

**PLANTAS DE *Coffea canephora* PIERRE
CRESCIDAS EM CONFINAMENTO DO SISTEMA
RADICULAR: TEORES DOS PIGMENTOS
FOTOSSINTÉTICOS, EMISSÃO DA
FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a* E TROCAS
GASOSAS¹**

Alena Torres Netto²
Eliemar Campostrini³

RESUMO

Plantas de *Coffea canephora* Pierre propagadas vegetativamente foram transplantadas com \cong 18 cm de altura em recipientes de cultivo de diferentes volumes (50, 100, 200, 300 e 3.400 mL) contendo Plantmax[®] como substrato. As plantas cresceram em telado com 50% de interceptação da luz incidente e, durante o manejo, foi utilizado um sistema de irrigação do tipo nebulização intermitente. Da 17^a até a 20^a semana após o transplântio (SAT) foi aplicada solução nitrogenada diretamente no substrato. Da 22^a até a 28^a SAT foi aplicada solução nutritiva completa (SNC) via água de irrigação. O confinamento do sistema radicular afetou a relação Clorofila Total/Carotenóides (CT/CAR) nas folhas de plantas de *Coffea canephora*, na 16^a, 20^a e 28^a semana após o transplântio (SAT). Nestas épocas, em relação às plantas crescidas nos recipientes de 3.400 mL, as cultivadas nos recipientes de menor volume (50, 100, 200 e 300 mL) apresentaram reduções na relação CT/CAR. Entretanto, na 26^a SAT e nas plantas crescidas nos recipientes de 50 mL, os comprometimentos na relação CT/CAR afetaram apenas a taxa fotossintética líquida.

Palavras-chave: pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas, *Coffea canephora* Pierre; confinamento radicular

¹ Aceito para publicação em 07.07.2004.

² Bolsista de Doutorado da FAPERJ; E-mail: alena@uenf.br

³ Professor Associado. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015620, Campos dos Goytacazes-RJ/ Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias/ Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal/ Setor de Fisiologia Vegetal . E-mail: campost@uenf.br

ABSTRACT

Coffea canephora PIERRE PLANTS GROWN IN ROOT

Coffea canephora Pierre cuttings (\cong 18 cm high) were grown in five pot sizes (50, 100, 200, 300 and 3.400 mL), filled with Plantmax®. The plants grew under screen with 50% light interception. A sprinkle intermittent irrigation system was used. From the 17th to the 20th week after transplantation (WAT), nitrogen solution (N) was applied directly in the substrate. From the 22nd to the 28th WAT complete nutrient solution (CNS) was applied by water irrigation. Root restriction affected the total chlorophyll/carotenoid ratio (CT/CAR) in *Coffea canephora* leaves on the 16th, 20th and 28th SAT, which means that the plants grown in the smaller pot sizes (50, 100, 200 and 300 mL) presented lower values of CT/CAR ratio than the plants grown in 3.400 mL pot sizes. However, these reduced CT/CAR ratios only affected the net photosynthetic rate values in plants grown in 50 mL pot sizes on the 26th WAT.

Key words: photosynthetic pigments; chlorophyll *a* fluorescence; gas exchange; *Coffea canephora* Pierre; root restriction

INTRODUÇÃO

O confinamento do sistema radicular (CSR) é um estresse físico imposto às raízes quando as plantas crescem em recipientes de pequeno volume, que induz a redução no crescimento da parte aérea (8, 9, 34). Entretanto, os processos fisiológicos e bioquímicos envolvidos não são bem conhecidos. Em cafeeiro, o estudo dos efeitos do CSR sobre o processo fisiológico é de extrema importância, pois quando uma muda é formada em tubetes de pequeno volume (~50 mL) e permanece por longo período neles, antes de ser transplantada para recipientes do tipo sacola plástica (~500 mL) ou levada ao campo, as deformações acentuam-se, podendo comprometer seriamente a longevidade das plantas (30).

O efeito do confinamento do sistema radicular sobre a taxa fotossintética é muito questionável. Ela foi maior em feijoeiros (9) e reduzida em folhas de plantas de fumo (18). Entretanto, não foram observadas alterações nessa taxa em folhas de soja cultivadas em CSR (23). Alguns autores verificaram correlação positiva entre o volume do sistema radicular e a taxa fotossintética (2, 9, 44). As possíveis causas desta diminuição da taxa em folhas de plantas submetidas ao CSR não estão claras, e possíveis justificativas incluem a diminuição da disponibilidade de água e de nutrientes (10), as respostas fitohormonais (9, 19) e, ou, acúmulo de carboidratos (2). Entretanto, de acordo com alguns trabalhos, os efeitos do CSR sobre o processo fotossintético estão

relacionados às reduções na condutância estomática causadas pela ação do ácido abscísico (19). Segundo Hurley e Rowarth (19), não houve alteração no potencial hídrico foliar, e efeitos não-hidráulicos (sinal químico) do CSR foram os causadores das alterações no processo fotossintético.

O efeito do CSR sobre o processo fotossintético pode ser ainda justificado pelo acúmulo de carboidratos na parte aérea (2), devido à diminuição do dreno (raízes); como consequência, o aumento no teor de carboidratos provocaria a inibição do tipo *feedback* nas folhas-fontes (2, 21, 37, 38, 41). Em espécies tropicais e subtropicais, foi verificado que o CSR reduziu a taxa fotossintética, o que foi atribuído ao acúmulo de amido e açúcares nas folhas (37). Em plantas de repolho, o CSR afetou o metabolismo de carboidratos (36), pois as folhas das plantas crescidas em CSR (recipiente de 9 mL), em relação às plantas-controle (recipiente de 300 mL), apresentaram menores taxas fotossintéticas líquidas e maior conteúdo de amido e glicose. Os autores (36) mostraram que uma alteração na demanda do dreno, em resposta ao CSR, pode influenciar a mobilização de carboidratos, o que contribuiu para o ajustamento da atividade fotossintética e translocação de fotoassimilados. Resultados semelhantes foram obtidos em plantas de tomateiro (29).

O menor crescimento das plantas cultivadas em volume restritivo de recipiente é, provavelmente, devido a mudanças nos vários processos de comunicação entre as raízes e a parte aérea (31). Esses eventos de comunicação são de natureza hidráulica ou química. Não houve diferenças de potencial hídrico foliar entre as plantas crescidas com sistema radicular confinado, em relação às plantas-controle (8). Já os eventos químicos estão relacionados às funções dos nutrientes e dos fitohormônios. Entretanto, alguns autores acreditam que a deficiência nutricional não tenha grande influência no crescimento das plantas, talvez devido ao aumento na eficiência de absorção de alguns nutrientes pelas plantas crescidas em confinamento radicular (4, 9).

A restrição mecânica ao crescimento do sistema radicular em solos compactados causa problemas na parte aérea das plantas, assim como o CSR (22, 23). As plantas crescidas em solos compactados, na ausência de efeitos significativos no status hídrico foliar, freqüentemente mostram redução no crescimento das raízes e da parte aérea e na condutância estomática (1, 5, 20, 25, 26, 35). Essas respostas foram atribuídas ao acúmulo de ácido abscísico (ABA) em raízes confinadas. Esse fitohormônio, sintetizado nas raízes, seria transportado para a parte aérea, via fluxo transpiratório (17, 39). Entretanto, em plantas de tomate, o etileno estaria mais relacionado aos efeitos sobre as características de crescimento do que o ácido abscísico (20).

Em feijoeiros crescidos em CSR foi verificado aumento nas concentrações de clorofila, indicando que as plantas com sistema radicular

confinado não apresentaram senescência precoce (8, 9). Entretanto, em plantas de *Alnus glutinosa* Gaertn. crescidas em CSR foi verificada degradação mais acelerada da clorofila *a*, em relação à clorofila *b* (46). Em plantas submetidas ao CSR, os autores relataram que o estresse hídrico, indiretamente, estaria associado à degradação de clorofilas *a* (46).

O objetivo deste trabalho foi estudar, numa escala temporal, as trocas gasosas, a emissão da fluorescência da clorofila *a* e os teores de pigmentos fotossintéticos em plantas de *C. canephora* crescidas em recipientes de cultivo de diferentes volumes.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

Foram utilizadas estacas da espécie *C. canephora* (clone 07), maturação média, provenientes da Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de São Gabriel da Palha Ltda (Cooabriel), São Gabriel da Palha/ES, coletadas dos ramos ortotrópicos crescidos de plantas matrizes recepadas. As estacas, com 18,0 cm de altura em média, contendo um par de folhas, cortadas ao meio, foram enraizadas em recipientes de 50 mL contendo vermiculita como substrato. Após 60 dias, estas estacas apresentaram um comprimento de raiz em torno de 2,0 mm e foram selecionadas pelo seu vigor e tamanho do sistema radicular. Em seguida, foram transplantadas para recipientes de diferentes volumes.

Condições de cultivo

As estacas foram cultivadas em recipientes de policloreto de vinila (PVC), de coloração preta e diferentes volumes (Quadro 1), contendo substrato do tipo Plantmax®. O experimento foi realizado em estrutura telada, com 50% de interceptação da luz incidente, na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro (Pesagro – RIO), em Campos dos Goytacazes (41°15' O, 21°27' S). Estas estacas foram submetidas à nebulização intermitente, em intervalos de 10 min, e cada bico nebulizador tinha a vazão de 1,8 L h⁻¹, totalizando 28,8 L h⁻¹ na área total. O experimento foi conduzido de agosto de 2000 a março de 2001.

A partir da 17ª semana após o transplântio (SAT) foi adicionada ao substrato, semanalmente, solução nitrogenada na concentração de 50 mg L⁻¹ de (NH₄)₂SO₄. Entre a 22ª e a 28ª SAT foi aplicada, via água de irrigação, solução nutritiva completa (SNC) contendo Ca(NO₃)₂ 2 mmol L⁻¹; KH₂PO₄ 0,5 mmol L⁻¹, KNO₃ 2,5 mmol L⁻¹, NH₄NO₃ 1 mmol L⁻¹, MgSO₄ 1 mmol L⁻¹, FeEDTA 40 µmol L⁻¹, MnSO₄.H₂O 5 µmol L⁻¹,

ZnSO₄.7H₂O 2 µmol L⁻¹, CuSO₄.5H₂O 0,5 µmol L⁻¹, NH₄Mo₇O₂₄.4H₂O 0,086 µmol L⁻¹ e KCl 50 µmol L⁻¹.

QUADRO 1 – Características dos recipientes de cultivo

Volume do recipiente	Altura (H)	Diâmetro (φ)	Área da seção	Área da seção/ Altura
cm ³	mm	mm	mm ²	mm
50	123,45	26,76	168,05	1,36
100	148,88	36,29	227,9	1,53
200	131,4	50,57	317,58	2,42
300	193,73	52,18	327,69	1,69
3.400	308,25	132,41	1.935,81	6,28

No local do experimento, o fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) máximo foi de 832,14 µmol m⁻² e o mínimo de 38,79 µmol m⁻²; as temperaturas máxima (32,5 °C), mínima (20,66 °C) e média (25,23 °C) do ar e a umidade relativa (UR) máxima de 97,4% e mínima de 53,75% foram monitoradas entre 8 e 17 horas, por meio de um *Quantum Data Logger* e um termômetro modelo 450 (T e UR), ambos *Spectrum Technologies*, EUA. Todos os sensores estavam acoplados a um coletor de dados, e as informações foram armazenadas a cada hora.

Determinação da taxa fotossintética líquida e da condutância estomática

A taxa fotossintética líquida (A, µmol m⁻² s⁻¹) e a condutância estomática (g_s, mol m⁻² s⁻¹) foram determinadas na 8^a, 12^a, 15^a, 17^a, 23^a, 26^a e 32^a SAT, por meio do sistema portátil de medição das trocas gasosas, modelo LI-6200 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA). Foi utilizada uma câmara de 0,25 L com uma área de medição de aproximadamente 6,8 cm². As medições foram efetuadas a uma densidade de fluxo de fótons (DFF) de 1.500 ± 250 µmol m⁻² s⁻¹; temperatura do ar (T_a) de 32,27 ± 2,55 °C; temperatura da folha (T_l) 33,85 ± 3,40 °C; umidade relativa do ar dentro da câmara (UR) 30,89 ± 8,90%; concentração de CO₂ 365,27 ± 20,21 (µL L⁻¹), e o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar circundante de 2,0 ± 1,14 kPa. Todas as medidas foram efetuadas entre 7 e 9 horas, na 3^a ou 4^a folha contada a partir do ápice.

Determinação da fluorescência da clorofila a

A fluorescência emitida pela clorofila *a* foi determinada na mesma folha, e logo após as medidas da taxa fotossintética líquida, por meio de um fluorímetro de luz modulada modelo Mini-PAM (Walz, Alemanha).

As folhas das plantas foram adaptadas ao escuro, com o uso de pinças, por 30 min, para que os centros de reação do PSII adquirissem a condição de “abertos” (todos os aceitadores primários oxidados) e a perda de calor fosse mínima. A fluorescência inicial (F_0) foi obtida com luz modulada de baixa intensidade ($< 0,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para não induzir efeito na fluorescência variável. A fluorescência máxima (F_m) foi determinada por um pulso de luz saturante de 0,3 s de duração, com frequência de 20.000 Hz. A fluorescência variável (F_v) foi determinada pela diferença entre F_0 e F_m . Esse pulso permitiu o fechamento dos centros de reação do PSII. Com F_v e F_m foi obtida a relação F_v/F_m .

Relação entre o teor de clorofila total e carotenóides

A relação entre os teores de clorofila total e carotenóides (CT/CAR) foi estimada por meio do ajuste da curva $\hat{y} = 0,5227 + 0,1589x + 0,001x^2$, $R^2 = 0,95$, em que y é a relação CT/CAR e x é a leitura mostrada no aparelho Spad-502 (42, 45). Para tanto, foi utilizado o medidor portátil de clorofila modelo Spad-502, Minolta, Japão. As determinações foram feitas no 3º ou 4º par foliar contado a partir do ápice das estacas crescidas nos diferentes recipientes de cultivo.

Delineamento experimental

Os fatores estudados foram o volume (5) e o tempo (8). O delineamento experimental em que foi determinada a razão CT/CAR foi o o esquema fatorial em blocos ao acaso, com seis repetições.

Os experimentos em que foram determinadas as taxas de fotossíntese líquida (A), a condutância estomática (g_s) e a fluorescência da clorofila *a* foram realizados em parcela sub-dividida: a parcela foi o volume (5), e a sub-parcela o tempo (8). O delineamento foi em blocos ao acaso, com seis repetições.

Os resultados foram submetidos ao teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às plantas crescidas nos recipientes de 50, 100, 200 e 300 mL, nas folhas das plantas crescidas nos de 3.400 mL, na 16ª e 20ª

SAT, foi verificada elevada relação CT/CAR (Figura 1). Após a 20ª e a 24ª SAT, épocas em que se aplicou a SNC via irrigação, houve elevação nesta variável.

Em trabalho anterior (43) e nas mesmas condições experimentais, na 16ª SAT, a parte aérea (folhas + ramos) das plantas crescidas nos recipientes de 3.400 mL apresentou maiores N-totais (43). Provavelmente, a elevada relação CT/CAR na 16ª SAT seja devido à molécula de clorofila ter quatro átomos de N. Em adição, foi realizado trabalho relacionando os valores do medidor portátil de clorofila com os teores de N em folhas desta espécie (45). No trabalho, foi observado um ajuste linear positivo ($R^2=0,69$) entre o N-total (g m^{-2}) e os valores medidos pelo aparelho. Também, foi obtido um bom ajuste quadrático ($R^2=0,95$) entre os valores de SPAD-502 e a relação CT/CAR. Desta maneira, na 16ª SAT, torna-se justificável a elevada relação CT/CAR. De fato, as leituras do SPAD-502 têm sido utilizadas como indicativo de estresse nutricional por N (3).

Segundo Torres Netto (2001), com a mesma espécie e mesmas condições experimentais, após a aplicação de SNC (22ª SAT) houve incremento no estado nutricional de N, P e K. Na Figura 1, foram verificadas elevações na relação CT/CAR após a aplicação da SNC, que estariam relacionadas à melhoria no estado nutricional de N, P e K.

Em genótipos de mamoeiros, foi verificada redução significativa na relação entre as concentrações de clorofila total e de carotenóides nas plantas submetidas ao CSR (7). Em plantas da espécie *E. kiautschovica*, as plantas crescidas em CSR apresentaram redução na concentração de clorofila *a* e de clorofila total, mesmo que essa redução não tenha sido acompanhada por clorose ou senescência prematura (11). Em plantas da espécie *Alnus glutinosa* Gaertn, crescidas em CSR, foi observada redução nas concentrações dos pigmentos fotossintéticos (46). Os autores atribuíram essa redução ao estresse hídrico das plantas (nessas condições) mesmo com água e nutrientes não-limitantes. Estes autores (46) atribuíram aos efeitos do CSR sobre as relações hídricas, o que afetou indiretamente os processos fisiológicos. Nestas plantas de *Alnus glutinosa* Gaertn, os efeitos foram causados pela redução na condutividade hidráulica das raízes (46). Em contraste com estes resultados, as concentrações de clorofila foram mais altas nas folhas primárias de feijoeiros crescidos em CSR (9).

Torna-se importante relatar que os recipientes de menor volume podem ter sido submetidos à maior lixiviação de N (43), afetando assim a relação CT/CAR na parte aérea.

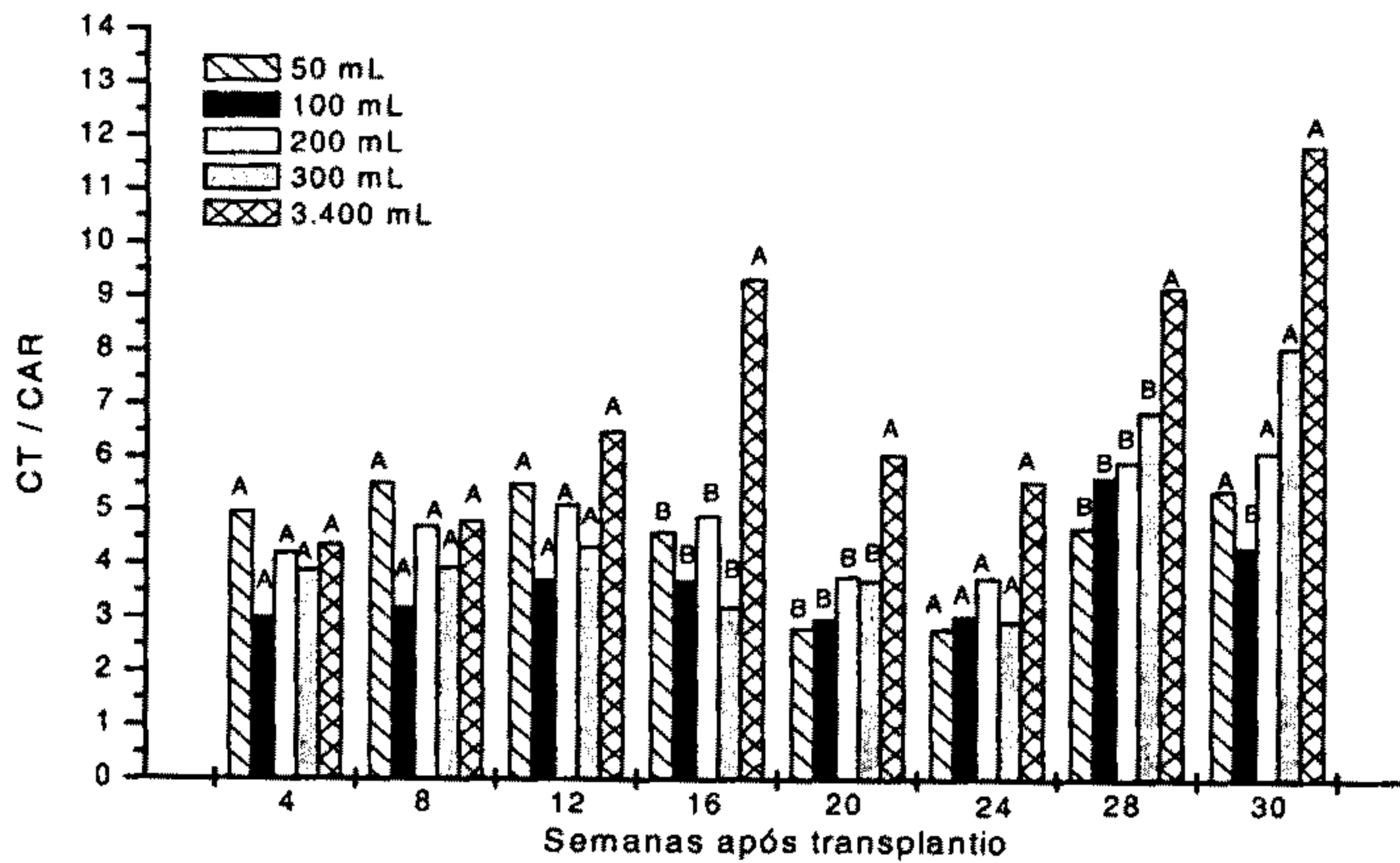


FIGURA 1 – Relação clorofila total/carotenóides em plantas de *C. canephora* cultivadas em cinco volumes de recipientes. Foram feitas aplicações de solução nitrogenada (N) da 17^a a 22^a e solução nutritiva completa (SNC) da 22^a a 30^a SAT. As letras diferentes indicam diferenças entre as médias de cada volume.

Com relação a F_v/F_m , que representa o rendimento quântico máximo do fotossistema II (PSII) (6) (Figura 2), as diferenças foram significativas entre a 12 e a 17^a SAT. Após a adição da solução nutritiva completa, via irrigação, a relação aumentou. Isso mostra que pode ter ocorrido lixiviação dos nutrientes minerais nos recipientes de menor volume, uma vez que após a adição da SNC as plantas crescidas nos recipientes de menor volume apresentaram valores da relação semelhantes às plantas crescidas no recipiente de 3.400 mL.

Em trabalho anterior (43), com a mesma espécie e nas mesmas condições deste trabalho, foi observada semelhança nas respostas das curvas F_v/F_m e N-total da parte aérea (folhas + ramos). Verificou-se um bom ajuste do modelo matemático exponencial ($R^2 = 0,80$) entre a relação F_v/F_m e os valores medidos pelo Spad-502, além de alta correlação positiva entre os valores do medidor portátil de clorofila e os teores de N-total (45). Estas informações evidenciam que a maior relação F_v/F_m foi causada pela alta relação CT/CAR, proporcionada pelos elevados teores de N-total na parte aérea das plantas.

Segundo Bolh ar-Nordenkampf et al. (6), em folhas, a rela o entre 0,75 e 0,85   considerada  tima; ou seja, a rela o F_v/F_m compreendida neste intervalo mostra eleva es no rendimento qu ntico m ximo do PSII, o que significa elevada efici ncia na utiliza o da energia luminosa. Na

Figura 2, apenas na 26ª SAT, após a adição da SNC, a relação F_v/F_m apresentou-se dentro do intervalo entre 0,75 a 0,85.

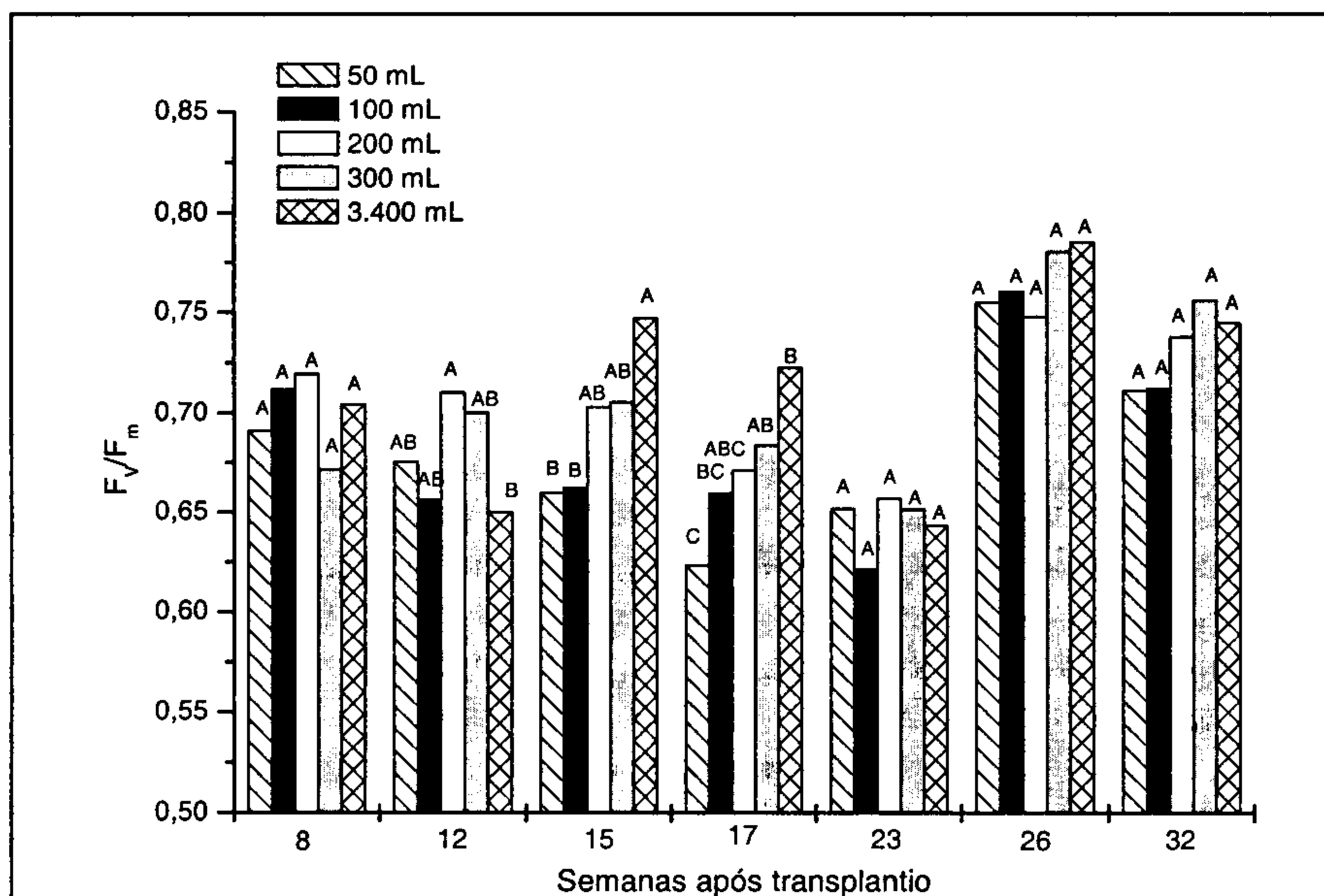


FIGURA 2 – Relação F_v/F_m em plantas de *C. canephora* cultivadas em cinco volumes de recipientes. Foram feitas aplicações de solução nitrogenada (N) da 17ª a 22ª e solução nutritiva completa (SNC) da 22ª a 30ª SAT. As letras diferentes indicam diferenças entre as médias de cada volume.

Com relação à taxa fotossintética líquida (A), os valores desta variável foram menores da 8ª até a 23ª SAT do que na 26ª e 32ª SAT (Figura 3). Isso fortalece a informação do aumento na disponibilidade de nutrientes minerais proporcionados pela SNC, via irrigação (43). Em relação a este trabalho, esta publicação (43) foi realizada com a mesma espécie e mesmas condições experimentais. Na 26ª e na 32ª SAT, as plantas crescidas nos recipientes de menor volume apresentaram menores valores, quando comparados com os das plantas crescidas nos recipientes de 3.400 mL. Exceto na 12ª SAT, até a 23ª SAT não se observaram diferenças significativas entre as plantas crescidas nos recipientes em estudo.

Os valores máximos de A na 26ª e 32ª SAT coincidem com o máximo obtido da relação F_v/F_m nas folhas (Figura 2), com o máximo de relação CT/CAR nas folhas (Figura 1) e coincidiu com os teores de N-

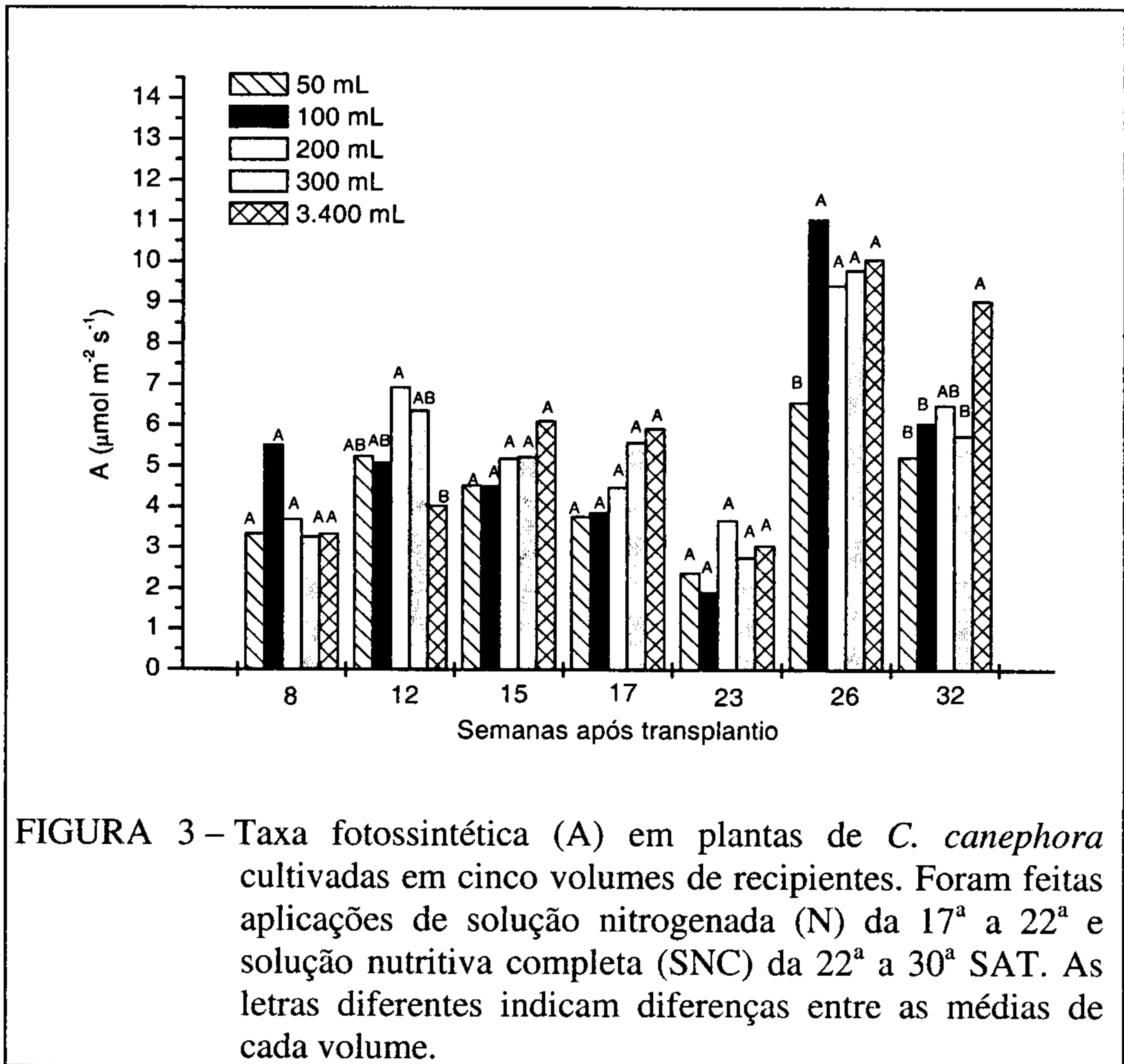
totais na parte aérea (folhas + ramos) (12^a SAT) (43). Vários autores encontraram alta correlação entre os teores de N foliares e a taxa fotossintética líquida (12, 14). Nas plantas crescidas no recipiente de 100 mL, houve decréscimo em A até a 23^a SAT. Após a aplicação de SNC, foi verificado aumento nos valores de A das plantas crescidas em todos os volumes de recipientes.

Não foi observada nenhuma relação entre o volume do recipiente de cultivo e os valores de A, exceto na 26^a SAT, em que, mesmo após a adição de SNC, via água de irrigação, os valores de A, nas plantas crescidas no recipiente de 50 mL, não apresentaram incremento (Figura 3).

Plantas de pessegueiros crescidas em recipientes de pequeno volume apresentaram menores valores de A, quando comparados aos das plantas crescidas em recipientes de maior volume (32). Os autores verificaram que a concentração interna de CO₂, em todas as plantas, era a mesma, sugerindo limitação não-estomática na taxa fotossintética líquida. Diversas espécies crescidas em CSR, como tomateiro (16, 29), pepino (33), feijoeiro (2), mamoeiro (7) e videira (13) apresentaram redução em A. A redução na taxa fotossintética foi atribuída ao acúmulo de carboidratos nas folhas, como resultado da redução no número de raízes (dreno) (2, 29, 33, 41). Além da redução em A, foram observadas reduções nos teores de clorofila e da atividade da rubisco (18). Entretanto, em diversas espécies, não foram observadas diferenças em A entre plantas crescidas sob confinamento radicular e plantas crescidas com ou sem confinamento do sistema radicular (15, 23, 25, 28, 34). Em feijoeiros (9) e em plantas de girassol (1) foram observados maiores valores de A nas plantas crescidas em CSR.

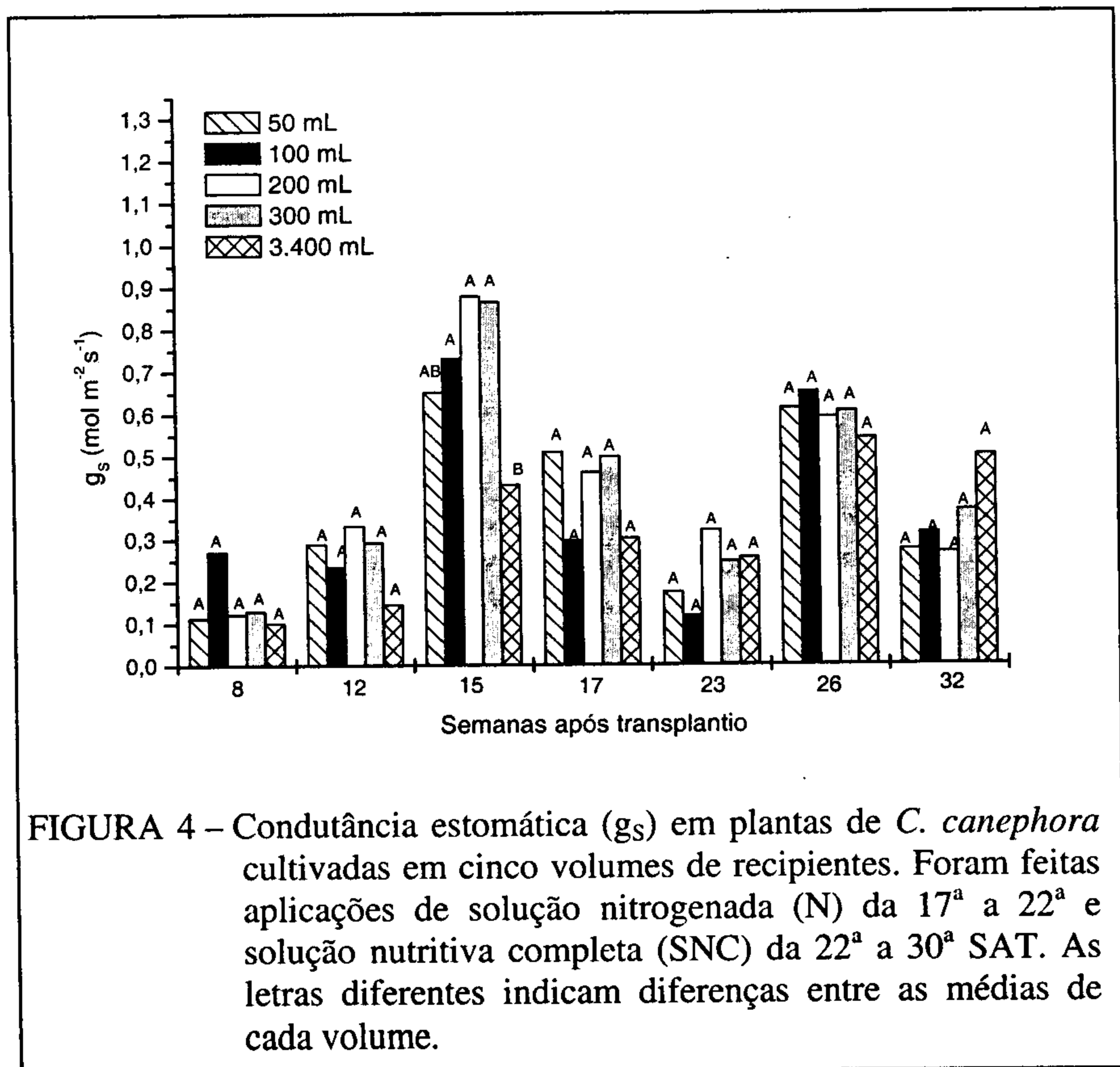
Embora a taxa fotossintética líquida tenha sido menor nas folhas das plantas crescidas no recipiente de 50 mL, na 26^a SAT, de maneira geral, os valores de A não foram afetados pelo volume do recipiente de cultivo (Figura 3). Em determinadas situações e em confinamento do sistema radicular, as plantas da espécie *C. canephora* devem apresentar algum mecanismo para evitar a inibição da taxa fotossintética.

Os dados de condutância estomática (g_s) são mostrados na Figura 4. Nela, observa-se incremento em g_s até a 15^a e, então, um decréscimo até a 23^a SAT, em todos os volumes dos recipientes de cultivo. Os valores máximos da variável g_s , verificados na 15^a SAT das plantas crescidas nos recipientes de 50, 100, 200 e 300 mL não foram coincidentes com os de A (12^a SAT). Possivelmente, nesta época, apesar de os estômatos estarem permitindo o acesso do CO₂ aos sítios de carboxilação, a não-correspondência entre A e g_s nesta fase pode ser devida aos efeitos não-estomáticos.



Em feijoeiros, foram observados aumentos em g_s de plantas crescidas em CSR (9). Entretanto, o CSR não afetou g_s em plantas de soja (23), milho (40), melancia (24) e trigo e cevada (48). Contudo, em plantas de *Alnus glutinosa* Gaertn. (46), tomateiro (16, 19), pessegueiro (32), pimenta (22) e diferentes genótipos de videira (13), foram observadas reduções em g_s das plantas crescidas em CSR. Alguns autores têm relatado que a redução na condutância estomática em plantas submetidas ao CSR seja causada por estresse hídrico, devido a menor condutividade hidráulica das raízes (16). Entretanto, não foi observada deficiência hídrica nas plantas confinadas. Nesta condição, a redução em g_s foi atribuída a um mecanismo não-hidráulico (19). Este mecanismo de redução em g_s parece ser um sinal químico originado das raízes, que se acredita ser o ABA (22, 17). Apesar de não terem encontrado efeito em g_s , alguns autores concordam que a concentração de ABA nas plantas crescidas em CSR seja maior do que nas crescidas sem restrição do sistema radicular (24).

De acordo com Torres Netto (43), nas mesmas condições e com a mesma espécie, o CSR se relaciona diretamente com as características de crescimento (44), ou seja, os maiores volumes do recipiente de cultivo propiciam elevações nas medidas biométricas (área foliar, volume de raiz, área radicular, massa seca de raiz) determinadas (44); as características relacionadas ao processo fotossintético, determinadas neste trabalho, e ao estado nutricional (43) não se mostraram relacionadas diretamente com o volume do recipiente de cultivo. Em trabalho anterior (43) e neste, os dados relacionados a estas duas últimas características apenas apresentaram alguns comprometimentos pontuais no tempo. Em cafeeiro *C. canephora*, isso pode mostrar que uma possível ação fitohormonal também esteja relacionada aos comprometimentos nas medidas biométricas obtidas (44) em confinamento do sistema radicular. Futuros trabalhos deverão ser conduzidos, objetivando elucidar tal hipótese.



CONCLUSÕES

O confinamento do sistema radicular afetou a relação clorofila total/carotenóides (CT/CAR) nas folhas de plantas de *Coffea canephora*, na 16^a, 20^a e 28^a semanas após o transplante (SAT). Nestas épocas, em relação às plantas crescidas nos recipientes de 3.400 mL, as cultivadas nos recipientes de menor volume (50, 100, 200 e 300 mL) apresentaram reduções na relação CT/CAR. Entretanto, na 26^a SAT e nas plantas crescidas nos recipientes de 50 mL, os comprometimentos na relação CT/CAR afetaram apenas a taxa fotossintética líquida (A).

REFERÊNCIAS

1. ANDRADE, A.P.; WOLFE, D.W. & FERRERES, E. Leaf expansion, photosynthesis, and water relations of sunflower plants grown on compacted soil. *Plant and Soil* 149: 175-84, 1993.
2. ARP, W.J. Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO₂. *Plant, Cell and Environment* 14: 869-75, 1991.
3. BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A.C.; CRUZ, R.T.; THIYAGARAJAN, T.M.; NAGARAJAN, R.; BABU, M.; ABDULRACHMAN, S. & HAI, L.H. (2000) Adaptation of the chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. *International Rice research Institute* 5: 25-6
4. BAR-TAL, A. FEIGIN, A.; SHEINFELD, S.; ROSENBERG, R.; STENBAUM, B.; RYLSKI, I. & PRESSMAN, E. Root restriction and N-NO₃ solution concentration effects on nutrient uptake, transpiration and dry matter production of tomato. *Scientia Horticulturae*. 63 (3-4):195-208, 1995.
5. BEENSTER, G.T.S. MASLE, J.; WILLIANSON, R.E. & FARGUHAR, G.D. Effects of soil resistance to root penetration on leaf expansion in wheat (*Triticum aestivum* L.): Kinematic analysis of leaf elongation. *Journal of Experimental Botany* 47 (304): 1663-78, 1996.
6. BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, SP; BAKER, N.R. ÖQUIST, G.; SCHREIBER, U. & LECHNER, E.G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. *Function Ecology*, 3: 497-514, 1989.
7. CAMPOSTRINI, E. Comportamento de quatro genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) sob restrição mecânica ao crescimento radicular. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 1997, 166p.
8. CARMI, A. & HEUER, B. The role of roots in control of bean shoot growth. *Annals of Botany*, 48:519-27, 1981.
9. CARMI, A., HESKET, J.D., ENOS, W.T. & PETERS, D.B. Interrelationship between shoot growth and photosynthesis as affected by root growth restriction. *Photosynthetica* 17:240-5, 1983.
10. COLEMAN, J.R., MCCONNAUGHAY, K.D.M. & BAZZAZ, F.A. Elevated CO₂ and plant nitrogen use: Is reduced tissue nitrogen concentration size dependent? *Oecologia* 93: 195-200, 1993.
11. DUBIK, S.P., KRIZEK, D.P. & STIMART, D.P. Influence of root zone restriction on mineral element concentration, water potential, chlorophyll concentration, and partitioning of assimilate in spreading euonymus (*E. kiautschovica* loes. 'Sieboldiana'. *Journal Plant Nutrition*, 13:677-99, 1990.

78: 9-19, 1989.

13. FERREE, D.C.; SCURLOCK, D.M. & SCHMID, J.C. Root pruning reduces photosynthesis, transpiration, growth and fruiting of container-growth French-american hybrid grapevines. *Hortscience* 34 (6) 1064-7, 1999.
14. FIELD, C.B. & MOONEY, H.A. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. In: Givnish, T.J. (ed) *On the economy of form and function*. Cambridge University Press, Cambridge, 1986, p. 25-55.
15. GEISLER, D. & FERREE, D.C. The influence of root pruning on water relations, net photosynthesis, and growth of young 'Golden Delicious' Apple trees. *Journal American Society of Horticultural Science*. 109(6): 827-31, 1984.
16. HAMEED, M.A.J.B. & REID, R.N. ROWE. Root confinement and its effects on the water relations, growth and assimilate partitioning of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Annals of Botany*, 59:685-92, 1987.
17. HARTUNG, W., ZHANG, J. & DAVIES, W. Does abscisic acid play a stress physiological role in maize plants growing in heavily compacted soil? *Journal of Experimental Botany* 45:221-6, 1991.
18. HEROLD, A. & MCNEIL, P.H. Restoration of photosynthesis in pot-bound tobacco plants. *Journal of Experimental Botany*, 30: 1187-1194, 1979.
19. HURLEY, M.B. & ROWARTH, J.S. Resistance to root growth and changes in the concentrations of ABA within the root and xylem sap during root-restriction stress. *Journal of Experimental Botany* 50 (335): 799-804, 1999.
20. HUSSAIN, A. BLACK, C.R.; TAYLOR, I.B. & ROBERTS, J.A. Soil Compactation. A role for ethylene in regulating leaf expansion and shoot growth in tomato. *Plant Physiology* 121: 1227-37, 1999.
21. ISMAIL, M.R. & NOOR, K.M. Growth, water relations and physiological process of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) plants under root growth restriction. *Scientia Horticulturae* 66 (1-2) 51-8, 1996.
22. ISMAIL, M.R. & DAVIES, W.J. Root restriction affects leaf growth and stomatal response: the role of xylem sap aba. *Scientia horticulturae*. 74(4):257-68, 1998.
23. KRIZEK, D.T.A.; CARMI, R.M. & MIRECKI, W.S. Freeman, J. Bunce. Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of soybean. *Journal of Experimental Botany* 36: 25-38, 1985.
24. LIU, A.M. & LATIMER, J.G. Root cell volume in the planter flat affects watermelon seedling development and fruit yield. *Hortscience*. 30(2):242-6, 1995.
25. ASLE, J. & PASSIOURA, J.B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. *Australian Journal of Plant physiology* 14: 643-56, 1987.
26. MASLE, J. Genetic variation in the effects of root impedance on growth and transpiration rates of wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*. 19: 109-25, 1992.
27. MASLE, J. Growth and stomatal behavior: response to soil resistance to root penetration. In: Davies W.J., Jeffcoat, B. (eds). *Importance of root to shoot communication in the responses to environmental stress*. Monograph 21: 95-113, 1990.
28. MATAA, M. & TOMINAGA, S. Effects of root restriction on tree development in Ponkan mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *Journal American Society of Horticultural Science* 123(4):651-5, 1998.
29. NISHIZAWA, T. & SAITO, K. Effects of rooting volume restriction on the growth and carbohydrate concentration in tomato plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 123(4):581-5, 1998.
30. RENA, A.B. & MAESTRI, M. (2000) Relações hídricas no cafeeiro. *Revista Item* 48: 34-41.
31. RICHARDS, D. & ROWE, R.N. Effects of root restriction, root pruning, and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. *Annals of Botany*, 41:729-40, 1977.

32. RIEGER, M. & MARRA, F. Responses of young peach trees to root confinement. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119:223-8, 1994.
33. ROBBINS, N.S. & PHARR, D.M. Effect of restricted root growth on carbohydrate metabolism and whole plant growth of *Cucumis sativus* L. *Plant Physiology* 87:409-13, 1988.
34. RUFF, M.S.; KRIZEK, D.T.; MIRECKI, R.M. & INOYE, D.W. Restricted root zone volume: Influence on growth and development of tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*.112 (15): 763-9, 1987.
35. SARQUIS, J.I.; JORDAN, W.R. & MORGAN, P.W. Ethylene evolution from maize (*Zea mays* L.) seedling roots and shoots in response to mechanical impedance. *Plant Physiol.* 96: 1171-7, 1991.
36. SATO , F.; YOSHIOKA; H. & FUJIWARA, T. Effect of root volume restriction on growth and carbohydrate status of cabbage seedlings. *Environmental Control in Biology*. 39: 235-43. 2001.
37. SCHAFFER, B. WHILLEY, A.W. & SEARLE, C. Atmospheric CO₂ enrichment, root restriction, photosynthesis, and dry-matter partitioning in subtropical and tropical fruit crops. *Hortscience*, 34(6): 1033-7, 1999.
38. SCHAFFER, B.; WHILLEY, A.W.; SEARLE, C. & NISSEN, R.J. Leaf gas exchange, dry matter partitioning, and mineral element concentrations in mango as influenced by elevated atmospheric carbon dioxide and root restriction. *Journal of the American Society for Horticultural Science*.122(6):849-55, 1997.
39. TARDIEU, F. & DAVIES, W.J., 1992. Stomatal response to abscisic acid is a function of current plant water status. *Plant Physiol.* 98:540-5.
40. TARDIEU, F.; ZHANG, J.; KATERJI, N.; BETHONOD, O. & DAVIES, W.J. Xylem ABA controls the stomatal conductance of field-grown maize subjected to soil compaction or soil drying. *Plant Cell Environment* 15: 193-7, 1994.
41. THOMAS, R.B. & STRAIN, B.R. Root restriction as a factor in photosynthetic acclimation of cotton seedlings grown in elevated carbon dioxide. *Plant Physiology* 96:626-34, 1991.
42. TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G. DE; YAMANISH O.K. & BRESSAN-SMITH R.E. Relações entre os valores do determinador portátil de clorofila (SPAD-502) e os teores de clorofila e nitrogênio em folhas de café (*Coffea canephora* Pierre). In. VIII Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal. 2001.
43. TORRES NETTO, A. Ecofisiologia de mudas de *Coffea canephora* pierre em condições de restrição do sistema radicular. UENF. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. 2001. 89p. (Tese Mestrado)
44. TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; & GOMES, M.M.A.G. Medidas biométricas e assimilação de CO₂ em plantas de *coffea canephora* Pierre sob confinamento do sistema radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (no prelo)
45. TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G. de; & BRESSAN-SMITH R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and spad-502 readings in coffea leaves. *Scientia Horticulturae* (no prelo)
46. TSCHAPLINSKI, T.J. & BLAKE, T.J. Effects of root restriction on growth correlations, water relations and senescence of alder seedlings. *Physiologia Plantarum*, 64:167-76, 1985.
47. WOODWARD, F.I. & SMITH, T.M. Predictions and measurements of the maximum photosynthetic rate, A_{max} , at the global scale. In: Schulze, E.D. e Caldwell, M.M. (eds) *Ecophysiology of photosynthesis*. Springer, berlin, Heidelberg and New York, 1995, p.491-509.
48. YOUNG, I.M., MONTAGU, K., CONROY, J., BENGOUGH, A.G. Mechanical impedance of root growth directly reduces leaf elongation rates of cereals. *New Phytologist*, 135: 613-619, 1997.