

Condutância foliar como um indicador de déficit hídrico em milho¹

Leaf conductance as an indicator of water deficit in maize

João Ito Bergonc², Homero Bergamaschi³, Luis Mauro Gonçalves Rosa³ e Antônio Odair Santos⁴

Resumo - O trabalho objetivou estudar indicadores de déficit hídrico, bem como seu efeito na cultura do milho, através da avaliação da condutância foliar. O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Eldorado do Sul, nos anos agrícolas de 1993/94 e 1994/95. O mesmo constou de três níveis de irrigação, desde a capacidade de campo até a ausência de irrigação. Em plantas com suprimento adequado de água, os maiores valores de condutância foliar ocorreram por volta das 10 horas, comportamento este que não se verificou em plantas não irrigadas, nas quais a condutância foi baixa e praticamente a mesma durante todas as horas do dia. A condutância foliar máxima apresentou relação linear direta com o potencial da água na folha mínimo ($r^2 = 0,72$), com valores próximos de zero em torno de -1,7 a -2,0MPa. A temperatura foliar mostrou relativa dependência da condutância foliar, e com condutâncias superiores a 300mmol m⁻² s⁻¹, a folha permaneceu com temperatura inferior à do ar.

Palavras-chave: temperatura foliar, irrigação, potencial da água na folha, déficit hídrico.

Abstract - This study was carried out at the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil, during the agricultural seasons of 1993/94 and 1994/95. The purpose was to evaluate the water deficit and its effects on the maize crop by the leaf conductance as an indicator of water deficit. The experiment comprised three levels of irrigation, from field capacity to absence of irrigation. In plants with adequate water supriment the largest values of leaf conductance occurred at 10 hours, behaviour that was no verified in plants non irrigated, where the conductance was low and basically the same throughout the day. The maximum leaf conductance showed direct linear relation with the minimum leaf water potential ($r^2 = 0.72$) with values near from zero around -1.7 a -2.0MPa. The leaf temperature showed moderate dependence on leaf conductance and for conductances greater than 300mmol m⁻² s⁻¹, the leaf temperature remained smaler than of the air.

Key words: leaf temperature, irrigation, leaf water potential, water deficit.

¹ Extraído da tese de doutorado do primeiro autor. Programa de Pós-graduação da Faculdade de Agronomia- UFRGS.

² Dr. Prof. Adj. Departamento de Botânica, UFRGS, Rua Paulo Gama s/n, Porto Alegre-RS. CEP 90043-900. FAX: (051) 316-3574. Email: itober@botanica.ufrgs.br.

³ Dr. Prof. Adj. Faculdade de Agronomia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre- RS - CEP: 91540-000. Bolsista do CNPq.

⁴ Dr. Centro de Ecofisiologia e Biofísica - IAC, C.P. 28, Campinas, SP - CEP:13001-970.

Introdução

Entre os cultivos agrícolas de interesse para o Estado do Rio Grande do Sul, destaca-se o milho, cuja demanda é crescente, devido à expansão das atividades ligadas à criação de animais. É uma cultura cujo rendimento apresenta alta variabilidade, devido principalmente à ocorrência de déficits hídricos, causados pelas variações da precipitação pluvial. Estes aspectos fazem com que seja importante estudar possíveis indicadores de déficit hídrico para esta cultura.

O controle da condutância foliar ao fluxo de vapor d'água é um importante meio através do qual o vegetal limita a perda de água. Frequentemente, a condutância é utilizada como indicador de déficit hídrico e um importante parâmetro em estudos fisiológicos (Mc DERMITT, 1990).

O estudo da condutância estomática é facilitado quando é feito em condições controladas ou em câmaras de crescimento. Em condições de campo, torna-se complicado devido a vários fatores, que incluem as interações entre as respostas das plantas aos fatores ambientais, variabilidade das condições do meio, rapidez da resposta dos estômatos aos estímulos, resposta diferente entre as faces foliares em folhas anfiestomáticas e ritmos endógenos que podem afetar a abertura estomática, independentemente de um determinado fator ambiental (JONES & CORLET, 1992).

Em algodoeiro foi observado que, em plantas estressadas, a condutância estomática não se correlaciona com a temperatura foliar tanto em folhas expostas ao sol, quanto sombreadas. Contudo, em plantas não estressadas, esta correlação existe (PETERSEN *et al.*, 1991). No mesmo trabalho, os autores demonstraram que o principal fator ambiental a afetar a condutância estomática, é a radiação fotossinteticamente ativa.

Diversos trabalhos, conduzidos em casa de vegetação ou a campo, sugerem que o ácido abscísico (ABA), produzido na raiz, pode desempenhar um papel importante no controle da condutância estomática (TARDIEU *et al.*, 1991, 1993; DAVIES & ZANG, 1991). Para SCHURR *et al.* (1992), a condutância estomática diminui com a diminuição do conteúdo de água no solo, mesmo quando a parte aérea permanece túrgida, durante um período de déficit de água. O aumento da concentração de ABA no xilema, devido à sua maior síntese nas raízes estressadas, promove diminuição da condutância estomática. Dentro

deste mesmo aspecto, TARDIEU *et al.* (1993) observaram que o mecanismo de controle estomático pelo ABA produzido na raiz tem sua sensibilidade dependente mais do estado hídrico da folha do que do déficit de pressão de vapor folha-ar. No mesmo trabalho, os autores estabelecem um modelo de controle estomático levando em consideração a concentração de ABA no xilema e o potencial da água foliar.

Os estômatos são sensíveis ao estado hídrico da folha, tendendo a fechar com o decréscimo do potencial da água na folha. Da mesma forma, o aumento do potencial da água foliar desencadeia o processo de sua abertura. TURNER (1974), efetuando estudos com milho, tabaco e sorgo, observou que, a partir de um determinado potencial da água da folha, ocorria um grande aumento na resistência foliar que, para o milho, foi -1,7MPa. TARDIEU & DAVIES (1993) combinaram uma série de equações para demonstrar que a condutância estomática depende da concentração de ABA no xilema e do fluxo de água no sistema solo-planta com todas as suas implicações, como estado hídrico do solo e resistência ao fluxo de água. Estes mesmos autores (TARDIEU & DAVIES, 1992) mostraram que a sensibilidade dos estômatos à concentração de ABA varia enormemente ao longo do dia, devido a alterações do potencial da água na folha ou na epiderme, que se altera em função da radiação e do déficit de pressão de vapor. Neste caso, as relações hídricas da epiderme atuam como um modulador da resposta estomática ao ABA. Para WARD & SCHROEDER (1994), o ABA estimula o aumento de cálcio no citoplasma, que ativa canais para efluxo de potássio das células estomáticas, promovendo o fechamento dos estômatos.

Numerosos trabalhos têm utilizado a diferença de temperatura dossel-ar ou, simplesmente, a temperatura foliar como indicador de déficit hídrico em diferentes culturas e, até mesmo como critério de irrigação (CLAWSON & BLAD, 1982; GARROT JÚNIOR *et al.*, 1994). A temperatura foliar e ou a diferença de temperatura folha-ar foram relacionadas, por diversos autores, com outros parâmetros que descrevem o estado hídrico da planta (EHLER *et al.*, 1978; PANDEY *et al.*, 1984 e WANJURA *et al.*, 1995).

Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar o déficit hídrico em milho a campo, através da condutância estomática e relacionar este parâmetro com o potencial da água na folha mínimo e com a diferença de temperatura dossel-ar.

Material e métodos

Foi realizado com a cultura do milho (*Zea mays L.*), um experimento de campo nos anos agrícolas de 1993/94 e 1994/95, na estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), situada no município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul (30°06'S, 51°39'W, altitude 46m). O clima da estação é do tipo Cfa, de acordo com a classificação de Köppen, isto é, subtropical úmido de verão quente (BERGAMASCHI & GUADAGNIN, 1990).

O delineamento experimental foi em faixas com cinco repetições, considerando que o sistema de aspersão em linhas utilizado não permite casualização para o fator água (HANKS et al., 1980). A área ocupada pelo experimento tinha dimensões de 80 x 60m, no centro da qual está instalado um lisímetro de pesagem de 5,1m² e resolução de 0,1mm. Cada bloco era constituído por cinco parcelas de 16m de comprimento por 3m de largura, comportando, desta forma, quatro fileiras de milho.

Foram utilizadas sementes de milho, híbrido Pioneer 3230, nos dois anos, semeadas em linhas, de orientação leste-oeste. O milho foi semeado no dia 28 de outubro de 1993 e no dia 4 de novembro de 1994. As sementes foram colocadas a uma profundidade de 5 a 7cm, com espaçamento de 75cm entre linhas e 20cm na linha, o que corresponde a 66.600 plantas por hectare.

A adubação foi efetuada nos dias 8 de outubro de 1993 e 14 de outubro de 1994, constando de: 150kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de super fosfato triplo; 120kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio e 40kg ha⁻¹ de nitrogênio sob a forma de uréia. Posteriormente, quando as plantas apresentavam entre 40 e 50cm e na emissão da folha bandeira, foram incorporados na linha, 40kg ha⁻¹ de nitrogênio, também sob a forma de uréia.

O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão em linha, constituído de 12 aspersores (marca Perrot) colocados na direção longitudinal (leste-oeste) a 3m de altura espaçados 6m conforme metodologia descrita por HANKS et al. (1976). Para cada lado da linha de aspersores foram demarcados os tratamentos, cada um correspondendo a quatro filerias de plantas (3m de largura). Em 1993/94, os tratamentos aplicados foram: I2 com solo mantido próximo à capacidade de campo, monitorado através de tensiômetros e lisímetro,

sendo a irrigação efetuada quando os tensiômetros instalados a 45cm de profundidade registravam o potencial matricial de -0,05 MPa; I1 com dose de rega de 77% em relação a I2; e I0 sem irrigação. Em 1994/95, no tratamento I2 o solo foi mantido próximo à capacidade de campo, conforme critério adotado no ano anterior, I1 teve dose de rega de 75% em relação a I2; e I0 sem irrigação. A determinação da quantidade de água aplicada, em cada nível, foi feita através de um conjunto de potes coletores de 162,86cm² de superfície colocados nas duas entre-linhas centrais de cada parcela. Para quantificar a água aplicada, marcou-se o tempo de irrigação, sendo a aferição feita logo após a colheita, a fim de evitar erros devido ao fato das plantas atuarem como anteparo. Por pesagem do lisímetro, antes e depois de cada rega, foi controlada a dose de rega no tratamento I2.

Em 1993/94, utilizou-se porômetro transiente marca Delta-T (Modelo MK-3) para medir a resistência estomática, em cada face da folha, sendo convertida posteriormente em condutância. Antes de cada medição, o aparelho era calibrado com papel filtro saturado.

Em 1994/95 foi utilizado porômetro de difusão de fluxo contínuo da marca LICOR (modelo 1600M), o qual mede diretamente a condutância estomática. Da mesma forma do que no ano anterior, foram efetuadas medições nas duas faces foliares ao longo do dia.

Em ambos os experimentos foram feitas três repetições para cada tratamento, utilizando-se folhas ensolaradas e expandidas. As medições foram efetuadas após o secamento do orvalho e com umidade relativa do ar inferior a 80%, a fim de evitar erros, conforme descrito por Mc DERMIT (1990).

O potencial da água na folha foi medido com câmara de pressão (marca Soil Moisture), conforme descrito por BOYER (1967), em todos os tratamentos, com três repetições.

A diferença de temperatura entre o dossel e o ar foi medida com termômetro de infravermelho com campo de visão de 5° e resolução de 0,1°C (Telatemp, modelo AG-42). Foram feitas três repetições, com o termômetro posicionado a favor dos raios solares, de modo a formar um ângulo de aproximadamente 45° em relação ao solo e a uma distância de 50 a 60cm das plantas a fim de que o campo de visão do aparelho captasse somente a temperatura do dossel (GARDNER et al., 1992).

Resultados e discussão

A condutância foliar para alguns dias representativos está representada nas Figuras 1 e 2, onde pode-se observar o curso diário desta variável. Os maiores valores de condutância foliar ocorreram por volta das 10 horas, momento do dia em que a radiação solar já é elevada e a limitação de água às folhas ainda não se faz presente em plantas irrigadas. Contudo, este comportamento não é verificado quando a limitação de água no solo é acentuada, como no caso do tratamento I0 na Figura 1A, em que a condutância foi baixa e praticamente a mesma durante todas as horas do dia, indicando que os estômatos permaneceram fechados, ao menos parcialmente, como meio de economizar água. Com déficit de água no solo não muito acentuado, as variações ao longo do dia obedeceram à mesma tendência das plantas sem restrição hídrica. Resultados de TURNER (1974) e FISCUS et al., (1984) com milho e de PERTERSEN et al. (1991) e SCHURR et al. (1992), com outras culturas, confirmam esta observação.

As variações da condutância estomática observadas ao longo do período diurno (Figuras 1 e 2), podem ser explicadas por uma série de fatores. Tais variações podem ser devidas a variações da radiação solar, bem como do déficit de pressão de saturação do vapor d'água, além de ritmos

endógenos e à própria ação do ácido abscísico, produzido nas raízes em função da diminuição do potencial matricial da água no solo. Estas observações são confirmadas por diversos autores (GRANTZ & MEINZER, 1990; MEINZER et al., 1993; CORNICH & RADIN, 1990; TARDIEU & DAVIES, 1993), os quais estabeleceram relações entre o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos e diversos fatores do meio e da própria planta que atuam sobre os mesmos. Em função disto, as medições de condutância estomática, em geral, apresentam uma variabilidade acentuada.

Apesar da interação dos diversos fatores que atuam sobre os estômatos e, conseqüentemente, sobre a condutância estomática, através das Figuras 1 e 2 fica evidente o efeito do déficit hídrico sobre este parâmetro, o que indica que o mesmo pode ser utilizado como indicador de déficit de água, embora com restrições.

A relação entre a diferença de temperatura entre o dossel e o ar e a condutância estomática está representada na Figura 3. Pode-se observar que, de um modo geral, para condutâncias foliares baixas, a diferença de temperatura entre o dossel e o ar são positivas, indicando que a limitação da transpiração pelos estômatos impede o resfriamento foliar. Observa-se ainda que, com

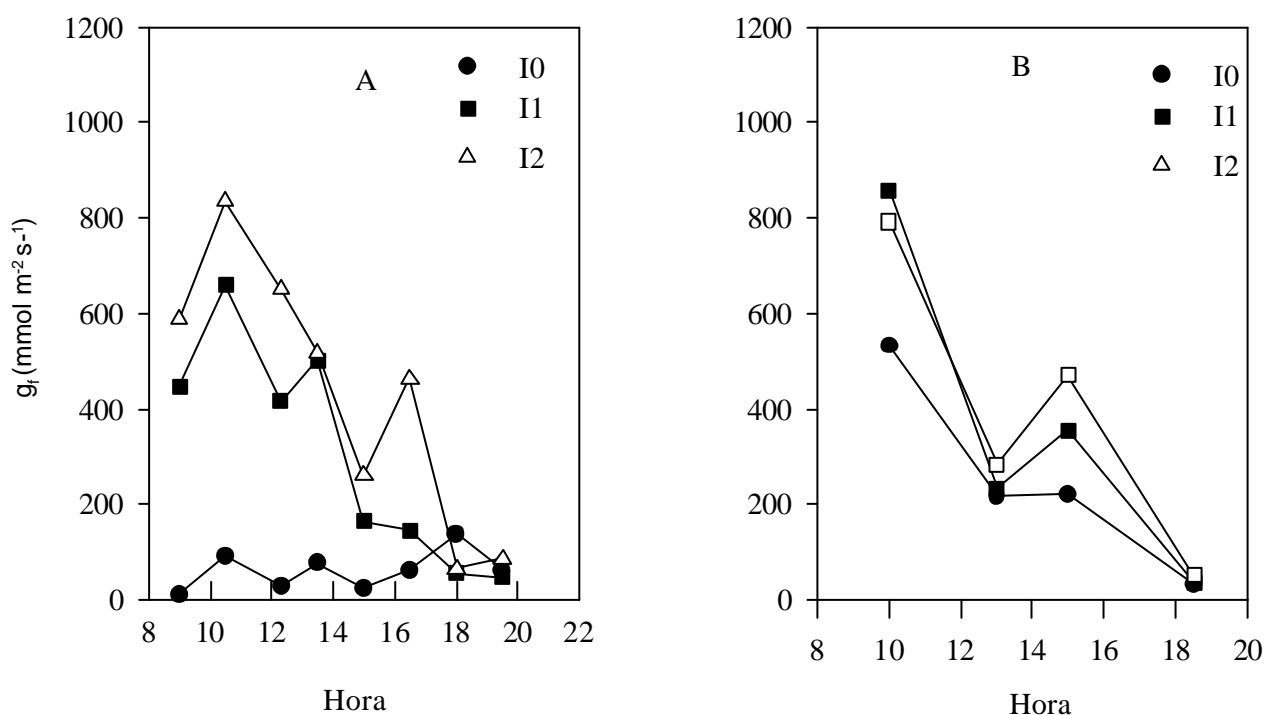


Figura 1. Condutância foliar (g_f), nos dias 20/1 (A) e 28/1 (B) de 1994, em milho submetido a diferentes lâminas de irrigação.

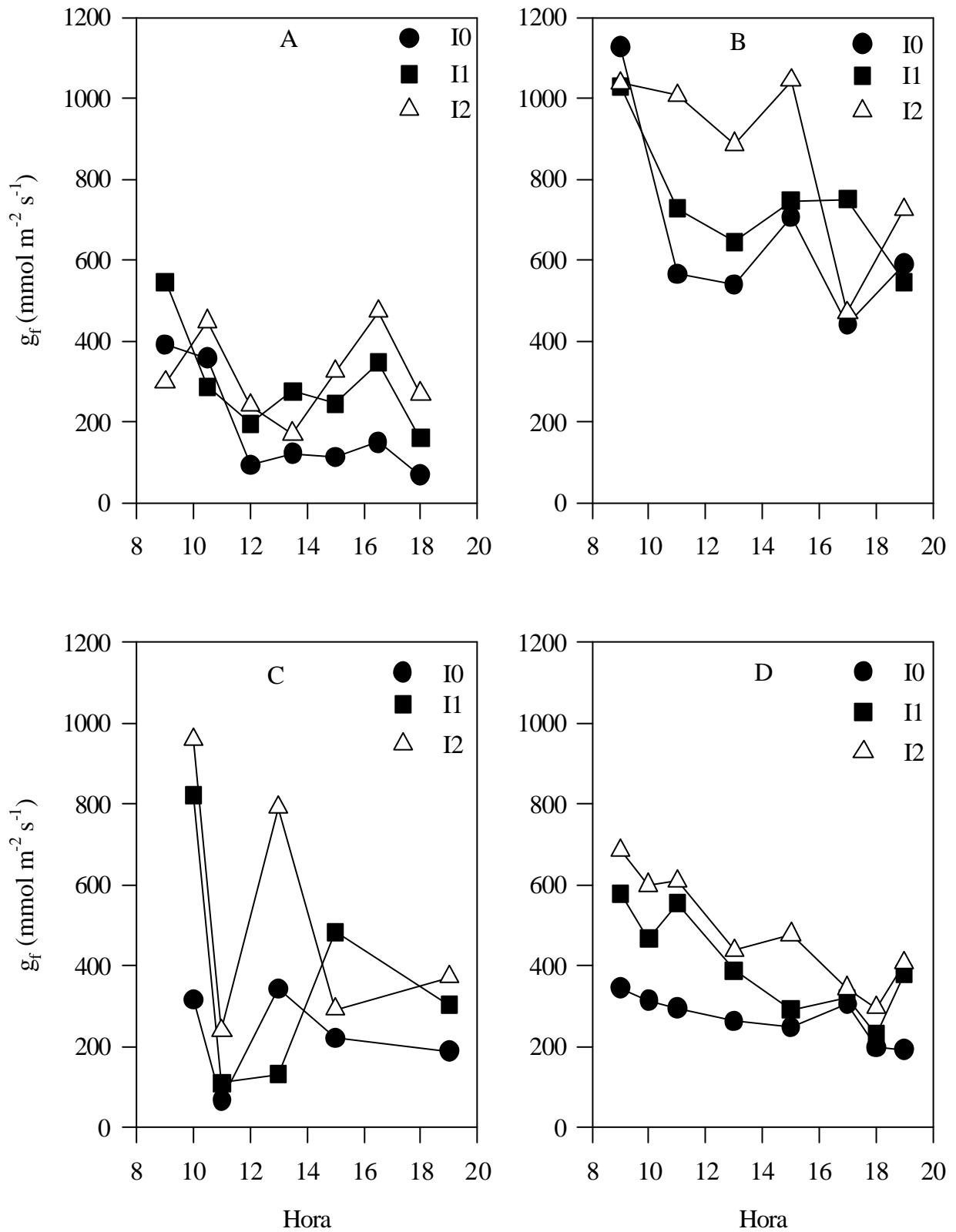


Figura 2. Condutância foliar (g_f), nos dias 28/1 (A); 31/1 (B); 7/2 (C) e 8/2 (D) de 1995, em milho submetido a diferentes lâminas de irrigação.

condutância foliar maior do que aproximadamente $300 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ o dossel permanece com temperatura inferior à do ar. Com condutância inferior a este limite aproximado o dossel apresenta temperatura superior à do ar, indicando que a água transpirada não teria sido suficiente para promover o resfriamento do mesmo. Observa-se também que a diferença de temperatura entre o dossel e o ar apresenta correlação satisfatória ($r^2=0,76$) com a condutância foliar. Este comportamento pode ser explicado pela complexidade dos processos envolvidos na abertura estomática, associado a que, além da condutância foliar, a transpiração também depende da radiação solar incidente, da velocidade do vento e do déficit de pressão de saturação do vapor d'água. Desta forma, com a mesma condutância foliar pode-se ter valores diferentes de transpiração e, portanto, de diferença de temperatura entre o dossel e o ar. Em milho, IONUE (1991) não encontrou relação entre a diferença de temperatura dossel-ar e transpiração ou resistência estomática. Da mesma forma, HATENDORF et al. (1990) obtiveram índices de correlação de 0,18 a 0,38 entre a diferença de temperatura folha-ar e a condutância estomática, em diferentes variedades de alfafa. A inexistência de correlação entre a diferença de temperatura dossel-ar e a condutância estomática, também foi observada por PETERSEN et al. (1991) em algodão.

A condutância foliar máxima mostrou correlação com o potencial da água na folha mínimo (medido entre 12 e 13 horas), como pode ser observado na Figura 4. À medida que diminui o potencial da água na folha, decresce a condutância foliar, dentro da faixa de valores observados. Embora existam controvérsias na literatura, quanto ao

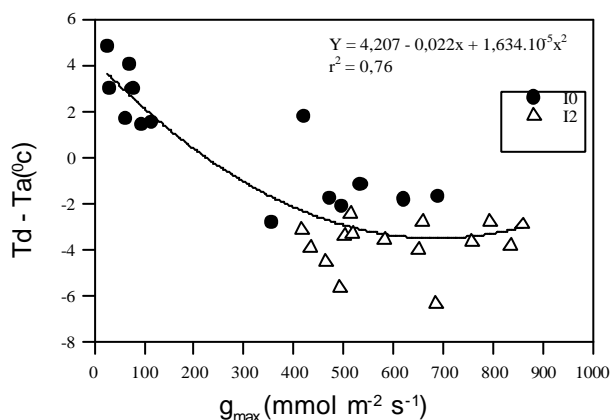


Figura 3. Relação entre a condutância foliar (g_r) e a diferença de temperatura entre o dossel e o ar ($T_d - T_a$) em milho, nos dias 20 e 28 de janeiro de 1994. Eldorado do Sul, RS.

grau de dependência da condutância foliar ao potencial da água na folha, a maioria dos trabalhos evidencia esta dependência. TURNER et al. (1974) determinaram que os estômatos das folhas de milho fecham com potenciais da água na folha em torno de $-1,7 \text{ MPa}$, semelhante ao que foi obtido no presente trabalho, em que a condutância é mínima mas não tão pequena que se aproxime do fechamento total com potenciais entre e $-1,5$ e $-2,0 \text{ MPa}$ (Figura 4).

Considerando que o presente trabalho foi conduzido a campo, onde ocorre acentuada interação de fatores que atuam no comportamento estomático, a resposta a um determinado fator sofrerá influência de outros fatores. Em função disto, nem sempre são obtidas relações satisfatórias, como as que ocorrem em condições controladas, onde somente um fator pode ser variado. Estas observações estão de acordo com DAVIES (1977) e HINCKLEY & BRAATNE (1994), que descreveram comportamento estomático diferenciado em condições controladas e a campo.

A ocorrência de controvérsias a respeito do assunto, conforme descrito acima, evidencia a necessidade de mais estudos neste sentido, a fim de serem estabelecidas ou confirmadas as relações para diferentes culturas.

Nas condições do presente trabalho não foi encontrada relação entre o potencial de base (potencial medido antes do nascer do sol) e a condutância estomática (dados não mostrados), embora esta relação tenha sido evidenciada em outros trabalhos (KATERJI et al., 1988; REICH & HINCKLEY, 1989). Segundo MUNNS & KING (1988) e ZHANG & DAVIES (1989), a

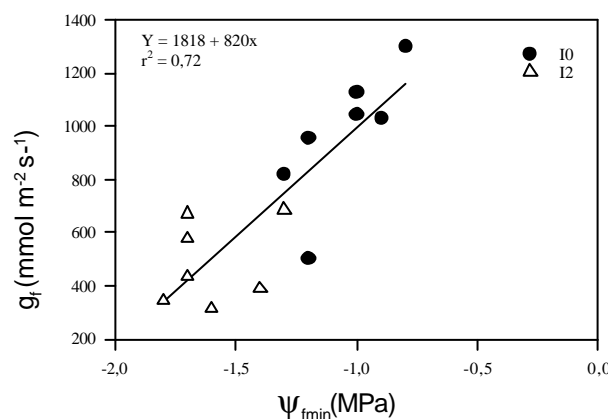


Figura 4. Relação entre o potencial da água na folha mínimo (ψ_{fmin}) e a condutância foliar máxima (g_{max}) em milho. Eldorado do Sul, RS.

condutância máxima correlaciona-se com o potencial de base somente quando o mesmo está em equilíbrio com o estado hídrico solo/raízes. Isto sugere, indiretamente, que o controle estomático não é função intrínseca apenas das folhas, controlando a abertura ao amanhecer e o fechamento estomático ao entardecer, mas sim da planta como um todo envolvendo inclusive a relação solo/raiz (GOLLAN et al., 1992; CEULEMANS et al., 1988; ZHANG & DAVIES, 1989). Portanto, nos casos em que o potencial de base não está em equilíbrio com o estado hídrico do solo, a correlação entre este parâmetro e a condutância foliar pode não ocorrer.

Conclusões

1. A condutância foliar máxima apresenta relação linear direta com o potencial da água na folha mínimo.
2. A diferença de temperatura entre o dossel e o ar apresenta uma fraca dependência da condutância foliar máxima.
3. Em plantas de milho submetidas a déficit hídrico, a condutância foliar apresenta menor variabilidade ao longo do dia.

Referências bibliográficas

- BERGAMASCHI, H., GUADAGNIN, M.R. **Agroclima da estação experimental agrônômica/UFRGS**. Porto Alegre : UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1990. 60 p.
- BOYER, J.S. Leaf water potentials measured with a pressure chamber. **Plant Physiology**, Rockville, v. 42, n. 1, p. 213-217, 1967.
- CEULEMANS, R., IMPENS, I., LAKER, M.C. et al. Net CO₂ exchange rate as a sensitive indicator of plant water status in corn (*Zea mays* L.) **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 3, p. 597-606, 1988.
- CLAWSON, K.L., BLAD, B.L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 2, p. 311-316, 1982.
- CORNISH, A., RADIN, B.L. From metabolism to organism: an integrative view of water stress emphasizing abscisic acid. In KATTERMAN, F. (Ed) **Environmental injury to plants**. San Diego : Academic Press, 1990. p. 89-142.
- DAVIES, W.J. Stomatal responses to water stress and light in plants grown in controlled environments and in the field. **Crop Science**, Madison, v. 17, n. 5, p. 735-740, 1977.
- DAVIES, W.J., ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42. p. 55-76, 1991.
- EHLER, W.L., IDSO, S.B., JACKSON, R.D. et al. Wheat canopy temperature: relation to plant water potential. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p. 251-256, 1978.
- FISCUS, E.I., WULLSCHLEGER, S.D., DUKE, H.R. Integrated stomatal opening as an indicator of water stress in *Zea mays*. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 2, p. 245-249, 1984.
- GARDNER, B.R., NIELSEN, D.C., SHOCK, C.C. Infrared thermometry and the crop water stress index. II. sampling procedure and interpretation. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 5, p. 466-475, 1992.
- GARROT JUNIOR, D.J., OTTMAN, M.J., FANGMEIER, D.D. et al. Quantifying wheat water stress with the crop water stress index schedule irrigations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 1, p. 195-199, 1994.
- GOLLAN, T., SCHURR, U., SCHULZE, E.D. Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap composition of *Helianthus annuus*. I. the concentration of cations, anions, amino acids in, and pH of, the xylem sap. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 15, p. 551-559, 1992.
- GRANTZ, D.A., MEINZER, F.C. Stomatal response to humidity in a sugarcane field: simultaneous porometric and micrometeorological measurements. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 13, p. 27-37, 1990.
- HANKS, R.J., KELLER, J., RASMUSSEN, V.P. et al. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, n. 3, p. 426-429, 1976.
- HANKS, R.J., SISSON, D.V., HURST, R.L. et al. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 4, p. 886-888, 1980.
- HATTENDORF, M.J., EVANS, D.W., PEADEN, R.N. Canopy temperature and stomatal conductance of water-stressed dormant and nondormant alfalfa types. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n. 5, p. 873-877, 1990.
- HINCKLEY, T., BRAATNE, J.H. Stomata. In: WILKINSON, R.E. (Ed.) **Plant environment interactions**. New York : Marcel Dekker, 1994. p. 323-355.
- IONUE, Y. Remote and real-time sensing of transpiration and stomatal resistance based on infrared thermometry. **Jarq**, Ibaraki, v. 25, n. 3, p. 159-164, 1991.
- JONES, H.G., CORLET, J.E. Current topics in drought physiology. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 119, n. 2, p. 291-296, 1992.

- KATERJI, N., ITIER, B., FERREIRA, I. Etude de quelques critères indicateurs de l'état hydrique d'une culture de tomate en région semi-aride. **Agronomie**, Paris, v. 8, n. 5, p. 425-433, 1988.
- Mc DERMID, D.K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **HortScience**, Alexandria, v. 25, n. 12, p. 1538-1548, 1990.
- MEINZER, F.C., GOLDSTEIN, G., HOLBROOK, N.M. et al. Stomatal and environmental control of transpiration in a lowland tropical forest tree. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 16, p. 429-436, 1993.
- MUNNS, R., KING, R.W. Abscisic acid is not the only stomatal inhibitor in the transpiration stream of wheat plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, n. 3, p. 703-708, 1988.
- PANDEY, R.K., HERRERA, W.A., PENDLETON, J.W. Drought response of grain legumes under irrigation gradient: II. Plant water status and canopy temperature. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 4, p. 553-557, 1984.
- PETERSEN, K.L., MORESHET, S., FUCHS, M. Stomatal responses of field-grown cotton to radiation and soil moisture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n. 6, p. 1059-1065, 1991.
- REICH, P.B., HINKLEY, T.M. Influence of pre-dawn water potential and soil-to-leaf hydraulic conductance on maximum daily leaf diffusive conductance in two oak species. **Ecology**, New York, v. 3, p. 719-726, 1989.
- SCHURR, L., GOLLAN, T., SCHULZE, E.D. Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap concentration of *Helianthus annuus*. I. Stomatal sensitivity to abscisic acid imported from the xylem sap. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 15, p. 561-567, 1992.
- TARDIEU, F., DAVIES, W.J. Stomatal response to abscisic acid is a function of current plant water status. **Plant Physiology**, Rockville, v. 98, n. 2, p. 540-545, 1992.
- TARDIEU, F., DAVIES, W.J. Integration on hydraulic and chemical signaling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 16, p. 341-349, 1993.
- TARDIEU, F., KATERJI, N., BETHENOD, O. et al. Maize stomatal conductance in the field: its relationship with soil and plant water potentials, mechanical constraints and ABA concentration in the xylem sap. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, p. 121-126, 1991.
- TARDIEU, F., ZHANG, J., GOWING, D.J.G. Stomatal control by both [ABA] in the xylem sap and leaf water status: a test of a model for droughted or ABA-fed field-grown maize. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 16, p. 413-420, 1993.
- TURNER, N. C. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. **Plant Physiology**, Rockville, v. 53, n. 3, p. 360-365, 1974.
- WANJURA, D.F., UPCHURCH, D.R., MAHAN, J.R. Control of irrigation scheduling using temperature-time thresholds. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 2, p. 401-409, 1995.
- WARD, J.M., SCHROEDER, J.I. Calcium-activated K⁺ channels and calcium-induced calcium release by slow vacuolar ion channels in guard cell vacuoles implicated in the control of stomatal closure. **The Plant Cell**, Rockville, v. 6, n. 5, p. 669-683, 1994.

