

MEDIDAS SIMULTÂNEAS DO POTENCIAL DA ÁGUA NO SOLO E EM FOLHAS E RAÍZES DE PLANTAS DE MILHO (*Zea mays*, L.)¹*/

ORIVALDO BRUNINI**
GEORGE W. THURTELL***

Abstract

*Experiments were undertaken using growth chamber-grown corn plants (*Zea mays*, L.) hybrid "United 108," to characterize the relative magnitude of the water potential in the soil and within the plant. Root water potential was measured in situ with hygrometers attached to the roots (Brunini, 3); a leaf hygrometer (Neumann and Thurtell, 7, Neumann, 8) was used to measure leaf water potential, and in situ measurements of soil water potential were made with a soil hygrometer (Brunini, 3).*

The devices are attached to the leaves or roots, or inserted into the soil, allowing continuous measurements of the leaf, root and soil water potential. The results indicate that no apparent damage is caused to the roots by attaching the hygrometers to them. It was also observed that a difference up to 4 bar may exist between the water potential in the root xylem and in the root epidermis.

Introdução

O estado da água em um sistema é determinado pela energia livre de Gibbs, onde o termo potencial da água pode ser assumido como igual à diferença entre o potencial químico da água em solução e o potencial da água livre e pura. O potencial da água em um sistema está relacionado à pressão de vapor conforme indica a equação de Kelvin:

$$\psi = \frac{\mu_w - \mu_w^0}{V_w^0} = \frac{RT}{V_w^0} \ln \frac{e}{e_0}$$

onde: ψ é o potencial da água (bar); μ_w^0 é o potencial químico da água livre e pura (erg mol^{-1}); μ_w , o potencial químico da água em solução (erg mol^{-1}); R é a constante universal dos gases ($\text{ergs} \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ molecula-grama}^{-1}$); T é a temperatura absoluta ($^\circ\text{K}$); e_0 é a pressão do vapor saturante (m bar); e é a pressão atual do vapor (m bar); V_w^0 é o volume molar parcial da água ($\text{cm}^3 \text{ molecula-grama}^{-1}$); e $1n$ é a base do logaritmo neperiano.

A equação acima indica que o potencial da água em um sistema é diretamente relacionado com a umidade relativa neste sistema. Spanner (12) projetou o primeiro psicrômetro, fazendo uso do efeito Peltier, para medir a umidade relativa em uma pequena câmara contendo uma amostra de folha, sob condições de temperatura controlada. Após o trabalho de Spanner, outros pesquisadores desenvolveram novos modelos de psicrômetros para medidas da energia livre da água em tecidos vegetais (Richards e Ogata, 11; Boyer, 2).

Neumann e Thurtell (7) introduziram a técnica do ponto de orvalho para medidas do potencial da água em tecidos vegetais. Neste caso o sensor (termopar)

1 Recebido para publicação em 11 novembro 1980.

* Projeto desenvolvido junto à Universidade de Guelph-Ontário-Canadá e faz parte do trabalho do autor principal para obtenção do grau de Ph D.

** Seção de Climatologia Agrícola (CNP_q) - Instituto Agrônomo de Campinas - Cx. Postal, 28 - 13 100 - Campinas - São Paulo - Brasil.

*** Professor - Department of Land Resource Science - University of Guelph - Guelph - Ontario - Canada.

é trazido até a temperatura do ponto de orvalho do ar em uma pequena câmara em equilíbrio com uma folha, através do efeito Peltier quando uma corrente elétrica de resfriamento passa pela junção do termopar. Como no ponto de orvalho não ocorre troca líquida de vapor, este método torna-se insensitivo às características de molhamento da junção, como normalmente ocorre com os psicrômetros convencionais (Peck, 9; Richards e Ogata, 11; Rawlins, 10; Boyer, 2).

A técnica do higrômetro do ponto de orvalho tem provado que é precisa e acurada para medidas *in situ* do potencial da água na folha (Dubé, 5; Neumann, 8; Campbell e Campbell, 4; Baughn e Tanner, 1; Ike, 6; Brunini, 3). Recentemente Brunini (3) avaliou a técnica do higrômetro do ponto de orvalho e projetou dois novos higrômetros para medidas *in situ* do potencial da água no solo, assim como o potencial da água nas raízes de vegetais.

Material e Métodos

Plantas

Foram utilizadas plantas de milho (*Zea mays*, L.) híbrido "United 108". As plantas foram cultivadas em vasos, tendo como substrato uma mistura de solo e turface (condicionador de solo). Inicialmente as plantas foram cultivadas em casa de vegetação, onde a temperatura do ar era $25/20 \pm 1^\circ\text{C}$ (dia e noite) e umidade relativa 65%. As plantas eram irrigadas periodicamente com uma solução nutritiva de Hoagland cujo potencial osmótico era -0.8 bar.

Quando as plantas tinham uma idade de 75 a 80 dias elas foram transferidas para uma câmara de crescimento e deixadas por 4 dias, de modo a equilibrar sob as novas condições ambientais. As condições de ambiente na câmara de crescimento eram: temperatura do ar $25/22 \pm 1^\circ\text{C}$ (dia e noite), umidade relativa 70%, e fotoperíodo 12 horas.

Medidas do Potencial da Água

O estado da energia livre da água nas folhas foi medido com um higrômetro para folha (Neumann e Thurtell, 7). Os higrômetros foram colocados na parte distal da folha mais expandida no topo da planta, usando-se a técnica descrita por Neumann, (8). O potencial da água nas raízes foi medido com um higrômetro para raízes (Brunini, 3). Tal instrumento permite medir o potencial da água na epiderme e xilema das raízes e o procedimento usado para se fi-

zar os higrômetros nas raízes estão descritos em Brunini (3). O potencial da água no solo foi medido com higrômetro para solo (Brunini, 3).

Procedimento Experimental

Para se observar a magnitude relativa do potencial da água nos vários componentes do sistema solo-planta, algumas plantas foram submetidas diariamente a uma intensidade luminosa constante de 200 Wm^{-2} durante o período diurno. Em outro conjunto de experimentos as plantas foram submetidas diariamente a 3 valores de intensidade luminosa, ou seja, 120, 250 e 400 Wm^{-2} . Em todos os experimentos a irrigação foi suspensa quando o estudo começou e as plantas foram analisadas durante um período de secamento que geralmente durou de 4 a 5 dias.

Resultados e Discussão

Neste estudo foram feitos dois tipos diferentes de medição do potencial de água nas raízes. Em um caso, o cortex da raiz foi deixado intacto, e tais valores foram designados como potencial da água na parte mais exterior da superfície da raiz ou da epiderme (ψ_{RO}). Em alguns casos, parte do cortex foi removido, cortando-se uma pequena fatia de $\pm 1 \text{ mm}$ de espessura e paralela ao eixo da raiz. Esta parte, com o cortex removido, foi colocado faceando a cavidade do higrômetro que contém a cavidade e o termopar. Tais valores foram designados de potencial da água da parte inferior da raiz ou do xilema (ψ_{RX}).

Considerando-se as isolinhas de potencial da água na raiz e o tamanho das raízes usadas no experimento (3 mm), seria muito mais fácil para a água caminhar de célula a célula na epiderme e cortex, através do apoplasto, do que através do simplasto e assumido-se que a resistência para a água atravessar a endoderme é muito maior do que a resistência na epiderme e cortex, a água poderia se movimentar neste região muito mais fácil do que através da endoderme para atingir o xilema. Neste caso, o potencial da água na epiderme, onde o higrômetro estava medindo, e na região da epiderme, fora do higrômetro, deveria ser o mesmo devido ao fluxo longitudinal de água. Duas considerações devem ser feitas quanto à remoção do cortex. Pela remoção de uma camada de aproximadamente 0.5 a 1.0 mm de espessura, a endoderme poderia facear a cavidade do higrômetro e com a vedação com graxa nas extremidades do corte todo fluxo longitudinal de água foi evitado. Por outro lado, em muitos casos, estes cortes foram além da endoderme e o higrômetro poderia facear diretamente a parte interna da raiz.

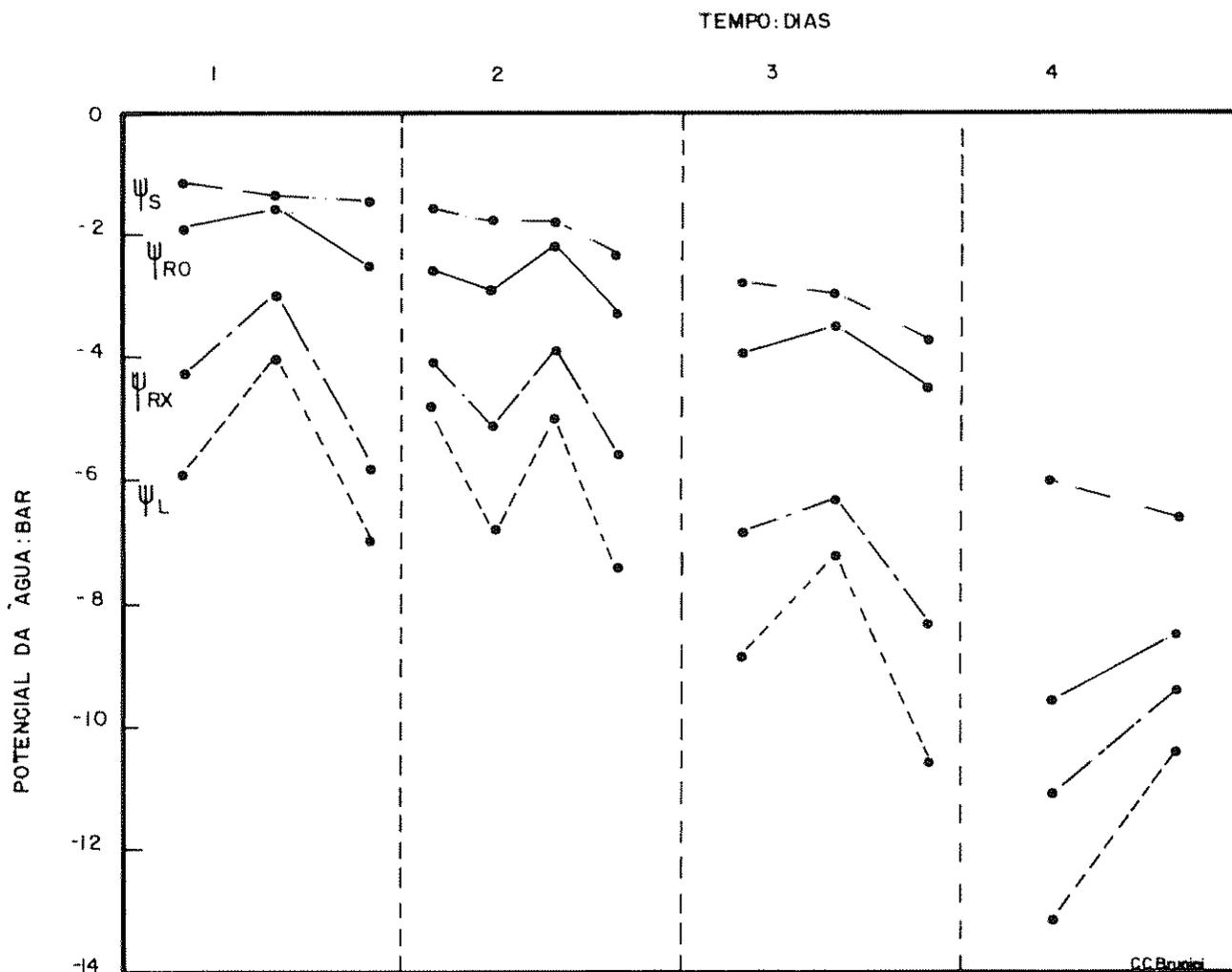


Fig. 2. Variações no potencial da água, na folha; na epiderme e xilema da raiz e no solo, em planta de milho, híbrido United-108, quando submetido a diferentes intensidades de radiação durante um período de secamento. (ψ_s) potencial da água no solo; (ψ_{RO}) potencial da água na epiderme da raiz; (ψ_{RX}) potencial da água no xilema da raiz; (ψ_L) potencial da água na folha.

Para se verificar esta hipótese foi medido, para uma planta o potencial da água na folha e na raiz durante dois períodos de secamento. Para outra planta foi medido o potencial da água na folha e no solo, durante um período de secamento. Em ambos experimentos as plantas foram submetidas a uma intensidade de luz constante e igual a 200 Wm^{-2} durante o período diurno.

No caso em que o potencial da água na folha e na raiz estavam sendo medidos, esses parâmetros eram iguais após a planta permanecer várias horas no escuro como é demonstrado pela Figura 3. No terceiro dia de experimento a planta foi irrigada (Figura 3) sob luz; isto causou um breve aumento no potencial da água

na raiz e no da folha, mas após isso eles tornaram a decrescer novamente.

As medidas de potencial da água no solo e nas folhas mostraram que os potenciais da água no solo e nas folhas eram iguais após a planta permanecer várias horas no escuro, e com solo relativamente úmido como indica a Figura 4. Porém, quando o solo tornou-se mais seco, foi observada uma apreciável diferença entre os valores de potencial da água no solo e folha. Esta diferença acentuou-se à medida que o potencial de água no solo tornou-se mais negativo (Figura 4). Isto possivelmente deve-se ao fato de que a distribuição de água no solo não era uniforme e a planta estava respondendo a um valor médio do potencial da água no solo.

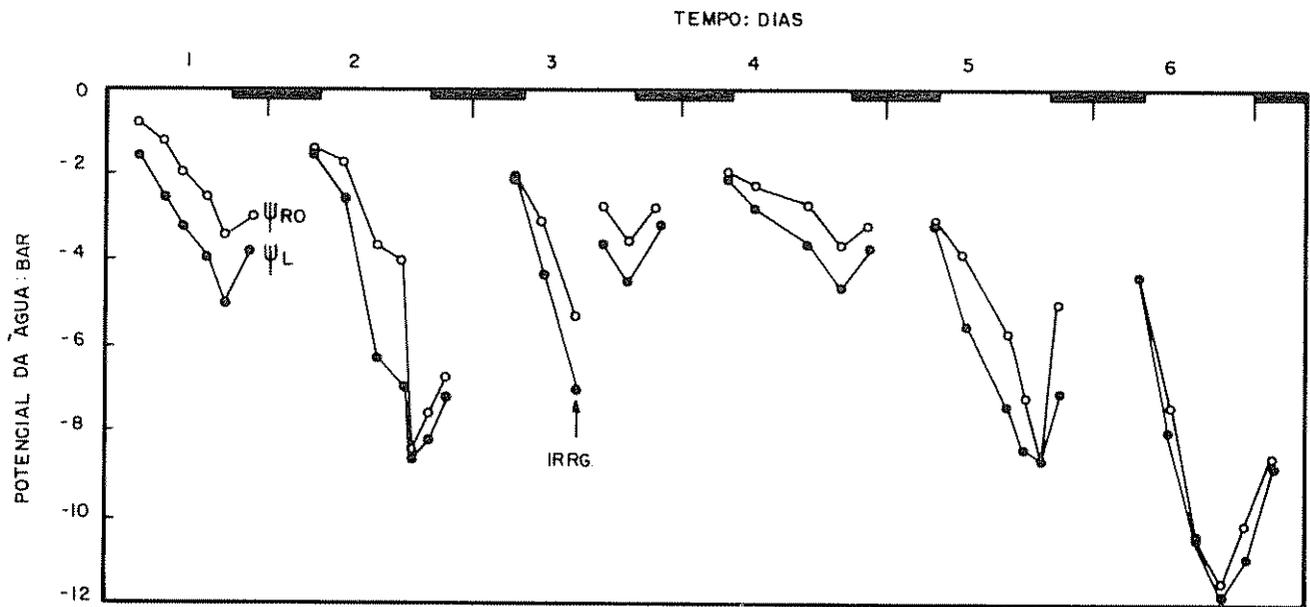


Fig. 3 Variação diária no potencial da água na folha e na epiderme da raiz em planta de milho híbrido United-108, sob uma intensidade de radiação constante e igual a 200 Wm^{-2} durante o período diurno. As partes espessas na abcissa indicam a duração do período noturno. A seta indica período de irrigação. (ψ_{RO}) potencial da água na epiderme da raiz; (ψ_L) potencial da água na folha.

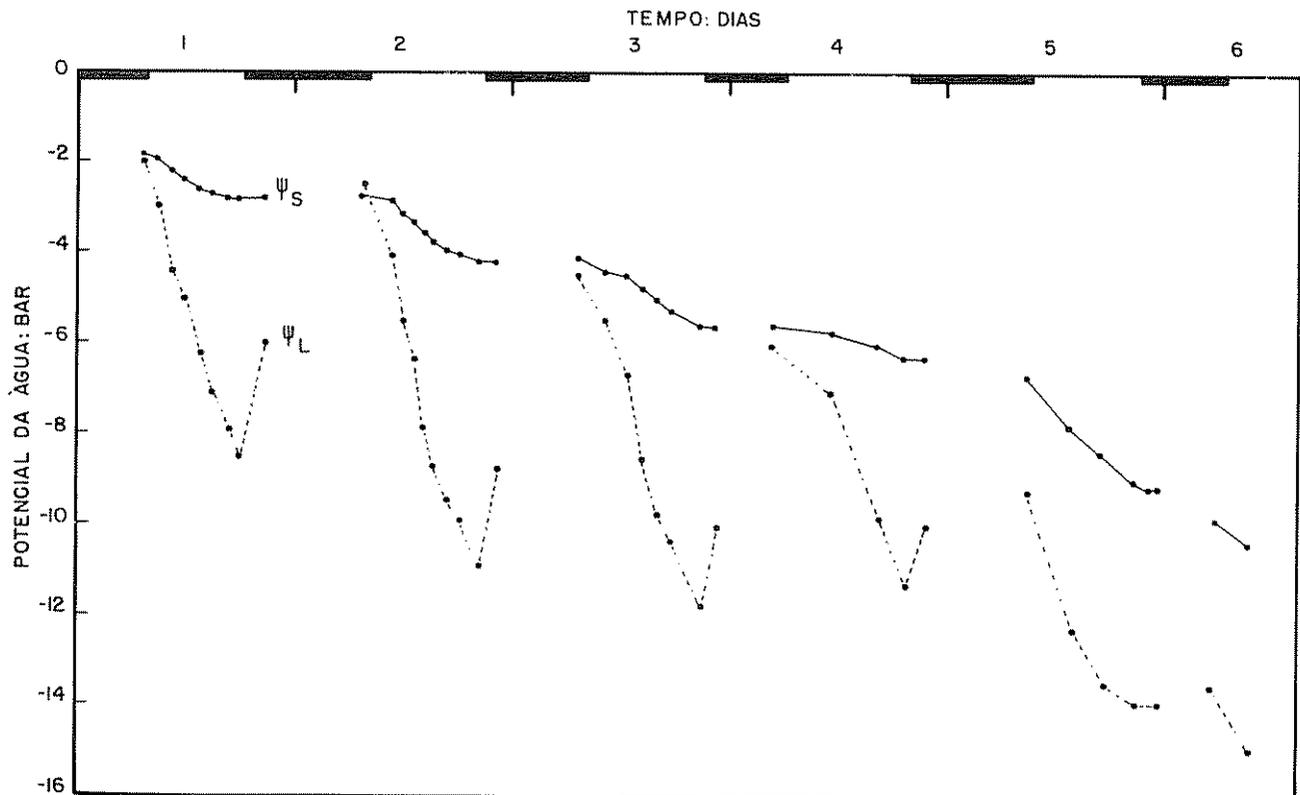


Fig. 4. Variação diária no potencial da água no solo e nas folhas em planta de milho híbrido United-108, sob uma intensidade de radiação constante e igual a 200 Wm^{-2} durante o período diurno. As partes espessas na abcissa indicam a duração do período noturno. (ψ_S) potencial da água no solo; (ψ_L) potencial da água na folha.

Conclusões

O estudo foi desenvolvido com a finalidade de se ter maiores informações sobre o transporte de água no sistema solo-planta para a planta do milho. Observou-se que os instrumentos utilizados, além de não destrutíveis, permitem medidas contínuas do estado da água no vegetal e no solo.

Os resultados indicaram que a maior barreira ao transporte de água dentro da planta esta localizada no movimento radial da água da epiderme da raiz para o xilema, e em muitos casos, a diferença em potencial da água observada entre a epiderme e o xilema da raiz é da ordem de 4 bar.

O estudo também indicou que tal técnica permite um melhor entendimento da magnitude das resistências ao transporte de água que se localizam no sistema solo-planta.

Resumo

Uma nova técnica para medidas *in situ* do potencial da água em folhas e raízes de plantas de milho assim como do potencial da água no solo é analisada. Esta nova técnica baseia-se na determinação do ponto de orvalho do ar que se encontra em equilíbrio com uma amostra de folha ou raiz (Neumann & Thurtell, 7; Dubé, 5; Neuman, 8; Brunini, 3), ou com o solo (Brunini, 3). Valores diferentes do potencial da água na folha foram obtidos através do efeito combinado de falta de água no solo e diferentes intensidades luminosas sobre a planta. Os higrômetros são diretamente presos nas folhas ou raízes e inseridos no solo, permitindo dessa maneira medidas não destrutivas e contínuas do potencial da água das folhas, das raízes e do solo.

Observou-se que as raízes não são aparentemente danificadas pelo contacto direto com os higrômetros. Os resultados indicaram que uma grande diferença em potencial (até 4 bar) pode existir entre o potencial da água na epiderme e no xilema das raízes.

Literatura citada

1. BAUGHN, J. W. e C. B. TANNER. Leaf water potential: comparison of pressure chamber and *in situ* hygrometer on five herbaceous species. *Crop Science* 16:181-184. 1976.

2. BOYER, J. S. Isopiestic technique: measurement of accurate leaf water potentials. *Science* 154:1459-1460. 1966.
3. BRUNINI, O. New devices for *in situ* measurements of soil and root water potentials and transport of water in the soil - plant system. Ph. D. Thesis University of Guelph. 1979. 144 p.
4. CAMPBELL, G. S. e M. D. CAMPBELL. Evaluation of a thermocouple hygrometer for measuring leaf water potential *in situ*. *Agronomy Journal*. 66:24-30. 1974.
5. DUBE, P. A. Studies of plant water relationship of different corn lines. Ph.D. Thesis; University of Guelph. 1972. 73 p.
6. IKE, I. F. Water relations of indoor grown cassava (*Manihot* species). Ph. D. Thesis - University of Guelph. 1978. 107 p.
7. NEUMANN, H. H. e G. W. THURTELL. A Peltier cooled thermocouple dewpoint hygrometer for *in situ* measurement of water potentials - R. W. Brown e B. P. van Haveren (eds) "Psychrometry in Water Relations Research" - Utah State University - Logan. Utah. 1972.
8. NEUMANN, H. H. Water potential relationship in plant tissue measured by a new dewpoint hygrometer technique - Ph. D. Thesis, University of Guelph. 1973. 117 p.
9. PECK, A. J. Theory of the Spanner psychrometer. 1 - The thermocouple. *Agric. Meteorology*. 5:433-447. 1968.
10. RAWLINS, S. L. Systematic errors in leaf water potential measurements with thermocouple psychrometers. *Science* 146:644-646. 1964.
11. RICHARDS, L. A. e G. OGATA. Thermocouple for vapour pressure measurement in biological and soil systems at high humidity. *Science* 128:1089-1090. 1958.
12. SPANNER, D. C. The Peltier effect and its use in the measurement of suction pressure. *Journal Exptl. Botany* 2:145-168. 1951.
13. VAN DEN HONERT, T. H. Water transport in plants as a catenary process. *Discuss. Faraday Soc.* 3:146-153. 1948.