimentos desenvolvidos em campo e em saco plástico

Amostra	Campo (0-20)	Campo (20-40)	Saco plástico
pH	5,10	5,10	6,50
		g/dm ³	
M.O	32,00	24,00	29,00
		mg/dm ³	
P	9,00	3,00	149,00
		mmolc/dm ³	
K	5,40	3,20	5,30
Ca	35,00	27,00	83,00
Mg	9,00	8,00	12,00
H+Al	38,00	34,00	15,00
S.B.	49,40	38,20	100,30
CTC	87,50	72,50	115,10
		%	
V	56,00	53,00	87,00
		mg/dm ³	
B	0,25	0,20	0,58
Cu	5,00	4,10	5,40
Fe	22,00	14,00	63,00
Mn	65,30	32,40	16,70
Zn	2,00	1,00	13,00

Tabela 2. Comprimento da raiz pivotante (CRP), número de raízes secundárias (NR2^a) e massa seca de raízes (MSR) em cinco genótipos de *Coffea*, cultivados em tubos de PVC aos 240 dias após o transplante (DAT). Valores médios de cinco repetições

Tratamentos	CRP	NR2 ^a	MSR
		240 DAT	
	cm		g
Apoatã IAC 2258	65,20 ab	135,20 b	8,60 c
Bangelan IAC col.5	73,00 a	198,20 a	8,72 c
Catuaí Vermelho IAC 144	61,80 b	122,80 b	12,99 a
Excelsa	64,40 ab	126,40 b	10,78 b
Piatã (IAC 387)	55,60 b	88,20 b	12,96 a
F	6,94 **	8,90 **	31,07 **
CV %	8,33	22,34	8,00

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Em todos os materiais estudados, as maiores quantidades de raízes secundárias foram observadas entre 10 e 50 cm de profundidade (Figura 1). Na camada mais superficial (0-10 cm), em 'Bangelan' e 'Catuaí', ocorreu maior número de raízes secundárias do que nos demais genótipos, que não diferiram entre si. Contudo, nas demais profundidades, a quantidade

de raízes secundárias de 'Bangelan' foi significativamente maior do que em 'Catuaí'. VAZ (1960), em trabalhos realizados em diversos tipos de solo em Angola, verificou sempre maior quantidade de raízes secundárias, na camada de 30 a 90 cm de profundidade, no sistema radicular de *C. canephora* em relação a *C. arabica*.

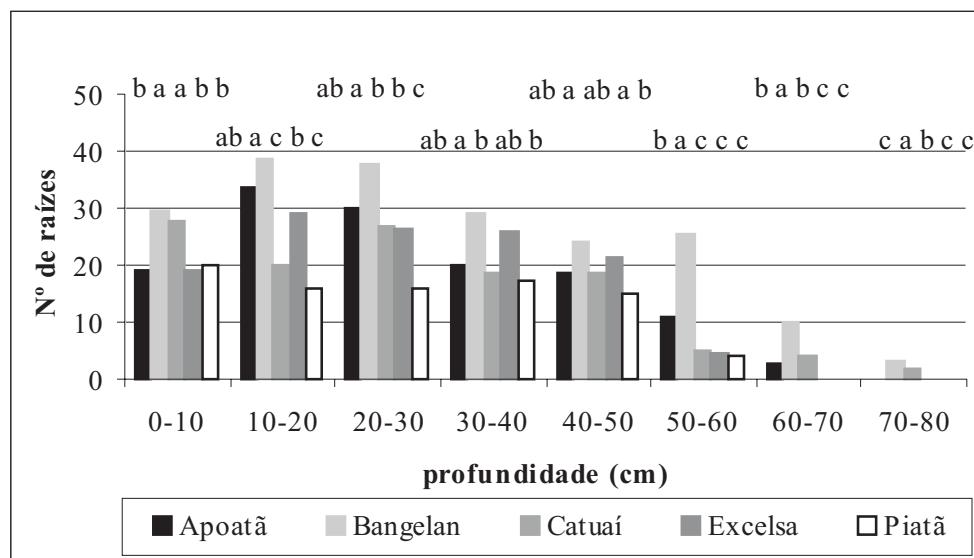


Figura 1. Número de raízes secundárias na raiz pivotante de cinco genótipos de café ('Apoatã'; 'Bangelan'; 'Catuaí'; 'Excelsa'; 'Piatã'), cultivados em tubos de PVC aos 240 dias após o transplante (DAT). Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%.

No presente trabalho, verificou-se maior quantidade de raízes secundárias em 'Apoatã' (*C. canephora*) do que em 'Catuaí', nas camadas de 10-20 cm e de 50-60 cm de profundidade. Esses dados confirmam os obtidos por outros autores que *C. arabica* é uma espécie com sistema radicular superficial (GUISCAFRÉ-ARRILAGA e GOMES, 1938, 1940, 1942; FRANCO e INFORZATO, 1946; SUÁREZ DE CASTRO, 1951; SAIZ DEL RIO et al., 1961; INFORZATO e REIS, 1963, 1974; GARRIZ, 1978; CASSIDY e KUMAR, 1984).

A melhor distribuição de raízes secundárias do sistema radicular do 'Bangelan' e do 'Apoatã', em relação aos demais genótipos, sugere melhor exploração do perfil do solo em volume e profundidade. Essas características podem proporcionar maior tolerância à seca, uma vez que em períodos de deficiência hídrica no solo, normalmente existe maior disponibilidade de água em níveis mais profundos, possibilitando melhor suprimento de água e minerais para as plantas. Em adição, o modelo de distribuição do sistema radicular de 'Bangelan' e

'Apoatã' pode ser importante para amenizar os efeitos prejudiciais das temperaturas elevadas que ocorrem nas camadas superficiais do solo, conforme FRANCO (1982 a, b). Esse fato é importante na fase de estabelecimento da cultura do cafeeiro, que se estende do plantio até os dois anos de idade. Após esse período, o cafeeiro passa a sombrear gradativamente a superfície do solo, amenizando esse efeito.

Na tabela 3, aos 240 DAT, observa-se uma predominância de crescimento em altura de 'Piatã', seguido de 'Excelsa', 'Catuaí', 'Apoatã' e 'Bangelan'. Em 'Excelsa', apesar de maior área foliar, notou-se menor número de pares de folhas e ausência de emissão de ramos plagiotrópicos, e em 'Catuaí', maior emissão de ramos plagiotrópicos e, consequentemente, maior número de pares de folhas, em relação aos demais genótipos. Nos genótipos 'Excelsa' e 'Piatã', verificaram-se maiores valores de massa seca da parte aérea, resultante de maior massa foliar específica para o primeiro e maior crescimento em altura para o segundo.

Tabela 3. Altura de planta (AP), número de pares de folha (PF), área foliar (AF), número de ramos plagiótópicos (NRP), massa seca da parte aérea (MSPA) em genótipos de *Coffea* crescidos em tubos de PVC aos 240 dias após o transplante (DAT) e massa foliar específica (MFE) em plantas cultivadas no campo. Valores médios de cinco repetições

Tratamentos	AP	PF	AF	NRP	MSPA	MFE	240 DAT			
							cm	dm ²	g	g.m ⁻²
Apoatã IAC 2258	44,20 b	9,00 b	10,18 b	1,32 c	13,45 b	501,26 b				
Bangelan IAC col.5	38,60 c	9,00 b	10,83 b	1,42 c	14,22 b	-				
Catuaí Vermelho IAC 144	44,20 b	10,20 a	11,35 b	4,66 a	15,96 b	551,27 b				
Excelsa	45,20 b	7,60 c	13,54 a	0,00 d	20,82 a	830,00 a				
Piatã (IAC 387)	56,60 a	8,80 b	11,13 b	2,74 b	19,64 a	621,15 b				
F	34,84 **	16,38 **	9,85 **	418,39 **	26,69 **	22,09 **				
CV %	5,45	5,71	7,94	9,49	8,41	9,83				

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

A avaliação dos teores foliares de macronutrientes das plantas desenvolvidas em saco plástico, realizada aos 240 DAT, é apresentada na Tabela 4. Verificou-se que os teores foliares de nitrogênio foram significativamente maiores em ‘Apoatã’ e ‘Bangelan’, em relação ao ‘Catuaí’; o menor valor ocorreu em ‘Excelsa’ (Tabela 4). Resultados semelhantes para o ‘Apoatã’ foram observados no experimento realizado no campo, em plantas com quatro anos de idade (Tabela 5). É importante salientar que os maiores teores foliares de nitrogênio foram observados em ‘Apoatã’, tanto em condições de ampla disponibilidade de água (Tabela 4) como no campo, em regime hídrico ambiente (Tabela 5).

Os teores foliares de potássio, nos dois experimentos, foram significativamente maiores nos genótipos ‘Piatã’, ‘Apoatã’ e ‘Bangelan’ em relação ao ‘Catuaí’ e em ‘Excelsa’, verificou-se o menor valor (Tabela 4). A maior capacidade do sistema radicular

do ‘Apoatã’ e do ‘Bangelan’ em absorver potássio em relação ao ‘Catuaí’ também foi observada por FAHL et al. (1998), em plantas de *C. arabica* (Catuaí IAC 81 e Mundo Novo IAC 515-20) enxertadas sobre o sistema radicular de *C. canephora* (Apoatã IAC 2258 e IAC 2286) e de Bangelan IAC col. 5. O potássio, juntamente com o nitrogênio, constituem os principais nutrientes envolvidos no desenvolvimento e na produção do cafeiro (MALAVOLTA, 1986; WILLSON, 1987). CATANI e MORAES (1958), MALAVOLTA et al. (1963) e CIETTO et al. (1991) relatam que esses elementos, além de serem extraídos do solo em maior quantidade, são também os mais exportados, por ocasião da colheita, como constituintes de grãos e cascas dos frutos. Conforme descrito por CARVAJAL et al. (1969) e CANNELL e KIMEU (1971), os frutos atuam como drenos preferenciais dos nutrientes absorvidos pela planta e, em situação de produção elevada, mobilizam grande parte dos nutrientes das folhas ou de outras partes da planta.

Tabela 4. Teores foliares de macronutrientes em cinco genótipos de café (‘Apoatã’; ‘Bangelan’; ‘Catuaí’; ‘Excelsa’; ‘Piatã’). Experimento desenvolvido sob telado em solo contido em saco plástico

Tratamentos	N	K	P	Ca		Mg
				g kg ⁻¹		
Apoatã IAC 2258	34,57 a	19,93 b	1,63 bc	13,93 d	2,60 b	
Bangelan IAC col.5	34,77 a	18,67 c	1,57 c	14,77 cd	2,43 c	
Catuaí Vermelho IAC 144	33,07 b	15,30 d	1,77 ab	16,37 b	3,20 a	
Excelsa	28,03 d	12,70 e	1,37 d	19,43 a	2,20 d	
Piatã (IAC 387)	30,37 c	20,97 a	1,87 a	15,43 bc	3,20 a	
F	144,51 **	289,24 **	26,56 **	119,17 **	232,75 **	
CV (%)	1,30	1,99	3,93	2,10	1,89	

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 5. Teores foliares de macronutrientes em quatro genótipos de café ('Apoatã'; 'Catuai'; 'Excelsa'; 'Piatã'). Experimento desenvolvido em campo

Tratamentos	N	K	P	Ca	Mg
			g kg ⁻¹		
Apoatã IAC 2258	30,22 a	18,72 a	1,80 a	10,38 c	2,42 bc
Catuaí Vermelho IAC 144	25,24 b	10,04 c	1,26 b	19,86 a	2,90 a
Excelsa	17,78 c	13,56 b	1,12 b	13,16 b	2,16 c
Piatã (IAC 387)	25,20 b	17,64 a	1,86 a	11,10 c	2,46 b
F	302,45 **	65,02 **	81,00 **	201,90 **	19,56 **
CV (%)	2,70	7,40	6,20	5,0	6,20

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Neste trabalho, considerando que a disponibilidade de nutrientes no solo era a mesma para todos os genótipos, em ambos os experimentos, a melhor absorção de nitrogênio e de potássio dos genótipos 'Apoatã' e 'Bangelan', em relação ao 'Catuai', revela que os sistemas radiculares desses dois materiais podem proporcionar maior suprimento dos referidos nutrientes para a copa de 'Catuai', quando utilizados como porta-enxerto.

Em condições de ampla disponibilidade de água, o teor foliar de fósforo de 'Catuai' foi semelhante ao de 'Apoatã', porém maior que o de 'Bangelan' (Tabela 4). No campo, o teor de fósforo das folhas do 'Apoatã' foi significativamente maior do que o observado para o 'Catuai' (Tabela 5). A maior capacidade de absorção de fósforo de 'Apoatã' em relação ao 'Catuai', em condições de campo, onde se verifica menor disponibilidade de água e nutrientes em relação às condições dos sacos plásticos, pode ser atribuída à maior capacidade de absorção de água por 'Apoatã' (FAHL e CARELLI, 1985; FAHL et al., 2001a e FAHL et al., 2001b), e ao maior volume e profundidade de solo explorados pelo sistema radicular de 'Apoatã', em relação à 'Catuai', o que possibilitaria maior absorção desse elemento (MEDICALF, 1956). O maior teor foliar de fósforo observado em plantas de 'Piatã' em relação às de 'Catuai', sob condições de campo (Tabela 5), também pode-se atribuir ao maior volume de solo explorado pelo seu sistema radicular, como verificado para 'Apoatã'.

Os teores foliares de cálcio e magnésio foram maiores em plantas de 'Catuai' do que nas de 'Apoatã' e 'Bangelan', no experimento em sacos plásticos (Tabela 4), e do que em 'Apoatã', em condições de campo (Tabela 5). A menor absorção de magnésio pelo sistema radicular de 'Apoatã' e 'Bangelan', em relação ao sistema radicular do 'Catuai', também foi constatada por FAHL et al. (1998), comparando folhas de plantas de *C. arabica* (Catuai IAC 81 e Mundo Novo IAC 515-20) com folhas do

mesmo material de *C. arabica* enxertado sobre sistemas radiculares de *C. canephora* (Apoatã IAC 2258 e IAC 2286) e IAC Bangelan col. 5.

A análise dos teores foliares de micronutrientes revelou que, em condições de maior disponibilidade desses elementos, como se verificou em plantas desenvolvidas em sacos plásticos (Tabela 6), não houve diferença significativa nos teores de boro, zinco e cobre entre 'Apoatã', 'Bangelan' e 'Catuai'. Entretanto, os teores foliares de manganês em 'Catuai' foram praticamente o dobro dos observados para 'Apoatã' e 'Bangelan'. FAHL et al. (1998) também observaram sensível redução dos teores de manganês em folhas de plantas de *C. arabica* (Catuai IAC 81 e Mundo Novo IAC 515-20) enxertadas sobre sistemas radiculares de *C. canephora* (Apoatã IAC 2258 e IAC 2286) e IAC Bangelan col. 5, em relação aos teores foliares das plantas não enxertadas. Esses autores ressaltam que a menor absorção de manganês pelas plantas enxertadas sobre *C. canephora* (Apoatã IAC 2258 e IAC 2286) e IAC Bangelan col. 5 deve-se provavelmente à seletividade do sistema radicular desses materiais em reduzir a absorção de manganês. Essa sugestão baseia-se no fato de a espécie *C. canephora* ser muito mais sensível à toxicidade desse elemento, apresentando níveis críticos de manganês nas folhas bem menores do que os de *C. arabica* (WILLSON, 1987). Como grande parte das lavouras de café no Brasil encontra-se em solos ácidos com elevado teor de manganês, havendo necessidade da aplicação de calcário para evitar sua toxicidade, materiais genéticos com sistema radicular com seletividade para reduzir sua absorção - 'Apoatã', 'Bangelan', 'Excelsa' e 'Piatã' - são extremamente importantes para aumentar o crescimento e a produtividade do cafeiro nesses solos. MALAVOLTA et al. (1983) observaram que a produtividade dos cafeeiros, desenvolvidos em solos com elevados teores de manganês, aumenta, dentro de certo limite, com o decréscimo de seu teor na folha.

Tabela 6. Teores foliares de micronutrientes em cinco genótipos de café ('Apoatã'; 'Bangelan'; 'Catuaí'; 'Excelsa'; 'Piatã'). Experimento desenvolvido sob telado em solo contido em saco plástico

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg kg ⁻¹					
Apoatã IAC 2258	44,67 ab	6,33 b	444,00 a	68,33 d	13,10 ab
Bangelan IAC col.5	46,10 a	6,07 b	389,67 ab	77,67 c	14,63 a
Catuaí Vermelho IAC 144	46,87 a	6,67 b	384,33 b	133,00 a	13,67 ab
Excelsa	27,37 c	7,13 b	212,67 c	61,33 d	11,60 b
Piatã (IAC 387)	43,17 b	8,73 a	333,67 b	99,33 b	13,10 ab
F	320,73 **	10,99 **	52,46 **	266,04 **	3,62 *
CV (%)	1,88	7,88	5,93	3,49	7,58

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 7. Teores foliares de micronutrientes em quatro genótipos de café ('Apoatã'; 'Catuaí'; 'Excelsa'; 'Piatã'). Experimento desenvolvido em campo

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg kg ⁻¹					
Apoatã IAC 2258	30,80 d	15,60 b	172,20 a	121,80 c	7,40 b
Catuaí Vermelho IAC 144	57,20 a	17,60 a	160,40 ab	475,20 a	13,20 a
Excelsa	39,20 c	11,40 c	129,40 c	240,20 b	4,60 c
Piatã (IAC 387)	45,40 b	15,60 b	145,20 bc	274,00 b	8,00 b
F	98,28 **	50,44 **	9,47 **	85,43 **	386,00 **
CV (%)	5,90	5,50	8,90	12,90	4,90

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

No campo, em condições de menor disponibilidade de nutrientes no solo (Tabela 7), verificou-se, em 'Catuaí', maior eficiência na absorção de todos os micronutrientes analisados, exceto ferro, em relação aos demais genótipos estudados. Esses resultados mostram que plantas de 'Catuaí' enxertadas sobre sistemas radiculares de 'Apoatã', 'Excelsa' e 'Piatã', possivelmente, devem requerer maior suprimento de micronutrientes quando desenvolvidas em solos com esses elementos em níveis mais baixos.

Os resultados das medidas das trocas gasosas fotossintéticas efetuadas em plantas desenvolvidas em tubos de PVC, com adequado suprimento de água e nutrientes minerais, mostraram que, em todos os genótipos, a Pn e a gs foram maiores no período da manhã do que à tarde (Figuras 2A,B). Ao contrário, a Tr foi maior no período da tarde do que de manhã (Figura 2C).

Os decréscimos na Pn e na gs e o aumento na Tr, no período da tarde, podem ser atribuídos

principalmente ao aumento da temperatura, que ocorre nas folhas nesse período (Figura 2D), e à redução da umidade relativa do ar (Figura 2E). Esses resultados concordam com trabalhos anteriores, nos quais se observaram que temperaturas elevadas (NUNES et al., 1968; KUMAR e TIESZEN, 1980; CANNELL, 1985; FAHL et al., 1992 b) e maior déficit de pressão de vapor do ar (HERNANDEZ et al., 1989) causam decréscimos na Pn e na gs em folhas de plantas de café.

Tanto no período da manhã, como à tarde, a Pn de 'Excelsa' foi cerca de 38% maior do que a do 'Catuaí', espécies que apresentaram valores extremos (Figura 2A). Nos demais genótipos, observaram-se valores intermediários e semelhantes entre si nos dois períodos. A superioridade da Pn apresentada por 'Excelsa' pode estar relacionada, principalmente, com a maior massa foliar específica, cerca de 50% maior que a do 'Catuaí' (Tabela 4). O aumento na massa foliar específica, presumivelmente, conduz a um maior volume interno para difusão de CO₂ e maior volume celular para abrigar o aparelho fotossintético (BJORKMAN, 1981).

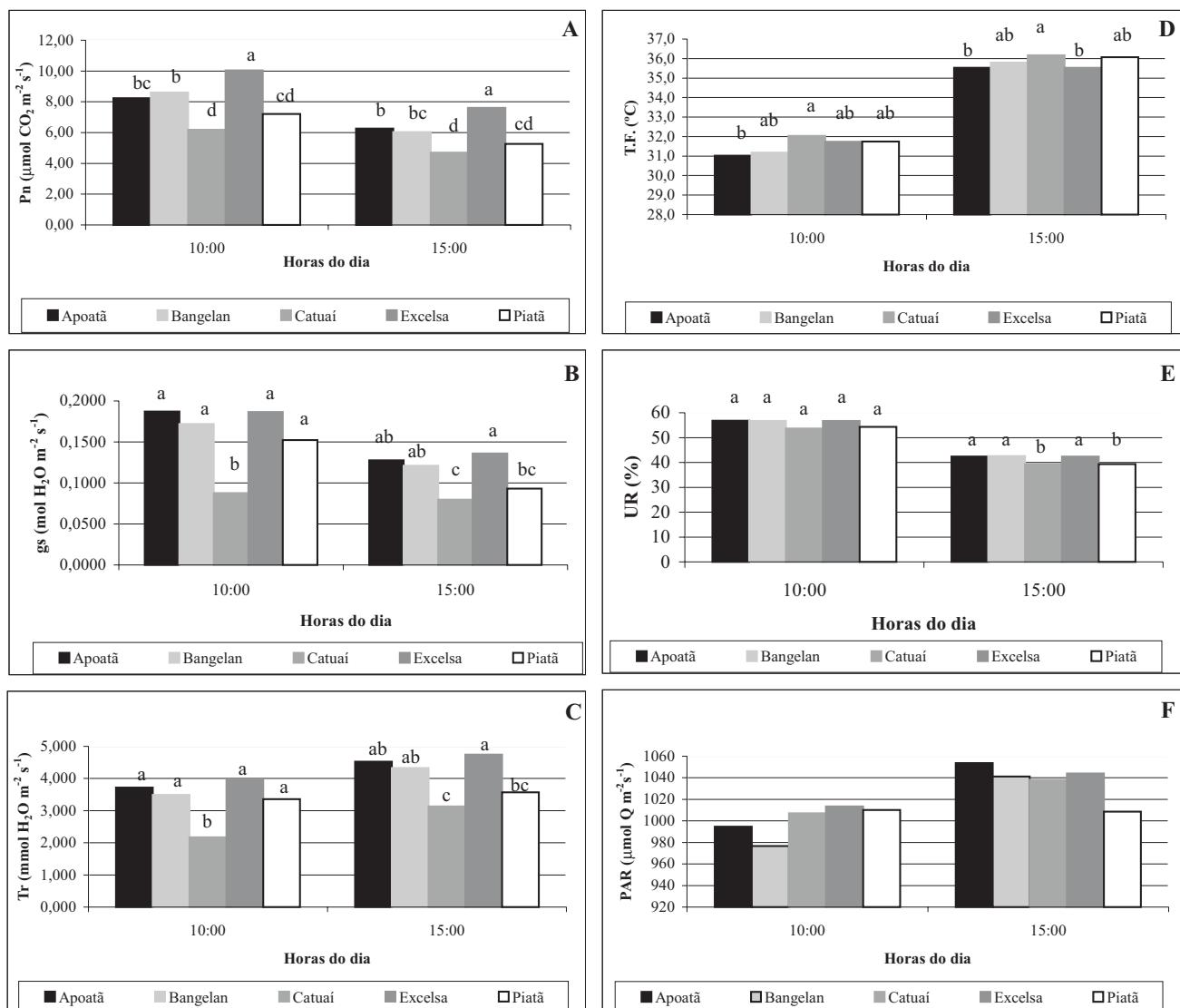


Figura 2. A: Fotossíntese (Pn); B: condutância estomática (gs); C: transpiração (Tr); D: temperatura da folha (T.F.); E: umidade relativa do ar (UR) e F: radiação solar (PAR) de folhas de plantas de cinco genótipos de café ('Apoatá'; 'Bangelan'; 'Catuaí'; 'Excelsa'; 'Piatã'), cultivadas em tubos de PVC. Colunas com as mesmas letras, dentro de cada horário, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%.

No período da manhã, a Pn de 'Apoatá' e 'Bangelan' foi cerca de 25% e 29%, respectivamente, maiores do que a de 'Catuaí', enquanto Tr e gs foram aproximadamente o dobro das observadas para 'Catuaí'. Valores semelhantes foram obtidos por FAHL et al. (2001 a, b) em avaliações efetuadas em plantas adultas de *C. arabica* e *C. canephora* cv. 'Apoatá' desenvolvidas no campo e em tambores de 200 litros, e por DA MATTA et al. (1997), em plantas de café cultivadas em sacos plásticos, submetidas a temperaturas que simulavam as condições de verão e inverno. FAHL et al. (2001 a,b) sugeriram que as

maiores medidas de Tr e gs de 'Apoatá' foram resultantes de maior eficácia na absorção de água e a maior profundidade alcançada pelo seu sistema radicular em relação a *C. arabica*. Nesses mesmos trabalhos, os autores verificaram que a maior eficiência na absorção de água pelo sistema radicular de 'Apoatá' permite melhor suprimento de água para plantas de *C. arabica* enxertadas sobre sistema radicular desse material genético, o que confirma a baixa eficácia do sistema radicular de *C. arabica* em absorver água (BRUNINI e ANGELOCCI, 1998).

Nas figuras 3 e 4, são apresentados os resultados das medidas de trocas gasosas realizadas em fevereiro de 2002 e junho de 2001, em plantas cultivadas no campo. Verifica-se pela figura 3 que, com excedente de água em solo (+ 16 mm), todos os materiais genéticos apresentaram Pn, gs e Tr semelhantes entre si, nos dois períodos de avaliação. Sob condições de défice hídrico no solo (Figura 4), de manhã, as trocas gasosas dos genótipos 'Catuaí' e 'Excelsa' foram significativamente maiores do que as observadas para 'Apoatã' e 'Piatã'. No período da tarde, 'Excelsa' apresentou os maiores valores de trocas gasosas, seguido pelos genótipos 'Catuaí' e 'Apoatã', e finalmente pelo 'Piatã'.

De modo geral, nas duas épocas de avaliação (Figuras 3 e 4), as trocas gasosas dos materiais genéticos foram maiores no período da manhã do que à tarde, confirmando os dados obtidos em tubos de PVC (Figura 2). Contudo, o decréscimo observado à tarde, em relação ao período da manhã, foi bem menos acentuado para 'Apoatã', ressaltando-se que, em condições de défice hídrico no solo, a Pn desse genótipo foi semelhante nos dois períodos do dia (Figura 4). A maior capacidade do sistema radicular de 'Apoatã' em fornecer água para a parte aérea ao longo do dia já foi observada anteriormente por FAHL et al. (2001 a), em condições de deficiência hídrica, e FAHL et al. (2001 b), sob excedente hídrico no solo.

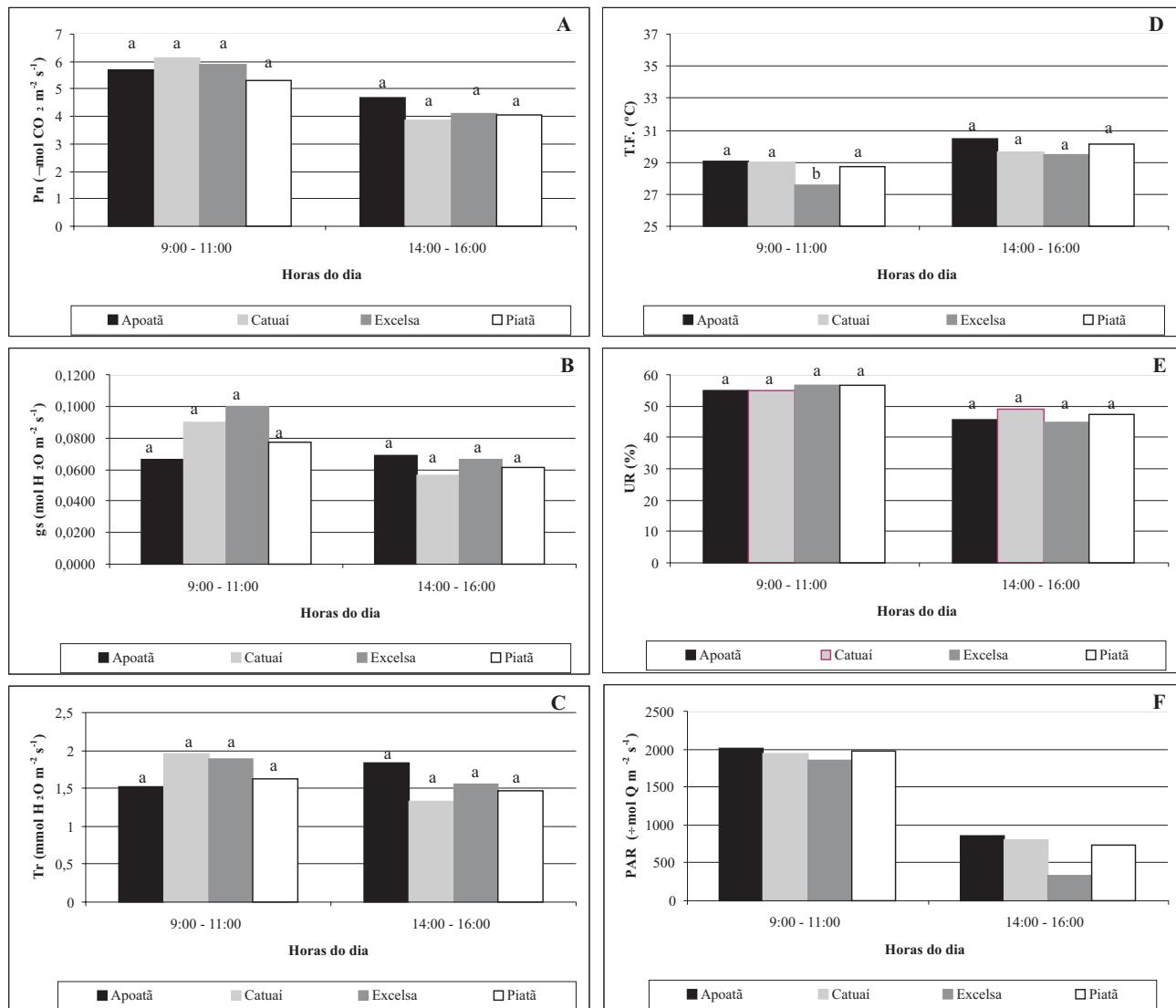


Figura 3. A: Fotossíntese (Pn); B: transpiração (Tr); C: condutância estomática (gs); D: temperatura da folha (T.F.); E: umidade relativa do ar (UR) e F: radiação solar (PAR) em folhas de plantas de quatro genótipos de café ('Apoatã'; 'Catuaí'; 'Excelsa'; 'Piatã') sob condições de excedente hídrico no solo (+16 mm). Medida realizada em fevereiro de 2002, em experimento desenvolvido no campo. Colunas com as mesmas letras, dentro de cada horário, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%.

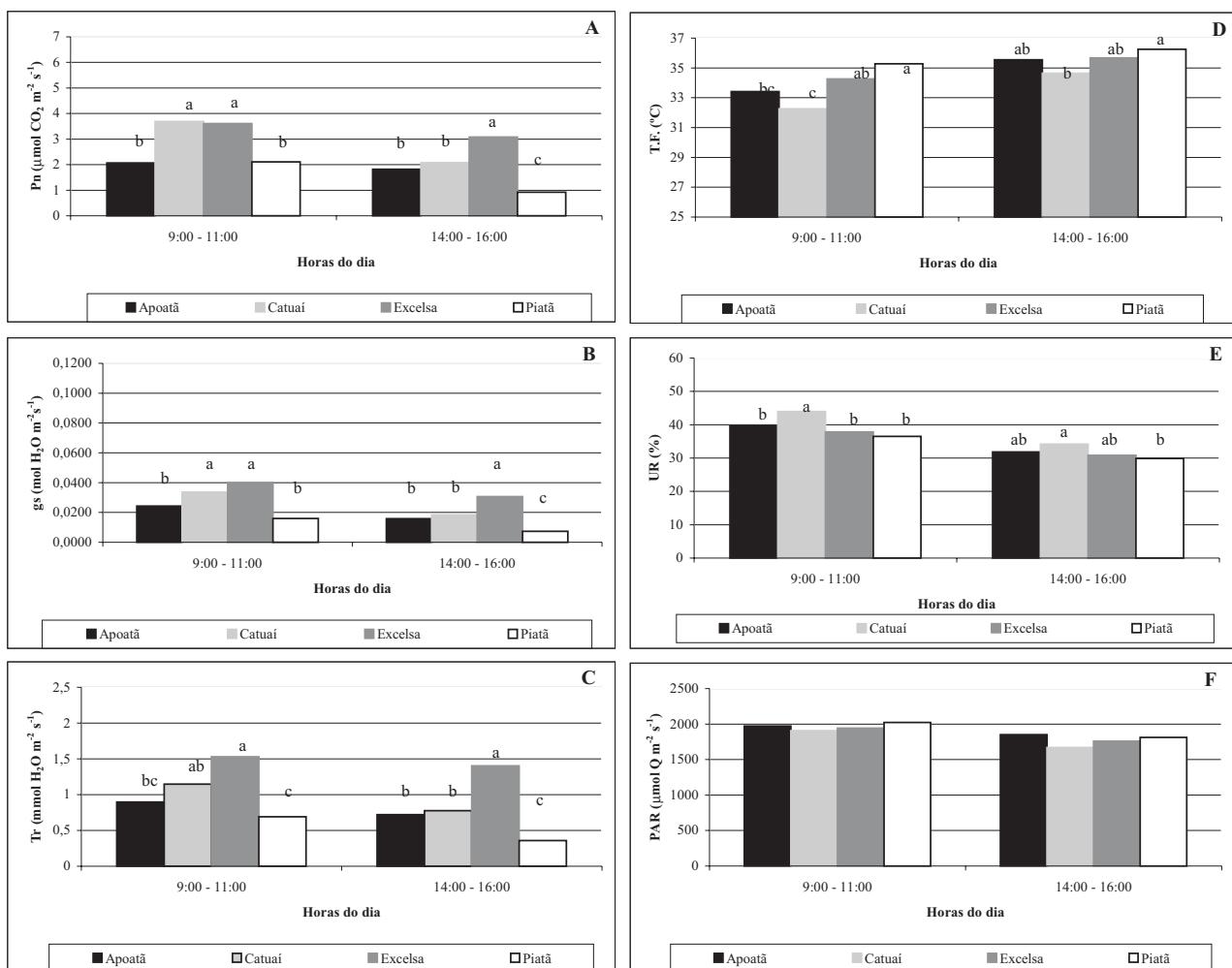


Figura 4. A: Fotossíntese (Pn); B: transpiração (Tr); C: condutância estomática (gs); E: temperatura da folha (T.F.); E: umidade relativa do ar (UR) e F: radiação solar (PAR) em folhas de plantas de quatro genótipos de café ('Apoatá'; 'Catuaí'; 'Excelsa'; 'Piatã') sob condições de deficiência hídrica no solo (-71 mm). Medida realizada no mês de junho de 2001 em experimento desenvolvido no campo. Colunas com as mesmas letras, dentro de cada horário, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%.

Analizando-se individualmente o comportamento dos genótipos estudados na época seca e chuvosa, verifica-se que, sob condições de défice hídrico (-71 mm), houve reduções significativas nos valores de Pn, sendo as mais expressivas observadas para 'Apoatá' (62%) e 'Piatã' (60%), em relação aos valores com o solo úmido (Figuras 3A e 4A). Para as plantas de 'Catuaí' e 'Excelsa', as reduções foram menos pronunciadas, situando-se ao redor de 40% (Figuras 3A e 4A). A gs e a Tr apresentaram decréscimos semelhantes aos verificados para a Pn (Figuras 3B, 3C, 4B e 4C). Pelos resultados, sugere-se que, em condições de défice hídrico severo (-71 mm), as trocas gasosas de 'Apoatá' são mais intensamente prejudicadas do que as de C.

arabica, devido ao maior esgotamento da água do solo ao redor de suas raízes, em consequência de sua pouca habilidade em controlar a perda de água pela planta (FAHL et al. 2001a).

O decréscimo observado nas trocas gasosas sob condições de défice hídrico pode ter sido ocasionado pela menor disponibilidade de água no solo e pela redução da umidade do ar (Figuras 3E e 4E), que resultam em maior défice de pressão de vapor e maior temperatura foliar (Figuras 3D e 4D). A elevação da temperatura provavelmente é ocasionada pela diminuição da perda de calor latente pela transpiração foliar, uma vez que a energia radiante recebida pelas folhas nas duas épocas foi semelhante (Figuras 3F e 4F).

4. CONCLUSÕES

1. Observou-se em 'Bangelan' maior comprimento da raiz pivotante e mais quantidade de raízes secundárias, até a profundidade de 60 cm, do que em 'Catuai'.

2. Os teores foliares de potássio dos genótipos 'Piatã' e 'Apoatã' e 'Bangelan' foram superiores aos de 'Catuai' e 'Excelsa'. No campo, sob condições de baixa disponibilidade de nutrientes e água, os teores foliares de fósforo dos genótipos 'Apoatã' e 'Piatã' foram superiores aos do 'Catuai' e 'Excelsa'. No campo, os teores foliares de cálcio e magnésio e dos micronutrientes B, Cu, Mn e Zn, exceto Fe, foram maiores em 'Catuai' do que nos demais genótipos.

3. Em todos os genótipos, houve decréscimos nos valores da taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração no período da tarde. Em condições de disponibilidade de água no solo, notou-se em 'Catuai' os menores valores de trocas gasosas, nos dois períodos de avaliação (manhã e tarde). Sob condições de défice hídrico no solo, houve quedas significativas nas taxas fotossintéticas, condutância estomática e transpiração, sendo as mais pronunciadas em 'Apoatã' e 'Excelsa', e menos em 'Catuai' e 'Piatã', em relação aos valores observados sem restrição hídrica. Em condições de défice e de excedente hídrico no solo, praticamente, em 'Apoatã', não houve diferença na taxa fotossintética nos dois períodos avaliados (manhã e tarde), em relação aos demais genótipos, que tiveram quedas mais acentuadas no período da tarde.

4. Pelos resultados obtidos neste trabalho, foram observadas características favoráveis em 'Bangelan' e 'Apoatã' para a utilização como porto-enxerto em *C. arabica*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e desenvolvimento do Café – CBP&D/Café, pelo financiamento do trabalho e ao Técnico de Apoio Edson Ribeiro da Silva, pela colaboração na obtenção dos dados.

REFERÊNCIAS

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)

BJORKMAN, O. Responses to different quantum flux densities. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H. (Ed.), **Encyclopedia of Plant Physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1981, v.12A, p.57-107.

BRUNINI, O.; ANGELOCCI, L.R. Resistência ao fluxo de água no sistema solo-planta e recuperação do potencial da água na folha após estresse hídrico em mudas de cafeeiros. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.10, p.45-50, 1998.

CANNELL, M.G.R. Physiology of coffee crop. In: CLIFFORD, N.M.; WILLSON, K.C. (Ed.). **Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. London: Croom Helm, 1985. p.108-134.

CANNELL, M.G.R.; KIMEU, B.S. Uptake and distribution of macronutrients in trees of *Coffea arabica* L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. **Annals of Applied Biology**, London, v.68, p.213-230, 1971.

CARVAJAL, J.F.; ACEVEDO, A.C.; LOPES, C.A. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. **Turrialba**, San José, v.19, p.13-20, 1969.

CASSIDY, D.S.M.; KUMAR, D. Root distribution of *Coffea arabica* L. in Zimbabwe. I. The effect of plant density, mulch, cova planting and shade in Chipinge. **Zimbabwe Journal of Agriculture Research**, Causeway, v.22, p.119-132, 1984.

CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P. A composição química do café. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.33, p.45-52, 1958.

CIETTO, S.; HAAG, H.P., DECHEN, A.R. Acumulação de matéria seca, absorção de N P e K pelo cafeiro(*Coffea arabica* L. cv. Catuai) com dois, três, quatro e cinco anos de idade, nas fases fenológicas de repouso, granação e maturação vegetando em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.48, p.245-268, 1991.

COSTA, W. M.; GONÇALVES, W. & FAZUOLI, L. C. Produção do café Mundo Novo em porta-enxerto de *Coffea canephora* em área infestada com *Meloidogyne incognita* raça 1. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v.15, p43-50, 1991.

DA MATTA, F.M.; MAESTRI, M.; MOSQUIM, P.R.; BARROS, R.S. Photosynthesis in (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. **Plant Science**, v.128, p.43-50, 1997.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Estudo fisiológico da interação enxerto e porta-enxerto em planta de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1985. p115-117.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; COSTA, W. M.; NOVO, M. C. S. Enxertia de *Coffea arabica* sobre progénies de *C. canephora* e de *C. congensis* no crescimento, nutrição mineral e produção. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.2, p.297-312, 1998.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; MAGALHÃES, A.C. Asimilación de carbono y nitrógeno em hojas de café. **Turrialba**, San José, v.42, p.523-527, 1992a.

- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. e MAGALHÃES, A.C. Medida da fotossíntese líquida por cromatografia a gás em folhas intactas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.15, p.57-65, 1992b.
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; MAGOSSI, R.; ALFONSI, E. L.; PEZZOPANE, J.R.M.. Estudo da enxertia de cultivares de *Coffea arabica* sobre *C. canephora* nas características fotossintéticas e de fluxo de seiva. In: II SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café/Minasplan, 2001b.
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; MENEZES, H.C.; GALLO, P.B.; TREVELIN, P.C.O. Gas exchange, growth, yield and beverage quality of *Coffea arabica* cultivars grafted on to *C. canephora* and *C. congensis*. **Experimental Agriculture**, London, v.37, p.241-252, 2001a.
- FAZUOLI, L. C.; COSTA, W. M.; BORTOLETTO, N. Efeitos do porta-enxerto LC 2258 de *Coffea canephora*, resistente a *Meloidogyne incognita*, no desenvolvimento e produções iniciais de dois cultivares de *Coffea arabica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1983. p.113-115.
- FRANCO, C. M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.6, p.443-478, 1946.
- FRANCO, C. M. Efeito da temperatura do solo e suas oscilações sobre o crescimento e o acúmulo de nutrientes na parte aérea do cafeeiro. **Turrialba**, San José, v.32, n.3, p.249-255, 1982a.
- FRANCO, C. M. Efeito de temperaturas supra-ótimas no sistema radicular, no crescimento e na absorção e translocação de nutrientes em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. **Turrialba**, San Jose, v.32, n.3, p.243-247, 1982 (b).
- GARRIZ, P.I. Distribución radicular de tres cultivares de *Coffea arabica* L. de 24 años de edad, em suelo limo-arcilloso. **Ciencias de la Agricultura**, v.2, p.55-76, 1978.
- GUICAFRE-ARRILAGA, J.; GÓMEZ, L.A. Studies of the root system of *Coffea arabica* L.: I - environmental condition affecting the distribution of coffee root in Coloso Clay soil. **Journal of Agriculture of the University of Porto Rico**, Río Piedras, v.26, n.2, p.227-262, 1938.
- GUICAFRE-ARRILAGA, J.; GÓMEZ, L.A. Studies of the root system of *Coffea arabica* L.: II- growth and distribution in Catalina Clay soil. **Journal of Agriculture of the University of Porto Rico**, Río Piedras, v.24, n.3, p.109-117, 1940.
- GUICAFRE-ARRILAGA, J.; GÓMEZ, L.A. Studies of the root system of *Coffea arabica* L.: III - growth and distribution of root of 21 years old trees in Catalina Clay soil. **Journal of Agriculture of the University of Porto Rico**, Río Piedras, v.26, n.2, p.34-39, 1942.
- HERNANDEZ., A.P.; COCK, J.H.; EL-SHARKAWY, M.A. The responses of leaf gas exchange and stomatal conductance to air humidity in shade-grown coffee, tea, and cacao plants as compared with sunflower. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.1, p.155-161, 1989.
- INFORZATO, R.; REIS, A.J. Estudo comparativo do sistema radicular dos cafeeiros Bourbon Amarelo e Mundo Novo. **Bragantia**, Campinas, v.22, p.741-750, 1963.
- INFORZATO, R.; REIS, A.J. **Sistema radicular do cafeeiro**. Campinas: Instituto Agronômico, 1974. p.13. (Circular nº40)
- KUMAR, D.; TIESZEN, L.L.. Photosynthesis in *Coffea arabica* I. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, London, v.16, p.13-19, 1980.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1986. p.165-274.
- MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J.C.; GUIMARÃES, P.T.G. Effect of micronutrients on coffee (*Coffea arabica* L.) grown in Latin America. **Journal of Coffee Research**, Karnataka, v.13, p.64-77, 1983.
- MALAVOLTA, E.; GRANER, E.A.; SARRUGE, J.R.; GOMES, L. Estudo sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XI: extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades 'Bourbon Amarelo', 'Caturra Amarelo' e 'Mundo Novo'. **Turrialba**, San José, v.13, p.188-189, 1963.
- MENDCALF, J.C. **Estudos preliminares sobre aplicação de cobertura morta em cafeeiros novos do Brasil**. New York: IBEC Research Institute, 1956. p.59.
- NUNES, M.A. ; BIERHUIZEN, J.F.; PLOEGMAN, C.. Studies on productivity of coffee. I . Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Acta Botanica Neerlandica**, Wageningen, v.17, p.93-102, 1968.
- SÁIZ DEL RIO, J.F.; FENÁNDEZ, C.E.; BELLAVITA, O. Distribution of absorbing capacity of coffee roots determined by radioactive tracers. **Proceedings of the American Society for Horticulture Science**, Beltsville, v.77, p.240-244, 1961.
- SUÁREZ DE CASTRO, F. Algunas observaciones sobre el sistema radicular de *Coffea arabica* L. **Revista Cafetera de Colombia**, Bogotá, v.10, p.3604-3612, 1951.
- VAZ, J.T. Estudo do sistema radicular do cafeeiro em Angola. In: D' Oliveira, A.L.B. **Primeira reunião técnica F.A.O.-C.C.T.A. sobre a produção e protecção do cafeeiro**. Abidjan, IEA, 1960. p. 55-70.
- WILLSON, K.C. Mineral nutrition and fertiliser needs. In: CLIFFORD, M.M.N.; WILLSON, K.C. (Ed.) **Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. London: Croom Helm, 1987. Cap.6, p.135-156.