

**EFEITO DA TEMPERATURA RADICULAR NA RESISTÊNCIA
AO MOVIMENTO DE ÁGUA NO CACAUEIRO
(*THEOBROMA CACAO* L.)¹**

Solange Maria Costa de Amorim²
Raúl René Valle³

Recebido em 15-7-91. Aceito em 4-6-92

RESUMO: O efeito da temperatura radicular na resistência ao movimento de água foi estudada em plântulas de cacau (*Theobroma cacao* L. cv. Catongo) sob condições de casa de vegetação e a temperaturas radiculares de 10, 20, 30 e 40°C, em folhas cobertas com papel de alumínio e sacos de polietileno preto e em folhas descobertas. As folhas estavam localizadas na parte basal, intermediária e apical do caule. Mediram-se trocas gasosas foliares utilizando o sistema portátil de fotossíntese LI-6000. O potencial hídrico e o osmótico foram mensurados por psicrometria. O potencial de turgor foi estimado por diferença entre o potencial hídrico e o osmótico. Os resultados obtidos sugerem que a resistência ao movimento de água nas plântulas de cacau depende do fluxo transpiracional e que a variação dos gradientes do potencial hídrico na planta é determinada por temperaturas radiculares maiores de 30°C. As trocas gasosas, a temperaturas radiculares diferentes, dependem do estado hídrico da planta.

Palavras-chave: Cacau, resistência ao movimento de água, temperatura radicular

ABSTRACT: The effects of root temperature on water movement resistance were studied on cacao (*Theobroma cacao* L. cv. Catongo) seedlings under greenhouse conditions at root temperatures of 10, 20 30 and 40°C, on leaves covered with aluminum foil and black plastic bags and on uncovered leaves. The leaves were located at the base, intermediates part and apex of the stem. Gas exchange measurements were done utilizing a LI-6000 portable photosynthetic system. Water and osmotic potential were measured by psychrometry. Turgor potential was estimated as the difference between water potential and osmotic potential. The results suggested

1 - Trabalho apresentado no XLI Congresso Nacional de Botânica, Fortaleza - CE.

2 - Bióloga, M.S. Prof^a. Inst. de Biol. UFBA, Salvador, BA. 40210;

3 - Eng. Agr. Ph.D. Pesquisador CEPLAC/CEPEC C.P. 07, Itabuna, Ba. 45600.

that the resistance to water movement depends on the transpirational flux and that the water potential gradients across the plant vary at temperatures greater than 30°C. Gas exchanges, at different root temperature, depend on the water status of the plant.

Key words: Cacao, Resistance to water movement, Root temperature.

Introdução

O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) é uma planta típica dos climas tropicais e sub-tropicais onde o consumo de água pelos vegetais é geralmente alto. Poucas plantas cultivadas são tão sensíveis a deficiência de água e, praticamente, todos os seus processos fisiológicos são afetados pela falta de umidade no solo.

A deficiência de água no solo reduz a produção total, influencia a renovação de folhas e a floração (Alvim, 1977), afetando mais a produção que o pegamento de flores e mumificação de frutos jovens em plantas adultas de cacau (Machado & Alvim, 1981).

O processo de transpiração controla a absorção e a translocação de água e sais minerais e é fator importante na dissipação de energia como forma de resfriamento. As flutuações na transpiração são acompanhadas por variações simultâneas na força motriz e no gradiente de potencial hídrico das folhas (Black, 1979) modificando a assimilação de dióxido de carbono (Farquhar & Sharkey, 1982). Relações lineares entre o potencial hídrico da folha e o gradiente de transpiração são frequentemente encontradas em plantas lenhosas (Barrs, 1971).

Zimmerman (1965) e Kramer (1974) demonstraram que a temperatura do solo afeta o fluxo de água do solo para as raízes e a relação do potencial hídrico e seus componentes com as trocas gasosas e a dinâmica de absorção de água (Black, 1979).

Uma das analogias mais usadas para o estudo do movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera é a comparação desse processo com o fluxo de eletricidade num sistema de condução (lei de Ohm). Essa analogia define o fluxo de água como uma função direta da diferença de potencial hídrico entre as partes estudadas e inversamente proporcional a resistência (Gradmann, 1928). Esses conceitos foram desenvolvidos por Honert (1948) e largamente usados nas décadas subsequentes (Boyer *et al.*, 1974). Dependendo da resistência ao fluxo de água na planta, uma defasagem entre a água transpirada e a absorvida pelas raízes é causada, provocando, conseqüentemente, um déficit hídrico entre as folhas e o solo cujo resultado final é o incremento do fluxo de água para a planta.

Considerando o modelo desenvolvido por Honert (1948), este estudo visou: a) investigar o efeito de diferentes temperaturas do solo na resistência ao fluxo de água em plântulas de cacau, e b) estabelecer relações entre o potencial hídrico e seus componentes com a fotossíntese.

Materiais e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), em Itabuna, Bahia. Plântulas de cacau da variedade 'Catongo' foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade de 5.0 kg de solo que consistiu numa mistura de areia lavada e auto-clavada com pó de serra na proporção de 2:1.

As plântulas foram irrigadas com solução nutritiva (Hoagland, 1948) em diferentes concentrações (1/4, 1/2, 3/4 e completa) de acordo com o crescimento das mesmas. A cada três dias os vasos foram irrigados com água corrente para evitar acidificação do meio e manter o pH do solo entre 7,0 a 7,5. O pH foi controlado utilizando um pH-metro Micronal, modelo B221. As amostragens foram realizadas entre as 10:00 e 13:00 h em dez plântulas selecionadas com oito meses de idade em estágio de desenvolvimento semelhante. Cada amostragem consistiu de três repetições num desenho experimental completamente casualizado.

A região radicular foi submetida a banhos de gelo para a obtenção das temperaturas constantes de 10 e 20°C e a banho-maria nas temperaturas constantes de 30 e 40°C. Nessas condições, foram cobertas com papel laminado (Neumann *et al.*, 1974) e recobertas com sacos de polietileno (Begg & Turner, 1970) folhas de idade semelhantes das posições basal, intermediária e apical. Após 16 h de equilíbrio, quatro discos foliares foram coletados das folhas cobertas e de folhas descobertas adjacentes, nas três posições no caule, para as medições dos potenciais hídricos e osmóticos. Os discos foliares foram colocados dentro das câmaras de psicrometros de termopar tipo Spanner (Spanner, 1951). O sinal, em microvolts, dos psicrometros foi medido através de um microvoltímetro Wescor, modelo HT-33T, após serem equilibrados em banho-maria a uma temperatura de 30°C por quatro horas. O potencial osmótico foi estimado, após ruptura das paredes celulares nos discos foliares e equilíbrio em banho-maria por quatro horas em temperatura constante de 30°C (Bennett, 1982). A ruptura das paredes celulares nos discos foliares foi efetuada colocando os psicrometros em nitrogênio líquido por um minuto. O potencial de turgor foi estimado pela diferença entre o potencial hídrico e osmótico. A temperatura radicular foi controlada usando um termómetro Incoterm-IM, com coluna de mercúrio de 76 mm. O sistema portátil de fotossíntese LI-6000 PPS foi utilizado nas medições de fotossíntese, transpiração, condutância estomática, temperatura da folha e radiação solar. O uso eficiente de água (unidades de carbono fixado por unidade de água transpirada), foi estimado dividindo a fotossíntese pela transpiração. O resultado foi expressado em mmol CO₂/mol H₂O (Valle *et al.*, 1985).

Os resultados foram analisados, de acordo com a equação de Van der Honert (1948), $F = Ph / R$, onde F representa o fluxo de água, Ph o gradiente de potencial hídrico e R a resistência ao movimento de água na planta.

Análise de variância e de correlações foram realizados utilizando o procedimento GLM (General Linear Models) e as análises de regressão, que forneceram os melhores modelos de predição da resistência ao movimento de água, foram realizados utilizando o procedimento Stepwise do Sistema de Análise Estatística (SAS INSTITUTE, 1982).

Resultados e discussão

A variação do potencial hídrico em função das temperaturas radiculares de 10, 20, 30 e 40°C foi mais pronunciada nas folhas apicais do que nas basais e intermediárias (Figura 1). Nestas folhas, o potencial hídrico manteve-se constante

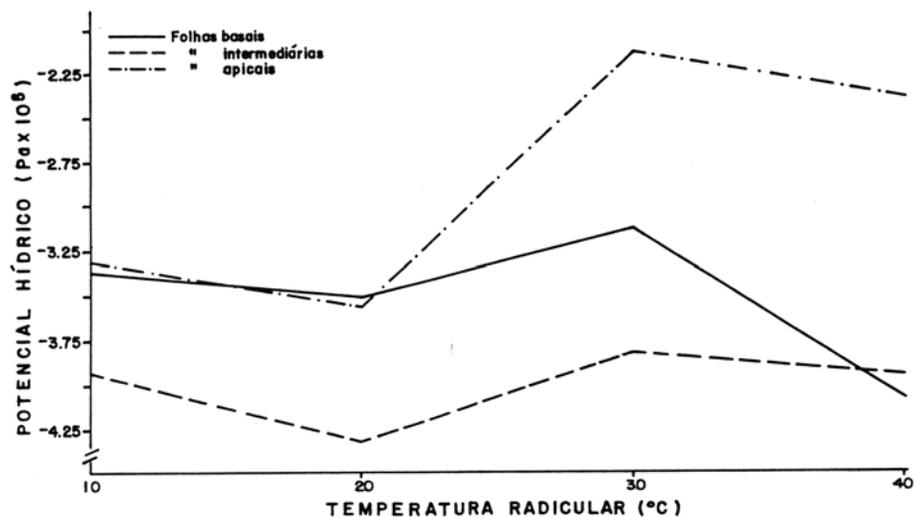


Figura 1 - Potencial hídrico das folhas basais, intermediárias e apicais em função da variação da temperatura na região radicular.

em aproximadamente -3,5 e -4,0 Pax10⁵, respectivamente, em todas as temperaturas estudadas. O potencial hídrico nas folhas apicais se manteve constante em cerca de -3,3 Pax10⁵ nas temperaturas de 10 a 20°C, e aumentou para aproximadamente -2,2 Pax10⁵ nas temperaturas de 30 e 40°C. A magnitude da variação do potencial hídrico nas plantas de cacau neste estudo foi de -1,3 Pax10⁵. O suprimento de água para as raízes foi limitado em decorrência da diminuição da condutividade hidráulica no solo na temperatura de 10°C (Kramer, 1974). A condutividade hidráulica do solo foi, certamente, maior nas temperaturas entre 20 e 30°C e, conseqüentemente, o potencial hídrico foliar aumentou. Nas temperaturas de 30 e 40°C, modificações das membranas das células radiculares, provavel-

mente, desnaturação de proteínas, provocaram uma brusca queda do potencial de turgor das folhas intermediárias e apicais foi mantido, sugerindo uma condição de ajustamento osmótico nessas folhas (Lybeck, 1958; Scholander, 1965; Jones, 1978; Turner, 1978).

No intervalo de 10 a 30°C de temperatura radicular, juntamente com diferenças no potencial hídrico foliar, foi observado um aumento linear na taxa de transpiração das folhas intermediárias e apicais. A transpiração das folhas basais foi constante no intervalo 10 a 20 e aumentou no intervalo 20 a 30°C (Figura 2). Nesse intervalo, as folhas intermediárias, com a lâmina completamente formada transpiraram mais que as folhas apicais, igualmente jovens, mas com a lâmina incompleta e que as folhas basais, mais velhas. Os resultados indicaram que a condutância interna e a estomática mudam com a idade das folhas (Goode & Higgs, 1973; Constable & Rawson, 1980). Independentemente da posição das folhas, a taxa de transpiração foi menor nas temperaturas do solo de 10 e de 40°C, que nas temperaturas de 20 e de 30°C.

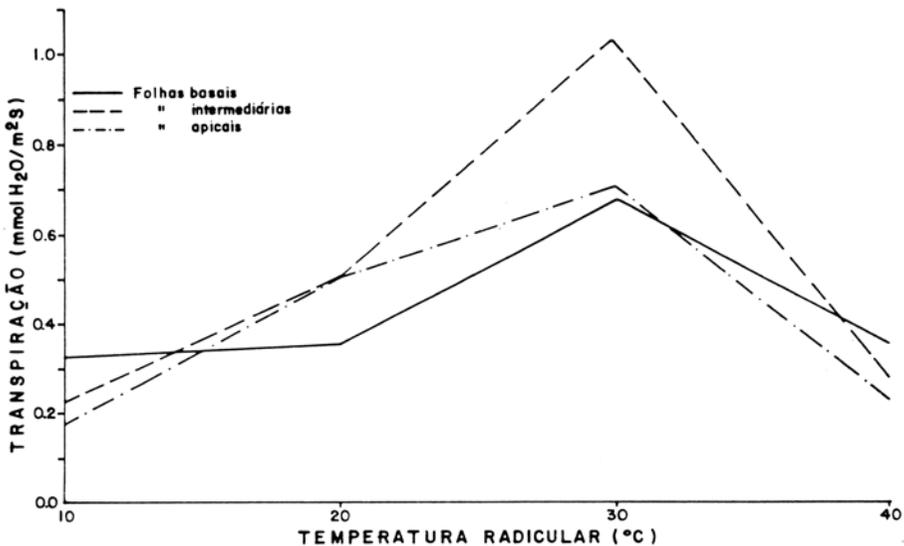


Figura 2 - Taxa de transpiração de plantas de cacau submetidas a diferentes temperaturas na região radicular.

Nas determinações do efeito da temperatura do solo sobre a resistência ao fluxo de água em plântulas de cacau, verificou-se que houve maiores resistências nas temperaturas radiculares de 10 e 40°C, independentemente das posições foliares. A redução da absorção de água nessas temperaturas, mostrou que o cacau é altamente dependente da temperatura radicular (Figura 3). A resistência ao fluxo de água, nas condições deste experimento, afetaram indiretamente a fotossíntese

das plântulas de cacau, principalmente nas folhas intermediárias e apicais (Figura 4).

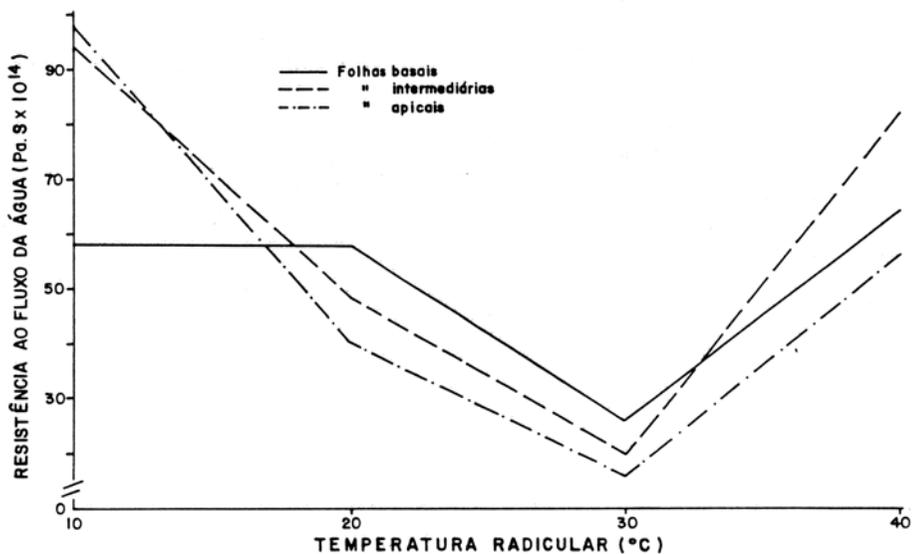


Figura 3 - Resistência ao fluxo de água em função da variação da temperatura na região radicular em folhas basais, intermediárias e apicais de plantas de cacau.

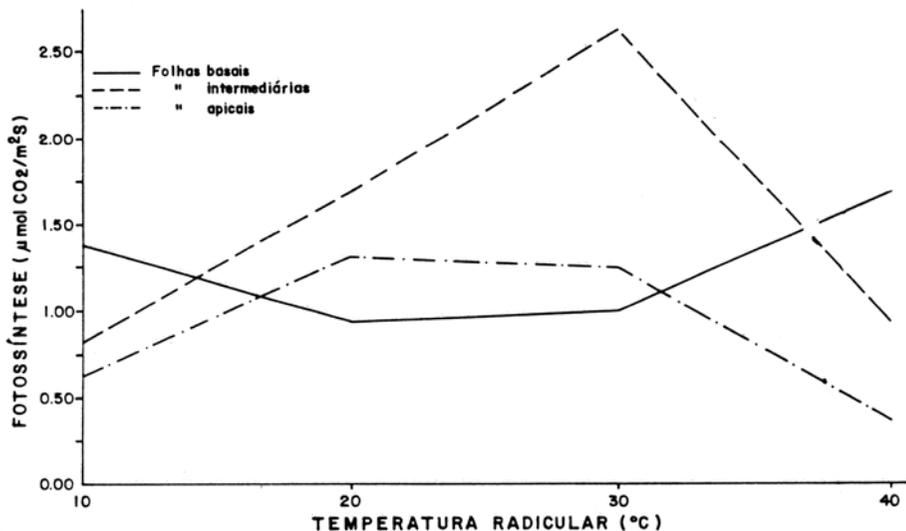


Figura 4 - Taxa de fotossíntese em função de temperatura radicular em folhas basais, intermediárias e apicais de plantas de cacau.

O uso eficiente de água é uma medida relativa do grau de eficiência com que os processos de fotossíntese e transpiração interagem (Figura 5). A análise de correlação apresentou um coeficiente de 0,59 ($P < 0.05$) entre a resistência ao fluxo de água e o uso eficiente de água. O maior uso eficiente de água foi observado nas folhas basais nas temperaturas extremas de 10 e de 40°C, relacionando-se mais com a taxa fotossintética do que com a transpiração. Comparando os resultados obtidos com os relatados por Valle *et al.* (1985), utilizando plantas de soja [*Glycine max* (L) Merr.J], o cacau mostrou-se menos eficiente na fixação de dióxido de carbono que a soja sob condições similares de resistência estomática.

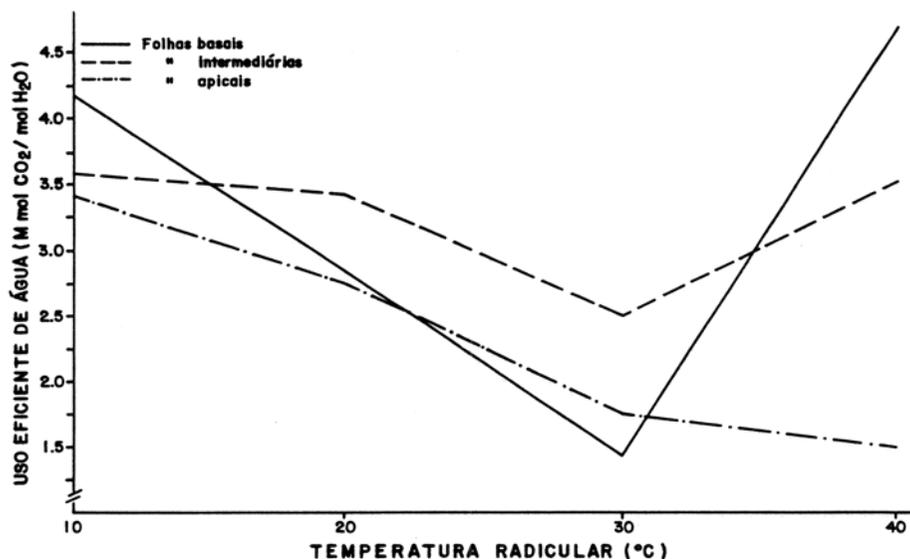


Figura 5 - Relação entre o uso eficiente de água e a temperatura da região radicular em folhas basais, intermediárias e apicais de plantas de cacau.

Os valores dos parâmetros mensurados foram utilizados para a construção de modelos estatísticos de predição da resistência à absorção de água no cacau (Tabela 1). A taxa de transpiração foi o parâmetro que deu o maior coeficiente de determinação para modelos utilizando uma só variável. Este modelo explicou 74% da variação dos dados de resistência em função das posições foliares e temperaturas na região radicular. O melhor modelo utilizando duas variáveis, potencial osmótico e transpiração, explicou 83% da variação de resistência. A partir dos modelos com três variáveis, a predição da resistência aumentou notavelmente. O melhor modelo, com três variáveis, utilizou os dados de transpiração, dióxido de carbono na cavidade subestomática e uso eficiente de água e explicou 95% da variação nos dados de resistência ao fluxo de água.

Tabela 1 - Modelos estatísticos de predição da resistência ao movimento de água (RES). Os melhores modelos dependendo do número de parâmetros utilizados estão indicados por B.

EQUAÇÕES	r ²
RES = 96,11 - 92,22TR*	0,74B
RES = 61,26 - 11,22Po - 100,60TR	0,83B
RES = 33,83 - 11,91Po - 102,78TR + 0,1 Ci	0,89B
RES = 3,45 - 71,94TR - 0,17Ci + 13,02UEA	0,95B
RES = 3,99 - 865,63Cs - 40,15TR - 0,166Ci + 14,7UEA	0,97
RES = 142,02 - 3,82TA - 1840,69Cs + 0,143Ci + 13,0UEA	0,98B
RES = 144,84 - 4,35Ph - 3,92T1 - 1955,5Cs + 0,127Ci + 9,25UEA	0,99
RES = 31,01 - 0,61TRAT - 9,11Ph - 2117,03Cs + 0,097Ci + 8,58UEA	0,99B
RES = 32,14 - 0,64TRAT - 9,75Ph - 3,69pT - 2067,2Cs + 0,09Ci + 7,72UEA	0,99B

* TR = transpiração, Po = Potencial osmótico, Ci = Dióxido de carbono na câmara subestomática, UEA = Uso eficiente de água, Cs = Condutância estomática, Pt= Potencial de turgor, PH= potencial hídrico, TRAT = Temperatura radicular.

Pode-se concluir que a resistência ao movimento de água em cacau depende do fluxo transpiracional e que os gradientes do potencial hídrico na planta são constantes a temperaturas radiculares menores ou iguais a 20°C e variam a temperaturas maiores de 30°C. As trocas gasosas em folhas de plântulas de cacau, sob diferentes temperaturas na região radicular, estão relacionadas com o estado hídrico da planta.

Agradecimentos

À minha mãe Regina (*in memoriam*) cuja cooperação para a concretização desta dissertação de mestrado foi constante.

Referências Bibliográficas

- ALVIM, P. de T. 1977. *Cacao*. In. *Ecophysiology of Tropical Crops*. Ed. P. de T. Alvim & T.T. Kozlowski. Academic Press, Inc. 279-310 pp.
- BARRS, H.D. 1971. Cycling variations in stomatal aperture, transpiration, and leaf water potential under constant environmental conditions. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 22: 223-236.
- BEGG, J.E. & TURNER, N.C. 1970. Water potential gradients in field tobacco relations. *Plant Physiol.* 46: 343-346.

- BENNETT, J.M., CORTES, P.M. & LORENS, G.F. 1986. Comparison of water potential components measured with a thermocouple psychrometer and a pressure chamber and effects of starch hydrolysis. *Agron J.* 78: 239-244.
- BLACK, R. C. 1979. The relationship between transpiration, water potential, and resistance to water movement in sunflower (*Helianthus annuus* L.) *J. Exp. Bot.* 30(15):235-243.
- BOYER, J. S. 1974. Water transport in plants: Mechanisms os apparent changes in resistance during absorption. *Planta (Berl.)* 117: 187-207.
- CONSTABLE, G. A. & RAWSON, H. M. 1980. Effects of leaf position, expansion, and age on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of cotton. *Aust. J. Plant Physiol.* 7: 89-100.
- FARQUHAR, G. D & SAHRKEY, T. D. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33: 317-345.
- GOODE, J. E. & HIGGS, K. M. 1973. Water osmosis and pressure potencial relationships in apple leaves. *J. Hort. Sci.* 48: 203-215.
- GRADMANN, H. 1928. Untersuchungen uber die Wasseverhaltnisse des Bodens als. Grundlage des Pflanzenwachstums. *Jarb. Wiss. Bot.* 69: 1-100.
- HOAGLAND, D. R. 1948. Lectures on the inorganic nutrition of plants. Chronica Botanica Co. Waltham. Mass. USA. pp 48-71.
- HONERT, T. C. VAN DEN. 1948. Water transport in plants as a catenary process. *Disc. Faraday Soc.* 3: 146-153.
- JONES, M. M. 1978. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water decits. *Plant Physiol.* 61: 122-126.
- KRAMER, P. J. 1974. Fifty years of progress in water realtions reserch. *Plant Physiol.* 54: 463-471.
- LYBECK, B.R. 1958. Winter freezing in relation to the resistance of sap in tall trees. *Plant Physiol.* 34: 482-486.
- MACHADO, R. C. R. & ALVIM, P. DE T. 1981. Efeito da deficiência hídrica do solo sobre a renovação de folhas, floração e estado de água no cacauieiro. *Revista Theobroma* 11(3):183-191.
- NEUMANN, H. H., THURTHELL, G. E. & STEVENSON R. K. 1974. 'In situ' measurements of leaf water potencial and resistance to water flow in corn, soybean and sunflower at several transpiration rates. *Can. J. Plant Sci.* 54: 175-184.
- SAS INSTITUTE. 1982. SAS user's guide: Statistics. Cary, N. C. USA. 584 p.
- SCHOLANDER, P. F., HAMMEL, H. T., BRADSTREET, E. D. & HEMMINGSEN, E. A. 1965 Sap pressure in vascylar plants. *Science* 149: 339-346.
- SPANNER, D. C. 1951. The Peltier effect and its use in the measurement of suction pressure. *J. Exp. Bot.* 2: 145-168.
- TURNER, N. C., BEGG, E. J. & TOUNET, M. L. 1978. Osmotic adjustmente of sorghum and sunflower crops in response to water deficit and its influence on the water potencial at wich stomata close. *Aust. J. Plant Physiol.* 5: 597-608.

- VALLE, R., MISHOE, J. W., JONES, J. W. & ALLEN, JR., L. H. 1985. Transpiration rate and water use efficiency of soybean leaves adapted to different CO₂ environments. *Crop Sci.* 25: 477-482.
- ZIMMERMAN, M. M. 1965. Effects of low temperature on the ascent of sap in trees. *Plant Physiol.* 39: 568-572.