

TROCAS GASOSAS EM MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO E DEFICIÊNCIA DE NITROGÊNIO

Bruna Pereira de Souza¹; Hermínia Emilia Prieto Martinez²; Eveline Teixeira Caixeta³; Felipe Paolinelli de Carvalho⁴; Junia Maria Clemente⁵; Marcelo Ehlers Loureiro⁶; Walas Permanhane Sturião⁷

Trabalho financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

¹Doutoranda do programa de pós graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa-UFV, bruna_pereiradesouza@yahoo.com.

²Professora, DSc, Departamento Fitotecnia, UFV, Viçosa, hermínia@ufv.br.

³Pesquisadora, DSc, Embrapa Café, Brasília-DF, eveline.caixeta@embrapa.br.

⁴Pós Doutorando, UFV, Florestal, felipepaolinelli@yahoo.com.br.

⁵Pós Doutoranda, UFV, Rio Paranaíba, junia.clemente@gmail.com.

⁶Professor, DSc, Departamento de Biologia, UFV, Viçosa, mehlersloureiro@gmail.com

⁷ Doutorando do programa de pós graduação em Fitotecnia, UFV, Viçosa, wallas.sturio@ufv.br.

RESUMO: Nas principais áreas brasileiras de cultivo de café arábica longos períodos sem chuvas são frequentemente observados. A seca é considerada como o principal fator limitante para o cultivo de café nessas áreas. As condições de seca afetam o crescimento e produtividade da cultura, em parte, através de reduções na taxa de assimilação líquida de carbono (A), seja por um efeito direto da desidratação sobre o aparato fotossintético ou em decorrência do efeito indireto do fechamento dos estômatos. Assim, objetivou-se com esta pesquisa estudar o impacto da nutrição nitrogenada e do déficit hídrico sobre as trocas gasosas em mudas de café arábica. Para avaliar as trocas gasosas em condições de déficit hídrico e de nitrogênio cinco cultivares de café arábica foram submetidas aos seguintes tratamentos: N-suficiente (+N, 5,0 mmol L⁻¹ N-NO³⁻) sem déficit hídrico, N-suficiente (+N, 5,0 mmol L⁻¹ N-NO³⁻) com déficit hídrico (-1,5 MPa) e N-deficiente (-N, 0,0 mmol L⁻¹ N-NO³⁻) sem déficit hídrico, em solução nutritiva. O experimento foi montado em câmara de crescimento com temperatura controlada (23-24 °C), luminosidade de 200 µmol m⁻² s⁻¹ e unidade relativa entre 56-58 %, tendo as plantas sido submetidas ao fotoperíodo de 12h/12h (luz/escuro). O período experimental foi de 96 h. O experimento foi montado em esquema fatorial 5x9, composto de 5 cultivares de café (Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 44, Acauã, Catuaí Amarelo 2SL e Mundo Novo IAC 379-19) e três tratamentos (descritos acima) no delineamento em blocos casualizados com três repetições onde cada parcela era constituída por duas plantas. Todas as medições de trocas gasosas e fluorescência foram feitas respeitando o delineamento em blocos casualizados. A estresse hídrico afetou a fotossíntese líquida, condutância estomática, taxa transpiratória e eficiência do uso da água. Já deficiência de nitrogênio não afetou as variáveis avaliadas. As cultivares Acauã e Mundo Novo sofreram os maiores efeitos do déficit hídrico. De maneira geral, o déficit hídrico afetou as variáveis fisiológicas avaliadas enquanto a deficiência de N não afetou significativamente as variáveis fisiológicas avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: taxa fotossintética, estresse hídrico, solução nutritiva, nutrição cafeeiro.

GAS EXCHANGE IN ARABIC COFFEE SEEDLINGS SUBMITTED TO THE WATER DEFICIT AND NITROGEN DEFICIENCY

ABSTRACT: Long drought periods in main Brazilian areas of coffee crop are frequently observed. The drought is considered as an important factor limiting coffee production in these areas. Drought conditions affect the growth and yield, reducing the net carbon assimilation, due to direct effects in photosynthetic apparatus or indirect effects by stomatal closure. Thus, this research aimed to evaluate the effects of nitrogen deprivation and drought on gas exchange of arabic coffee seedlings. To evaluate gas exchange five cultivars of arabic coffee were submitted to the following treatments: N-sufficient (+N, 5.0 mmol L⁻¹ N-NO³⁻) well-watered, N-sufficient (+N, 5.0 mmol L⁻¹ N-NO³⁻) with drought (-1.5 MPa) and N-deficient (-N, 0.0 mmol L⁻¹ N-NO³⁻) well-watered, in nutritive solution. The experiment was carried out in growth chamber with controlled temperature (23-24 °C), light of 200 µmol m⁻² s⁻¹; 56-58 % of relative humidity and photoperiod of 12h/12h (light/dark). The experimental period was 96 hours. The experiment was conducted in 5x9 factorial scheme, being the factors 5 coffee cultivars (Catuaí Amarelo IAC62, Catuaí Vermelho IAC44, Acauã, Catuaí Amarelo 2SL and Mundo Novo IAC379-19) and three treatments (described above) in randomized blocks design with three replication. The experimental plots were composed by two plants. Drought affected the net photosynthesis, stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency. However, the deficit of nitrogen did not affect these variables. The cultivars Acauã and Mundo Novo suffered the highest effects of drought. Overall, the drought cause effects on the physiology of young coffee plants and nitrogen deficit did not.

KEYWORDS: photosynthetic rate, water stress, nutrient solution, coffee nutrition.

INTRODUÇÃO

Existem 103 espécies de *Coffea*, mas apenas *C. arabica* (café arábica) e *C. canephora* (café Robusta) são plantadas comercialmente (Willson 1999). Nas principais áreas brasileiras de cultivo de café arábica longos períodos sem chuvas são frequentemente observadas. A seca é considerada como o principal fator limitante para o cultivo de café nessas áreas. As condições de seca afetam o crescimento e produtividade da cultura, em parte, através de reduções na taxa de assimilação líquida de carbono (A), seja por um efeito direto da desidratação sobre o aparato fotossintético ou em decorrência do efeito indireto do fechamento dos estômatos. Além disso, a falta de água pode levar a deficiência de nutrientes, visto que a água proporciona o meio para a absorção da maioria dos elementos minerais pelas raízes (DaMatta et al., 2002).

Respostas morfológicas e fisiológicas das plantas à água no solo e / ou disponibilidade de N têm recebido considerável atenção nas últimas décadas. Embora existam algumas divergências (Heitholt, 1989; Ashraf et al., 2001), tanto a taxa fotossintética como a taxa transpiratória são significativamente afetados pela falta de água e / ou N em uma variedade de espécies, tanto em nível de folha como em escala de planta inteira (Nagarajah, 1981; Borghi, 2000; Wu et al., 2008). A disponibilidade e a eficiência com que os nutrientes minerais são usados no aparato fotossintético são fatores importantes que afetam A .

Na maioria das plantas cultivadas o nutriente mineral com maior potencial para limitar A é o N (Evans, 1989). A falta desse macronutriente pode limitar essa taxa por meio da redução do teor de pigmentos cloroplastidiais e também por afetar a síntese de várias enzimas envolvidas no ciclo de Calvin, particularmente da ribulose-1,5-bifosfato-carboxilase/oxigenase (Rubisco) (Terashima e Evans, 1988).

Dessa forma, no presente trabalho investigou-se o impacto da nutrição nitrogenada e do déficit hídrico sobre as trocas gasosas em mudas de café arábica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa (20°45'S, 42°15'W, 650 metros de altitude), Minas Gerais. Foram utilizadas as cultivares: Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 44, Acauã, Catuaí Amarelo 2SL e Mundo Novo IAC 379-19. As plantas foram obtidas a partir de sementes previamente germinadas em condições controladas. Inicialmente removeu-se o pergaminho das sementes e em seguida foram tratadas com hipoclorito de sódio 5 % por 15 minutos para controle de possíveis patógenos. Logo após foram lavadas três vezes com água destilada e 25 sementes foram colocadas para germinar em papel germiteste umedecido com água destilada e mantidas em a temperatura de 30 °C em germinador por 40 dias.

As plantas foram aclimatadas por quatro semanas em caixas de 32 L contendo 30 L de solução nutritiva (5,0 mmol L⁻¹ NO₃⁻, 0,5 mmol L⁻¹ P, 3,25 mmol L⁻¹ K, 1,0 mmol L⁻¹ Mg, 2,25 mmol L⁻¹ Ca, 2,125 mmol L⁻¹ S, 23 µmol L⁻¹ B, 0,3 µmol L⁻¹ Cu, 80 µmol L⁻¹ Fe, 12 µmol L⁻¹ Mn, 0,3 µmol L⁻¹ Mo e 1,0 µmol L⁻¹ Zn). A solução inicial foi de ½ força, com aeração constante e pH mantido em torno de 5,7 ± 0,3. Após a aclimação, as plantas foram mantidas, por um período de 240 dias, em caixas contendo 30 L de solução nutritiva e 15 plantas por caixa.

Quando as plantas apresentavam aproximadamente 28 cm de altura, onze pares de folhas e já emitindo ramos plagiotrópicos foram transferidas para uma câmara de crescimento com temperatura controlada (23-24°C), luminosidade de 200 µmol m⁻² s⁻¹ e unidade relativa entre 56-58 % e submetidas ao fotoperíodo de 12h/12h (luz/escuro). As plantas foram transferidas para vasos contendo 2,5 L de solução nutritiva. Cada vaso contendo duas plantas consistiu uma unidade experimental.

Nos primeiros 15 dias as plantas foram cultivadas em solução nutritiva, sem aplicação dos tratamentos para se adaptarem ao ambiente, mantendo-se a solução nutritiva descrita acima.

Aos 15 dias, após a adaptação das plantas ao ambiente, iniciou-se a imposição da deficiência hídrica em sistema hidropônico. Um terço dos vasos receberam polietileno glicol (PEG 8000) para imposição da deficiência hídrica, a dose de 355 g L⁻¹ (Villega & Beckert, 2001) foi aplicada de forma gradativa durante quatro dias (96 h), obtendo-se ao final da aplicação um potencial hídrico de -1,5 MPa. Após as 96 h a solução nutritiva de todos os vasos foi trocada. Os vasos submetidos ao déficit hídrico receberam novamente solução nutritiva com a dose de PEG 8000 necessária para se obter potencial hídrico de -1,5 MPa na solução nutritiva. Neste momento também foi aplicado o tratamento de insuficiência de N às outras plantas.

O experimento foi montado em um esquema em fatorial 5 x 3, composto de 5 cultivares de café (Catuaí Amarelo IAC62, Catuaí Vermelho IAC44, Acauã, Catuaí Amarelo 2SL e Mundo Novo IAC379-19) e três tratamentos (N-suficiente (+N, 5,0 mmol L⁻¹ N-NO₃⁻) sem déficit hídrico, N-suficiente (+N, 5,0 mmol L⁻¹ N-NO₃⁻) com déficit hídrico (-1,5 MPa) e N-deficiente (+N, 0,0 mmol L⁻¹ N-NO₃⁻) no delineamento em blocos casualizados com três repetições, sendo cada parcela constituída por duas plantas. Todas as medições de trocas gasosas e fluorescência foram feitas respeitando o delineamento em blocos casualizados.

O período experimental foi de 96 h, foram realizadas as avaliações dos parâmetros de trocas gasosas no sétimo par de folhas completamente expandidas ao final do experimento.

Avaliou-se a taxa de assimilação líquida de carbono (A), condutância estomática ao vapor de água (g_s), taxa transpiratória (E), razão interna e externa de carbono (razão C_i/C_a). As medidas foram realizadas por volta das 08h00 empregando um analisador de gases a infravermelho portátil (LICOR 6400, Li-COR, Lincoln, Nebraska, EUA) sob intensidade de fluxo fotônico de 1000 μmol de fótons. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. A eficiência do uso da água foi calculada pela razão A/E .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variável A foi reduzida em plantas submetidas ao déficit hídrico e somente a cultivar Acauã apresentou redução de A na condição de deficiência de nitrogênio (Tabela 1). A taxa fotossintética líquida em condições de disponibilidade hídrica e de N, apresentou-se maior nas cultivares Mundo Novo e Acauã (Tabela 1). O cafeeiro é tradicionalmente considerado uma planta que apresenta valores de taxa fotossintética líquida (A) muito baixos geralmente entre 4 a 10 μmol de CO_2 $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, que podem variar conforme o tamanho do recipiente em que é cultivado em condições experimentais (DaMatta, 2003; Pinheiro et al., 2004). Os valores de A para as plantas controle variou de 10,276 μmol de CO_2 consumido $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a cultivar Acauã a 5,680 μmol de CO_2 consumido $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a cultivar Catuaí vermelho (Tabela 1). Esta diferença na taxa fotossintética encontrada entre as duas cultivares pode estar relacionada a uma menor condutância estomática exibida pela cultivar Catuaí vermelho em relação a cultivar Acauã (Tabela 2). Sabe-se que em condições de déficit hídrico a fotossíntese pode ser direta ou indiretamente afetada por mecanismos estomáticos.

Tabela 1. Taxa Fotossintética Líquida (A) e Condutância Estomática (g_s) de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica*) em condição de estresse hídrico (-1,5 MPa) e estresse nutricional (N-insuficiente)

Cultivares	Estresse					
	Controle	-1,5 MPa	N-	Controle	-1,5 MPa	N-
	A ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
Catuaí Vermelho	5,680 c	3,096 a*	5,671 b	0,497 b	0,393 a*	0,530 a
Catuaí Amarelo	6,330 c	2,861 a*	6,193 b	0,497 b	0,392 a*	0,498 b
Catuaí Amarelo	7,876 b	3,416 a*	6,573 b	0,501 b	0,393 a*	0,497 b
Mundo Novo	9,313 a	3,533 a*	8,461 a	0,508 b	0,392 a*	0,513 b
Acauã	10,576 a	3,956 a*	7,823 a*	0,537 a	0,381 a*	0,537 a
Média	7,955	3,372 *	6,944	0,508	0,392 *	0,515
CV (%)		14,31			2,47	

Médias seguidas por * diferem na linha do tratamento Controle pelo teste t ($p \leq 0,05$) e médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre se pelo critério de agrupamento de Scott-Knott à 5 % de probabilidade.

Dentre as cultivares estudadas a cultivar Catuaí Vermelho exibiu a menor redução da A quando aplicou-se o déficit hídrico, enquanto a cultivar Acauã apresentou a maior redução em A quando o déficit ou a deficiência de N foram impostos, ou seja, esta foi a cultivar mais afetada pelo déficit hídrico e pela deficiência de N (Tabela 1).

Apesar da grande associação do N (50-80 %) ao aparato fotossintético (Langsdorf et al., 2000) a manutenção da A , no tratamento com deficiência de N pode ser atribuída a não alteração dos teores da rubisco, enzima que atua na fotossíntese e apresenta N em sua estrutura. Cerca de 90 % da rubisco é sintetizada em até duas semanas após a expansão foliar, como as avaliações desses parâmetros foram feitas no sétimo par de folhas completamente expandidas, e a planta já estava emitindo o nono par de folhas, e como déficit de N imposto foi de 96 h, certamente a fase de pico de síntese da rubisco não coincidiu com a época de omissão de N (Makino et al., 1992; Bungard et al., 1997). Dessa forma, a não alteração da A , no tratamento com déficit de N pode ser explicada pela não coincidência da fase de síntese da rubisco na folha e a época de aplicação do tratamento.

A condutância estomática (g_s), mostrou-se reduzida em condições de déficit hídrico, e esta redução ocorreu em todas as cultivares, mas a deficiência de N não influenciou a g_s (Tabela 1). Entre as cultivares observa-se que a cultivar Acauã possui maior g_s na condição controle (sem estresse), sendo que em condições de deficiência de N, esta cultivar juntamente com Catuaí Vermelho possuem maior g_s e as cultivares Catuaí Amarelo, Catuaí Amarelo e Acauã formam o grupo das cultivares com menor g_s (Tabela 1).

As taxas transpiratórias (E) mostraram-se reduzidas em condições de déficit hídrico e não houve diferença nesta variável quando aplicou-se a deficiência de N. Sendo que, esta redução foi percebida em todas as cultivares no tratamento com déficit hídrico (Tabela 2). No tratamento controle, tem-se as cultivares Mundo Novo e Acauã com alta taxa transpiratória e outro grupo formado pelas cultivares Catuaí Vermelho, Catuaí Amarelo e Catuaí Amarelo exibindo menor E (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa Transpiratória de cultivares (*E*) de cafeeiro e Relação carbono interna da câmara subestomática e carbono atmosférico (C_i/C_a) (*Coffea arabica*) em condição de estresse hídrico (-1,5 MPa) e estresse nutricional (N-insuficiente)

Cultivares	Estresse					
	Controle	-1,5 MPa	N-	Controle	-1,5 MPa	N-
	<i>E</i> mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			Razão C_i/C_a		
Catuai Vermelho	1,437 b	0,501 b*	1,683	0,947 c	0,798 a	0,891 c
Catuai Amarelo	1,537 b	0,523 b*	1,533	1,221 c	1,521 a	1,197 c
Catucuí Amarelo	1,650 b	0,687 a*	1,133	1,921 b	1,003 a	1,557 b
Mundo Novo	2,191 a	1,481 a*	1,983	2,521 a	1,517 a	2,453 a
Acauã	2,361 a	1,571 a*	2,056	2,831 a	1,583 a	2,617 a
Média	1,8352	0,957*	1,6776	1,888	1,284*	1,743
CV (%)	2,54			15,21		

Médias seguidas por * diferem na linha do tratamento Controle pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) e médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo critério de agrupamento de Scott-Knott à 5 % de probabilidade.

Em condições de déficit hídrico, a cultivar Acauã, que exibiu a maior taxa fotossintética no tratamento controle (Tabela 1), apresentou uma redução de 62,6 % em sua fotossíntese líquida e de 65 % em sua taxa transpiratória, e a cultivar Catuai Vermelho, que apresentou a menor taxa fotossintética no tratamento controle apresentou uma redução de 45,5 % em sua fotossíntese líquida e de 33,5 % em sua taxa transpiratória (Tabela 2). Este declínio substancialmente maior apresentado pela cultivar Acauã em relação a cultivar Catuai Vermelho pode estar relacionado a menores valores de condutância estomática dessa cultivar em condições de seca (Tabela 1).

A relação carbono interna da câmara subestomática e carbono atmosférico (C_i/C_a) em condições controle apresenta-se significativamente maior nas cultivares Mundo Novo e Acauã em relação às cultivares Catuai Vermelho e Catuai Amarelo com as menores relações C_i/C_a (Tabela 2). Este resultado foi verificado devido às maiores condutâncias estomáticas das cultivares Mundo Novo e Acauã, em paralelo a valores equivalentes de taxa fotossintética das mesmas. Entretanto, todas as cultivares testadas neste estudo, mostraram uma manutenção da razão C_i/C_a em condições de deficiência de N em relação as condição controle (Tabela 2). À medida que se intensifica o estresse hídrico, pode ocorrer também uma inibição não-estomática da fotossíntese, determinada pelo comprometimento da regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato e também por um decréscimo na atividade de carboxilação dessa enzima (DaMatta et al., 2002). A eficiência do uso da água (*A/E*) foi afetada em condições de déficit hídrico, e esta mudança ocorreu de forma distinta entre as cultivares (Tabela 3). Nas cultivares Mundo Novo e Acauã houve redução nesta variável, nas cultivares Catuai Vermelho e Catuai Amarelo houve aumento na eficiência do uso da água e na cultivar Mundo Novo não houve diferença nesta variável entre o tratamento controle e o tratamento com déficit hídrico (Tabela 3). A deficiência de N não provocou mudanças na eficiência do uso da água em nenhuma das cultivares avaliadas neste estudo (Tabela 3).

Tabela 3. Eficiência no uso da água (*A/E*) de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica*) em condição de estresse hídrico (-1,5 MPa) e estresse nutricional (N-insuficiente)

Cultivares	Estresse		
	Controle	-1,5 MPa	N-
Catuai Vermelho	3,95 a	6,179 a*	3,369 b
Catuai Amarelo	4,118 a	5,470 a*	4,039 b
Catucuí Amarelo	4,773 a	4,972 a	5,801 a
Mundo Novo	4,251 a	2,380 b*	4,266 b
Acauã	4,479 a	2,518 b*	3,804 b
Média	3,204	1,764	2,525
CV (%)	32,11		

Médias seguidas por * diferem na linha do tratamento Controle pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) e médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo critério de agrupamento de Scott-Knott à 5 % de probabilidade.

As menores taxas transpiratórias nas cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo em relação às cultivares Mundo Novo e Acauã em condição de déficit hídrico refletem maior eficiência no uso da água para aquelas cultivares (Tabela 3).

CONCLUSÕES

As cultivares Acauã e Mundo Novo sofreram os maiores efeitos do déficit hídrico. De maneira geral, o déficit hídrico afetou as variáveis fisiológicas avaliadas enquanto a deficiência de N não afetou significativamente as variáveis fisiológicas avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAF, M.; SHABAZ, M.; ASHRAF, M.Y. Influence of nitrogen supply and water stress on growth and nitrogen, phosphorus, potassium and calcium contents in pearl millet. *Biol. Plant.* 44: 459–462, 2001.
- BORGHI, B. Nitrogen as determinant of wheat growth and yield. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.) *Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination*. Food Products Press, New York, NY, pp. 67–84, 2000.
- BUNGARD, R.A.; MCNEIL, D.; MORTON, J.D. Effects of nitrogen on the photosynthetic apparatus of *Clematis vitalba* grown at several irradiances. *Aust. J. Plant Physiol.* 24:205-214, 1997.
- DAMATTA, F.M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. In: Hemantaranjan A, ed. *Advances in plant physiology*. Scientific Publishers, 5: 227–265, 2003
- 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 of Plant Physiology* 159: 975-981, 2002.
- EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78: 9–19, 1989
- HEITHOLT, J.J., Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen- and water-stressed winter wheat. *Agron. J.* 81, 464–469, 1989.
- LANGSDORF, G.; BUSCHMANN, M.; SOWINSKA, M.; BANBANI, F.; MOKRY, F.; TIMMERMANN, F.; LICHTENTHALER, H.K. Multicolour fluorescence imaging of sugar beet leaves with different nitrogen status by flash lamp UV-excitation. *Photosynth.* 38:539-551, 2000.
- MAKINO, A.; SAKASHITA, H.; HIDEEMA, J.; M.A.E, OJIMA, K.; OSMOND, B. Distinctive responses of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and carbonic anhydrase in wheat leaves to nitrogen nutrition and their possible relationships to CO₂ transfer resistance. *Plant Physiol.* 100:1737-1743, 1992.
- NAGARAJAH, S. The effect of nitrogen on plant water relation in tea (*Camellia sinensis*). *Physiol. Plant.* 51, 304–308, 1981.
- PINHEIRO, H. A., DAMATTA, F.M., CHAVES, A.R.M., FONTES, E.P.B., LOUREIRO, M.E. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. *Plant Science*, 167: 1307–1314, 2004
- TERASHIMA, I.; EVANS, J.R. Effects of light and nitrogen nutrition on the organization of the photosynthetic apparatus in spinach. *Plant Cell Physiol* 29: 143–155, 1988.
- VILLELA, F.A.; BECKERT, O.P. Potencial osmótico de soluções aquosas de polietileno 482 glicol 8000. *Revista Brasileira de Sementes* 23:267-275, 2001.
- WILSON, K.; WALKER, K. Principles and techniques of practical biochemistry. 5^a ed. Cambridge: Cambridge University Press, 784 p., 2000.
- WU, F.Z.; BAO, W.K.; LI, F.L.; WU, N. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. *Environ. Exp. Bot* 63, 248–255, 2008.