

ISSN 0104-1347

Efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico na fotossíntese e condutância foliar em milho

Effects of different levels of water deficit on photosynthesis and leaf conductance in mayze

Pedro Gabert Pereira¹, João Ito Bergonci², Homero Bergamaschi³, Luís Mauro Gonçalves Rosa⁴ e Solange França⁵

Resumo - O déficit hídrico é o estresse ambiental mais freqüente que afeta as culturas no Estado do Rio Grande do Sul. Considerando que o ciclo da cultura do milho coincide com freqüentes períodos de seca, o déficit hídrico pode afetar vários aspectos fisiológicos e morfológicos. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico na fotossíntese e condutância foliar em milho. Medidas de condutância foliar e potencial da água na folha foram efetuadas, juntamente com a taxa fotossintética em folhas de plantas de milho (*Zea mays* L.) submetidas a diferentes níveis de suprimento de água. Dois experimentos foram conduzidos, sob condições de campo e casa de vegetação, adotando diferentes níveis de irrigação. Foi observado que, em condições de campo e casa de vegetação, as plantas não estressadas tiveram maiores valores de taxas fotossintéticas, condutância foliar e potencial da água na folha. Conclui-se que a restrição no suprimento hídrico diminui o potencial da água na folha, a condutância foliar e, conseqüentemente, a taxa fotossintética. Contudo, a fotossíntese mostrou ser melhor relacionada com a condutância foliar, comparada aos outros parâmetros medidos, sendo condutância foliar diretamente relacionado ao potencial da água na folha.

Palavras-chave: déficit hídrico, *Zea mays*, condutância foliar, potencial da água na folha, taxa fotossintética.

Abstract - Water deficit is the most frequent environmental stress affecting field crops in Rio Grande do Sul State. Since the maize crop cycle coincides with frequent drought periods, the water deficit may affect several physiological and morphological aspects. The objective of this work was to study the effects of different levels of water deficit on photosynthesis and leaf conductance in mayze. Measurements of leaf conductance, and leaf water potential were performed, together with measurements of photosynthetic rate in leaves of maize plants submitted to different levels of water supply. Two experiments were conducted, under field and glasshouse conditions, using different levels of irrigation. It was observed, in both experiments, that non-stressed plants had higher values of photosynthetic rates, leaf conductance, and leaf water potential. It was concluded that a restricted water supply decreases the leaf water potential, leaf conductance, and so the photosynthetic rate. Moreover, the photosynthesis showed to be better related to leaf conductance than to the other measured parameters, being this indicator (leaf conductance) directly related to the leaf water potential.

Key words: water deficit, *Zea mays*, leaf conductance, leaf water potential, photosynthetic rate.

¹Eng. Agr., Mestre em Fitotecnia, área de concentração Agrometeorologia, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, UFRGS. Rua XV de Novembro, nº 1120, Alegria-RS, E-mail: pedrogp@zipmail.com.br

²Biólogo, Dr., Prof. Adjunto, Dep. Botânica, UFRGS, Rua Paulo Gama s/n, CEP:91540-000, Porto Alegre-RS. E-mail: joao.bergonci@ufrgs.br

³Eng. Agr., Dr., Prof. Adjunto, Dep. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Caixa postal 776, CEP:91501-970, Porto Alegre-RS. Bolsista do CNPq.

⁴Biólogo, Dr., Prof. Adjunto, Dep. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Caixa postal 776, CEP:91501-970, Porto Alegre-RS. Bolsista do CNPq.

⁵Eng. Agr., MSc., Doutoranda em Fitotecnia, área de concentração Agrometeorologia, UFRGS.

Introdução

A deficiência hídrica é o estresse ambiental que afeta as culturas com maior frequência (KRAMER, 1983). A cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul, por seu ciclo de desenvolvimento coincidir com os períodos em que ocorre limitação hídrica, sofre déficit hídrico e, assim, perturbações fisiológicas e morfológicas que afetam o desenvolvimento das plantas e, portanto, a elaboração da biomassa vegetal.

O déficit hídrico afeta a bioquímica, a fisiologia, a morfologia e os processos de desenvolvimento das plantas, reduzindo a fotossíntese de três maneiras: pela redução na área foliar disponível para interceptar a radiação solar, pela redução da difusão do CO₂ para dentro da folha e pela redução da habilidade dos cloroplastos para fixar o CO₂ que neles penetra (JONES, 1985). O estresse hídrico causa, a curto prazo, reduções na condutância estomática e no crescimento de folhas e, a longo prazo, reduções no crescimento do caule das plantas (GOLLAN *et al.*, 1986). Reduções na taxa de fotossíntese líquida das plantas sujeitas ao estresse hídrico resultam de um abaixamento da capacidade fotossintética do fotossistema II (BUNCE, 1988), ou do fechamento dos estômatos (KRAMER, 1983; SHARKEY, 1990; CRUZ de CARVALHO *et al.*, 1998).

Em geral, existem grandes diferenças entre espécies com relação ao potencial da água na folha para o qual ocorre fechamento estomático. Para níveis de déficit onde o potencial da água situa-se em torno de -1,0 a -2,0 MPa a respiração, a translocação de produtos de assimilação metabólica e a assimilação de CO₂ são reduzidos para valores próximos de zero (SALISBURY & ROSS, 1994).

CEULEMANS *et al.* (1988) observaram uma menor taxa líquida de troca de CO₂, ao longo do dia, nas plantas estressadas do que nas não estressadas, sendo o potencial da água na folha menor nas plantas estressadas. Com esse trabalho, concluíram que a taxa líquida de troca de CO₂ parece responder melhor ao déficit hídrico do solo do que ao potencial da água na folha, sendo o mesmo um melhor indicador de déficit hídrico da planta quando comparado ao potencial da água de base da folha. Períodos de déficit hídrico que levaram ao fechamento estomático promoveram limitação na fotossíntese (SALA & TENHUNEN, 1996) e, com o aumento do déficit hídrico, o potencial da água na folha, o potencial osmótico e a condutância estomática diminuíram (PREMACHANDRA *et al.*, 1992). Os estômatos fe-

cham em resposta ao decréscimo no potencial da água na folha e a fotossíntese diminui, principalmente, como resultado da baixa disponibilidade de CO₂ para o aparelho fotossintético (RADIN & ACKERSON, 1982).

BERGONCI *et al.* (2000) observaram correlação entre a condutância foliar máxima e o potencial da água na folha em milho, sendo que à medida que diminui o potencial da água na folha, diminui a condutância foliar. Também na cultura do milho, BONO (1997) observou, em condições de campo e casa de vegetação, que à medida que o potencial da água na folha se aproxima de zero aumenta a condutância. Quando os estômatos fecham, em resposta ao decréscimo no potencial da água na folha, a fotossíntese diminui, principalmente, como resultado da baixa disponibilidade de CO₂ para o aparelho fotossintético (RADIN & ACKERSON, 1982).

HARRISON *et al.* (1989) observaram um coeficiente de correlação entre a fotossíntese líquida e a condutância estomática de 0,76, sendo linear a correlação entre as variáveis consideradas. Observaram também que, quando o potencial da água foliar foi reduzido para cerca de -3,5 MPa, a fotossíntese relacionou-se menos com a condutância estomática, sugerindo que a difusão do CO₂ através do estômato não foi o fator limitante para as baixas taxas fotossintéticas. MACHADO & LAGÔA (1994) constataram que a relação entre a condutância estomática e a fotossíntese segue a forma de uma hipérbole retangular onde, especificamente para a cultura do milho, a fotossíntese apresentou saturação em relação à condutância estomática com valores em torno de 700 mmol m⁻² s⁻¹.

A planta de milho, juntamente com outras culturas, tem a habilidade de manter a turgidez com pequeno declínio no potencial da água causado por uma baixa taxa de transpiração (TANGUILIG *et al.*, 1987). PREMACHANDRA *et al.* (1992) constataram, em cultivares de milho, que ocorre ajuste osmótico sob baixas condições de umidade do solo, sendo o potássio o soluto que mais contribuiu para a redução do potencial osmótico. Isso torna possível manter a turgidez da folha em potenciais da água na folha menores, contribuindo para o ajustamento estomático e a manutenção da atividade fotossintética (TURNER, 1986).

O milho é uma espécie tropical e, por ser uma planta de metabolismo C₄, sob condições de menor disponibilidade hídrica, tem melhor eficiên-

cia do uso da água do que outras culturas pertencentes ao metabolismo C_3 . Contudo, em situações onde a disponibilidade de água encontra-se limitada, a planta poderá sofrer alterações em processos fisiológicos e, assim, alterar o comportamento de indicadores fisiológicos ligados diretamente à fotossíntese.

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento de indicadores fisiológicos relacionados à fotossíntese e estabelecer relações entre a taxa fotossintética e os indicadores fisiológicos, condutância foliar e potencial da água na folha, em milho submetido a diferentes níveis de água no solo.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 1999/2000, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, RS (latitude $30^{\circ}05'22''S$, longitude $51^{\circ}39'08''W$ e altitude 40m). O clima da região é subtropical úmido com verão quente (Cfa), conforme a classificação de Köppen e o solo da área é um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 1999).

O milho utilizado foi o Pioneer 3063, sendo a semeadura efetuada no dia 8 de novembro de 1999. A densidade de plantio foi 66.000 plantas ha^{-1} , aproximadamente. O experimento teve 1.200 m^2 com dimensões de 80 m x 15 m inserido numa área de 4800 m^2 (80 m x 60 m). O preparo do solo para a semeadura do milho foi com lavração, seguida de duas gradagens. A adubação de base foi de 40 kg ha^{-1} de N, 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 160 kg ha^{-1} de K_2O . Posteriormente, foram aplicados 120 kg ha^{-1} de N em cobertura, na forma de uréia, divididos em 2 doses iguais, aos 21 e 31 dias após a emergência (DAE).

O delineamento foi em faixas com quatro repetições, sendo os tratamentos irrigado (I) localizado próximo à linha de aspersores e não irrigado (NI), distante 12 metros dos aspersores. Utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão. A umidade do solo foi monitorada através do uso de tensiômetros.

Foram efetuadas medições de condutância foliar e fotossíntese entre 11 e 12 h, com aparelho da marca LI-COR (modelo LI - 6400 Portable Photosynthesis System) aos 38, 52 e 65 DAE, utilizando-se uma fonte luminosa artificial e concentração de CO_2 constantes na cubeta (2000 μmol $m^{-2}s^{-1}$

de radiação fotossinteticamente ativa e 360 μmol mol^{-1} de CO_2 , respectivamente). O potencial da água na folha foi determinado aos 52 e 65 DAE, em câmara de pressão (modelo 3000, Soilmoisture Co., EUA), conforme descrito por SCHOLANDER et al. (1965). Para tal, utilizou-se a folha imediatamente abaixo daquela em que foi medida a condutância foliar e no mesmo momento. Foram realizadas duas repetições em cada unidade experimental, utilizando-se as primeiras folhas ensolaradas e expandidas a partir da extremidade apical da planta. As determinações foram realizadas nos estádios 2, 3 e 4 da escala fenológica para cultura do milho (HANWAYS, 1963). Foi calculado o balanço hídrico diário da cultura do milho para os tratamentos I e NI para contabilizar as deficiências e os excessos hídricos e, também, verificada a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (ETR/ETm) (Figura 1). A ETm foi calculada a partir da multiplicação da ETo (evapotranspiração de referência) e Kc (coeficiente de cultura). A ETo foi obtida pela equação de PENMAM (1948) e o Kc estimado por equações de

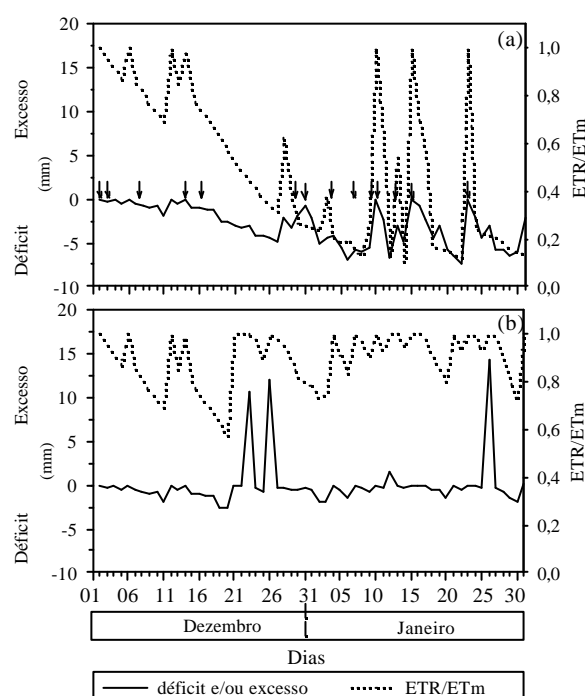


Figura 1. Déficits e excessos hídricos diários e relação evapotranspiração real/máxima (ETR/ETm) na cultura do milho não irrigado (a) e irrigado (b). Período de 02 de dezembro de 1999 a 31 de janeiro de 2000. Eldorado do Sul, RS. As setas indicam os dias em que ocorreram precipitações.

finidas por RADIN *et al.* (1999) e MÜLLER *et al.* (1999).

Outro experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia (UFRGS), em Porto Alegre, RS (latitude 30° 01' 53" S, longitude 51° 13' 19" W e altitude 10 m), no período de 23 de fevereiro a 28 de março de 2000. Foi utilizado como substrato uma parte de solo (o mesmo do experimento no campo) e três partes de areia, previamente lavada com água, visando a remoção de impurezas e material orgânico. O solo, previamente destorroado e peneirado, e a areia foram homogeneizados e colocados em 18 recipientes plásticos com capacidade de aproximadamente 12 kg. A sementeira foi realizada em 23 de fevereiro de 2000, utilizando-se o mesmo híbrido do experimento no campo. A emergência ocorreu em 27 de fevereiro e o desbaste foi realizado um dia após a emergência, deixando-se duas plantas por vaso. A adubação de base foi a mesma utilizada no experimento de campo, com aplicação adicional de 60 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. A adubação de cobertura foi na forma de uréia, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ de N e 90 kg ha⁻¹ de N, aos 2 e 5 DAE, respectivamente.

Foi utilizado delineamento completamente casualizado, com os tratamentos constituindo-se de três níveis de água. As plantas foram mantidas sem limitação hídrica até 15 DAE e, após esse período, foram mantidos 6 vasos na capacidade de campo (I₁₀₀), 6 vasos recebendo 50% da água evapotranspirada (I₅₀) e 6 vasos recebendo 25% da água evapotranspirada (I₂₅). Aos 25 DAE as plantas que recebiam 50% passaram a receber 75% da água evapotranspirada e as que recebiam 25% passaram a receber 50% da água evapotranspirada. O controle da irrigação foi efetuado através da pesagem diária dos vasos. Os efeitos da massa das plantas não foi considerado, pois, a alteração diária é pequena.

Foram efetuadas as mesmas medições do experimento no campo aos 18, 23 e 30 DAE. As determinações foram realizadas na mesma folha (última folha expandida), sendo tomadas três repetições em cada tratamento, das 10 às 11 h, em dias sem nuvens.

Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias pelo teste Tukey em ambos os experimentos. Também efetuou-se análise de regressão entre fotossíntese e condutância foliar, fotossíntese e potencial da água na folha e entre condutância foliar e potencial da água na folha.

Resultados e discussão

Na Figura 2 observa-se que houve efeito significativo do fator água na resposta fotossintética e na condutância foliar nos três dias de acompanhamento, sendo o grau do efeito variável de acordo com a intensidade do déficit hídrico ao qual as plantas estavam submetidas. Verifica-se que as plantas irrigadas apresentaram fotossíntese e condutância foliar superiores às plantas sob limitação na disponibilidade hídrica e que a fotossíntese e a condutância foliar tiveram o mesmo padrão de resposta.

No dia 6 de janeiro, as diferenças entre as plantas irrigadas (I) e não irrigadas (NI) foram mais acentuadas do que nos outros dois dias analisados. Isto deveu-se à maior demanda evaporativa ocorrida nesse dia, a qual tendeu a provocar fechamento estomático, como uma forma de evitar uma maior desidratação nas plantas não irrigadas, associadas ao déficit hídrico que nesse período acentuou-se ainda mais no tratamento NI, em relação ao déficit observado no dia 23 de dezembro (Figura 1). Isso levou, provavelmente, a um fechamento estomático ainda maior no NI, resultando em valores de condutância foliar próximos de zero. No dia 19 de janeiro, as diferenças entre as plantas irrigadas e não irrigadas foram menos evidentes, devido ao déficit hídrico no tratamento NI ter sido minimizado pela precipitação pluvial ocorrida nos dias anteriores à medição (20 mm), o que resultou em aumento da condutância e recuperação da taxa fotossintética dessas plantas. Observa-se, também, que nesse dia os valores de condutância e fotossíntese nas plantas irrigadas foram menores que nos demais dias devido à utilização de uma fonte luminosa artificial de 1.800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ menor que a dos demais dias) e pela presença de nebulosidade durante o período de medição. Os dados da Tabela 1 reforçam os resultados encontrados, verificando-se que no dia 23 de dezembro apesar de ocorrer uma demanda evaporativa alta, próxima ao do dia 06 de janeiro, a condição de limitação hídrica no solo era menor, resultando numa condutância foliar e fotossíntese maiores. Já no dia 19 de janeiro observa-se, além da condição de déficit hídrico ter sido minimizada, uma condição de demanda evaporativa menor, principalmente pela menor radiação solar e velocidade do vento. Os resultados obtidos estão de acordo com BONO (1997) que, analisando as respostas da condutância estomática para a radiação fotossinteticamente ativa, encontrou que, quando esta aumenta, a condutância nas plantas com

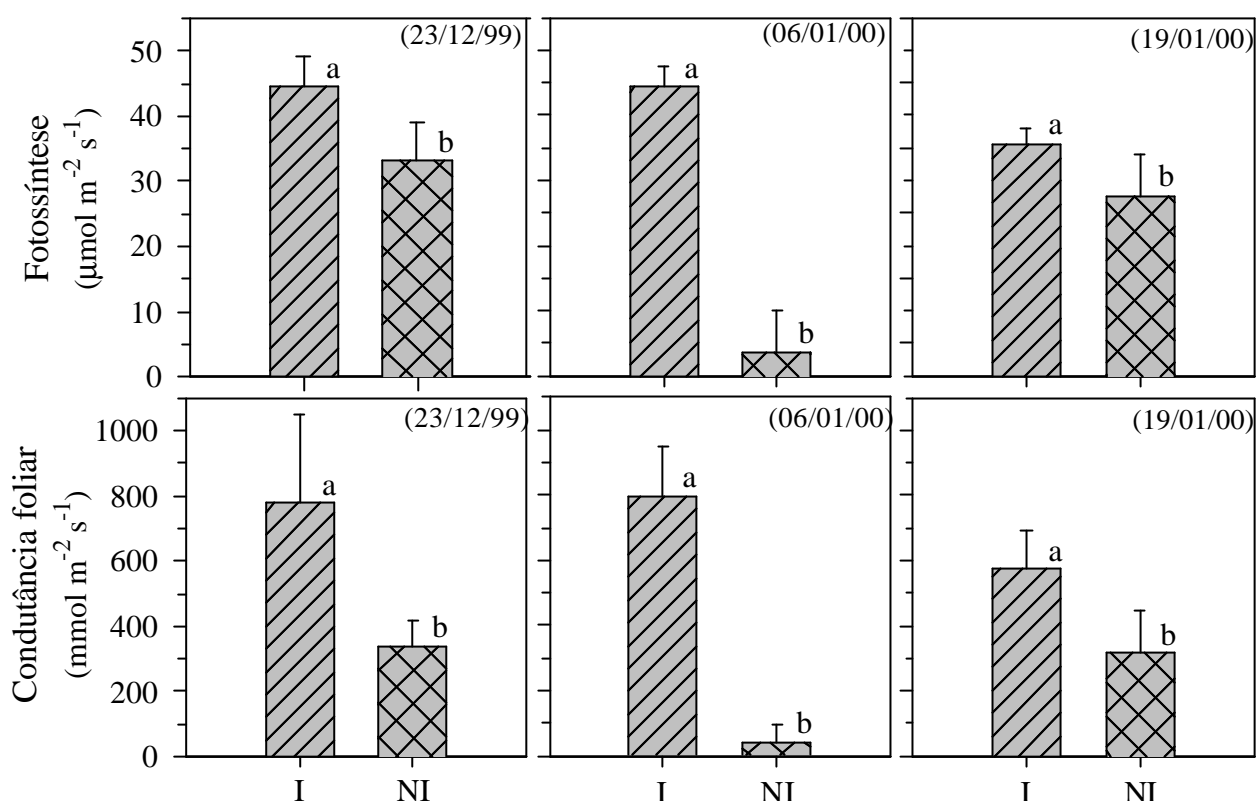


Figura 2. Fotossíntese e condutância foliar em milho irrigado (I) e não irrigado (NI), (médias de 8 repetições, com o desvio padrão indicado pela extremidade superior da linha). Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível mínimo de significância (NMS) de 5%. Eldorado do Sul, RS, 2000.

disponibilidade hídrica não limitante tende a aumentar.

STRZALKA & KETNER (1997) relatam **que o principal caminho para a entrada de CO₂ na folha é através do estômato e, desse modo, o grau de abertura estomática tem efeito decisivo sobre a entrada de CO₂ na folha.** Para WONG et al. (1979), a correlação entre a fotossíntese e a condutância em condições variadas, incluindo aquelas associadas com o desenvolvimento, sugere que há uma ligação direta entre a fotossíntese e a condutância estomática. Des-

se modo, verifica-se que, mesmo em condição de deficiência hídrica acentuada ao longo de vários dias (Figura 1), o aparelho fotossintético das plantas não irrigadas não parece ter sofrido danos, pois a fotossíntese foi recuperada após o déficit ter sido aliviado pela precipitação ocorrida após o dia 6 de janeiro (Figura 2).

Observa-se que a limitação na disponibilidade de água provoca redução na condutância foliar, resultando na diminuição das trocas gasosas. Com isso, a disponibilidade de CO₂ ao aparelho

Tabela 1. Valores médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global e velocidade do vento observadas durante as determinações no campo (10 às 11 horas). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000.

Data	Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa do ar (%)	Radiação solar (W m ⁻²)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)
23/12/99	23	46	867	3,17
06/01/00	28	64	838	2,42
19/01/00	25	63	556	2,15
28/01/00	25	47	807	3,57
07/02/00	27	54	777	3,61
16/02/00	25	47	748	4,52

¹Fonte: Base física de experimentos do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia - UFRGS.

fotossintético torna-se limitada, levando a um decréscimo na fotossíntese. JONES (1985) constatou que uma das maneiras pelas quais o déficit hídrico reduz a fotossíntese é pela redução da difusão do CO_2 para dentro da folha. RADIN & ACKERSON (1982), KRAMER (1983), FREDEEN *et al.* (1991) e SALA & TENHUNEN (1996) também observaram que o déficit hídrico reduz a fotossíntese pela redução na condutância, especialmente por atuar no fechamento estomático, reduzindo a entrada de CO_2 para os órgãos assimilatórios. SHARKEY (1990) relatou que o fechamento estomático é o efeito primário, se não exclusivo, do estresse hídrico sobre a fotossíntese. Esse mesmo efeito pode ser observado nos resultados encontrados (Figuras 2 e 5).

Analisando o efeito do fator água sobre o potencial da água na folha (Ψ_f) (Figura 3), verifica-se que, no dia 19 de janeiro, não houve diferenças significativas entre os valores de Ψ_f dos tratamentos. Possivelmente, o déficit tenha sido aliviado pelas chuvas que ocorreram nesse intervalo (Figura 1), que ocasionaram a recuperação do Ψ_f nas plantas não irrigadas, resultando no aumento da fotossíntese nas mesmas. No entanto, no dia 6 de janeiro houve efeito significativo entre os tratamentos, atribuído ao fato de que as plantas encontravam-se em uma condição de limitação hídrica há vários dias.

A fotossíntese e condutância foliar em função do Ψ_f , obtida em dois dias de medições, encontra-se na Figura 4. Observa-se uma tendência geral de diminuição, tanto da fotossíntese como da condutância foliar, quando é afetado o estado hídrico da planta. As plantas irrigadas mantiveram maior

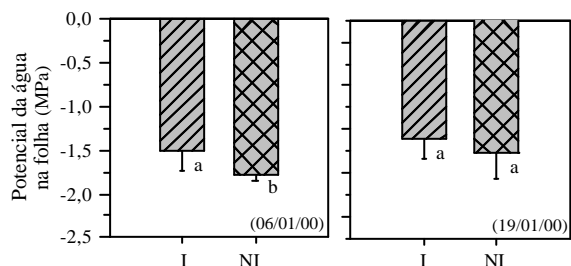


Figura 3. Potencial da água na folha em milho irrigado (I) e não irrigado (NI), (médias de 8 repetições, com o desvio padrão indicado pela extremidade da linha). Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível mínimo de significância (NMS) de 5%. Eldorado do Sul, RS, 2000.

fotossíntese e condutância foliar do que as não irrigadas, apesar de o potencial da água na folha apresentar uma pequena amplitude de variação entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por CRUZ de CARVALHO *et al.* (1998), em duas espécies de C_3 herbáceas, onde observaram uma relação linear entre a taxa fotossintética e o potencial de base.

A baixa correlação entre Ψ_f e fotossíntese pode ser explicada pelo fato de que, em plantas hidratadas, o abaixamento do Ψ_f se deve à transpiração elevada ocorrida durante as medições. Por outro lado, em plantas estressadas a ocorrência de baixo potencial da água, por um maior período, pode ter induzido uma menor atividade enzimática. Portanto, a menor fotossíntese observada em plantas estressadas parece ser devido à limitação de CO_2 e menor atividade das enzimas envolvidas no processo de fixação e redução do CO_2 .

De acordo com SALISBURY & ROSS (1994), a limitação de água causa, além de outros efeitos, restrição na captação de CO_2 , com a assimilação de CO_2 caindo em níveis próximos de zero quando o Ψ_f situa-se em torno de -1,0 a -2,0 MPa. Da mesma forma, TORRECILLAS *et al.* (1999) observaram em *Prunus armeniaca* (lenhosa) que a fotossíntese atingia valores próximos de zero com Ψ_f

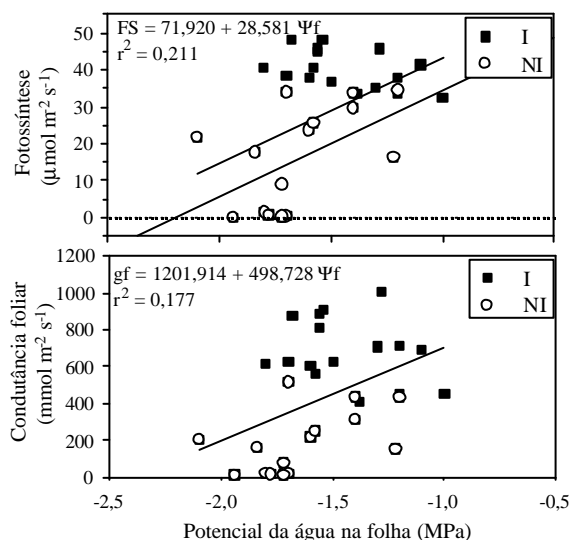


Figura 4. Fotossíntese (FS) e condutância foliar (gf) em função do potencial da água (Ψ_f) em folhas de milho irrigado (I) e não irrigado (NI), no campo, em dois dias de medições (06/01/00 e 19/01/00). Eldorado do Sul, RS, 2000.

em torno de -2,8 MPa e que a recuperação ocorria após dois dias da reidratação.

CEULEMANS et al. (1988) encontraram menores taxas fotossintéticas em plantas estressadas do que nas não estressadas, sendo Ψ_f menor nas últimas. Contudo, concluíram que a taxa líquida de troca de CO_2 parece responder melhor ao déficit hídrico do solo do que ao Ψ_f . Isto provavelmente deve-se ao fato de que os estômatos se fecham por ação do Ácido Abscísico (ABA) produzido nas raízes e transportado para a folha em solos secos (TARDIEU et al., 1993).

Com relação a condutância foliar e potencial da água na folha, verifica-se que a condutância foliar decresce à medida que diminui o Ψ_f . Embora haja significância estatística na relação linear entre as duas variáveis o coeficiente de determinação não é elevado, devido à interação de fatores como luz, déficit de pressão de vapor, temperatura e vento, os quais, juntamente com a disponibilidade hídrica, atuam sobre os estômatos. Estes resultados são coerentes com citações da literatura, que mostram a existência de uma relação direta entre estes dois parâmetros (KRAMER & BOYER, 1995; BONO, 1997; BERGONCI et al., 2000).

RADIN & ACKERSON (1982) relataram que os estômatos fecham em resposta ao decréscimo no potencial da água na folha. Correlação semelhante entre a condutância foliar e o potencial da água na folha em milho foi encontrada por BONO (1997) e BERGONCI et al (2000), os quais relataram que à medida que diminui o potencial da água na folha, diminui a condutância foliar. NANDWAL et al. (1991) encontraram em plantas de *Cajanus cajan* submetidas à seca que a condutância estomática decresceu a valores próximos de zero para potencial da água na folha de -3,08 e -2,50 MPa, para o período vegetativo e reprodutivo, respectivamente.

A grande variabilidade e sensibilidade de resposta dos indicadores fisiológicos, em especial da condutância estomática, a fatores que não podem ser controlados como o vento e chuva, bem como a heterogeneidade na distribuição da lâmina d' água que ocorre em trabalhos de campo, foram os motivos que levaram a realização do experimento sob condição de casa de vegetação.

Os resultados médios de fotossíntese e condutância foliar ao vapor d' água, observados ao longo de alguns dias, em casa de vegetação, são apresentados na Figura 5. Observa-se que a fotossíntese foi superior nas plantas que não foram submetidas à

restrição hídrica (I_{100}) nos três dias analisados. No dia 16 de março, observa-se que não houve diferença entre o tratamento intermediário (I_{50}) com os demais tratamentos, podendo-se atribuir ao fato de que a diferenciação dos níveis de irrigação, aplicados às plantas, ocorreu somente três dias antes daquela data, portanto, sem limitação hídrica acentuada. No dia 23 de março, como a quantidade de água repostada foi diminuindo gradativamente, devido à redução na água perdida por transpiração, a limitação hídrica tornou-se mais acentuada e as taxas fotossintéticas, nas plantas sob restrição hídrica, foram reduzidas para valores próximos de zero ou, até mesmo, a taxas negativas de fotossíntese líquida (predominância de respiração). A partir desse dia, como descrito no item material e métodos, as plantas sob limitação hídrica passaram a receber uma maior quantidade de água e, assim, como se observou no dia 28 de março, a fotossíntese aumentou. Verifica-se que o efeito do fator água sobre a resposta fotossintética foi menor no dia 16 de março do que nos demais dias analisados.

Com relação à condutância foliar, verifica-se que a mesma foi maior nas plantas sem restrição hídrica, em todos os dias analisados, sendo o comportamento dessa variável semelhante ao encontrado com relação à fotossíntese.

Na Figura 6 observa-se que os maiores Ψ_f ocorreram nas plantas sem restrição hídrica e os menores naquelas submetidas ao déficit hídrico mais acentuado (I_{25}), sendo o efeito do fator água mais expressivo à medida que a limitação hídrica acentuava-se, ao longo dos dias analisados.

A análise da relação entre o Ψ_f e a fotossíntese, observados nos três dias de medições (Figura 7), demonstra uma tendência geral de diminuição da fotossíntese à medida que decresce o estado hídrico da planta, sendo que com potenciais abaixo de -1,5 MPa a fotossíntese diminui a valores próximos de zero. Essa resposta é melhor compreendida quando se observa a relação entre condutância foliar e Ψ_f , onde se constata que, a partir desse mesmo Ψ_f (-1,5 MPa), no qual a fotossíntese torna-se muito baixa (próxima ou igual a zero), a condutância foliar também tende zero. Isto justifica a queda da fotossíntese, pois conforme já discutido nos resultados de campo, quando a condutância é baixa tem-se uma maior limitação à entrada de CO_2 para o aparelho fotossintético e, com isso, menores taxas fotossintéticas.

A relação entre a condutância foliar e o po-

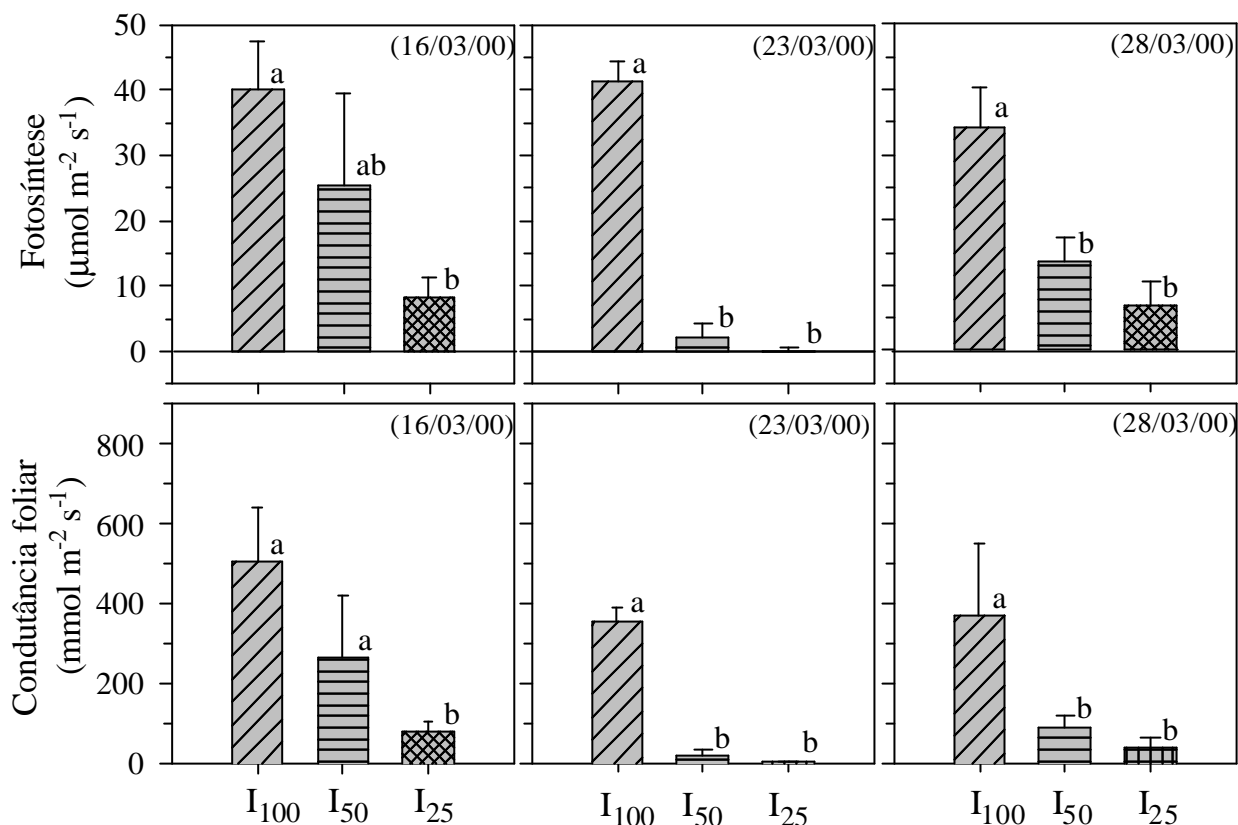


Figura 5. Fotossíntese e condutância foliar em plantas de milho em casa de vegetação, sob três condições hídricas (I₁₀₀, I₅₀ e I₂₅, representando 100, 50 e 25% de reposição da água evapotranspirada, respectivamente), com o desvio padrão indicado pela extremidade superior da linha. Médias seguidas de mesma letra não diferem ao NMS de 5%. Porto Alegre, RS, 2000.

tencial da água na folha apresentou o mesmo comportamento verificado em condições de campo, cujos resultados confirmam a tendência de aumento da

condutância estomática à medida em que o Ψ_f aumenta. Observa-se que as plantas sem restrição hídrica apresentaram os maiores Ψ_f e as maiores condutâncias,

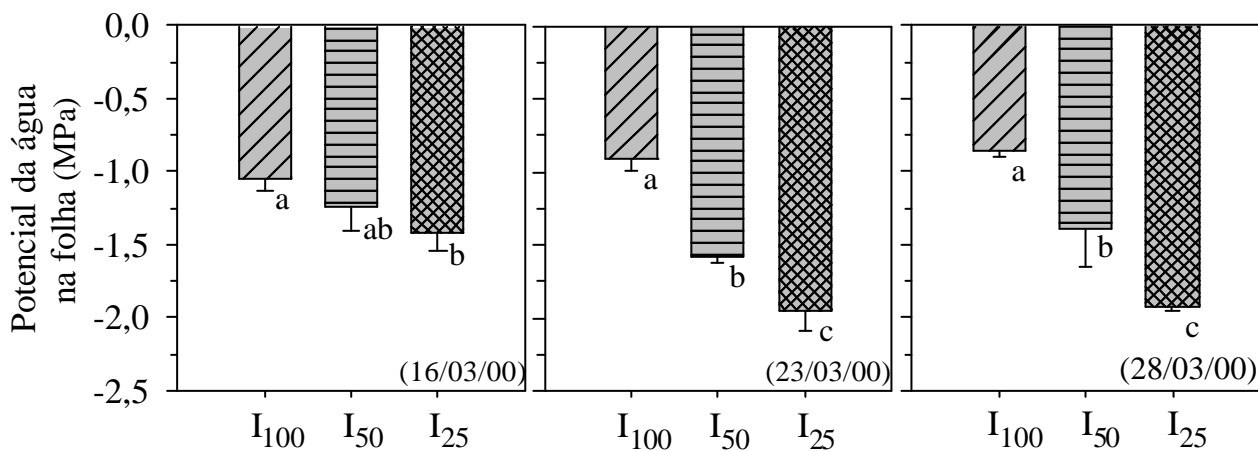


Figura 6. Potencial da água na folha em plantas de milho em casa de vegetação sob três condições hídricas (I₁₀₀, I₅₀ e I₂₅, representando 100, 50 e 25% de reposição da água evapotranspirada, respectivamente), com o desvio padrão indicado pela extremidade superior da linha. Médias seguidas de mesma letra não diferem ao NMS de 5%. Porto Alegre, RS, 2000.

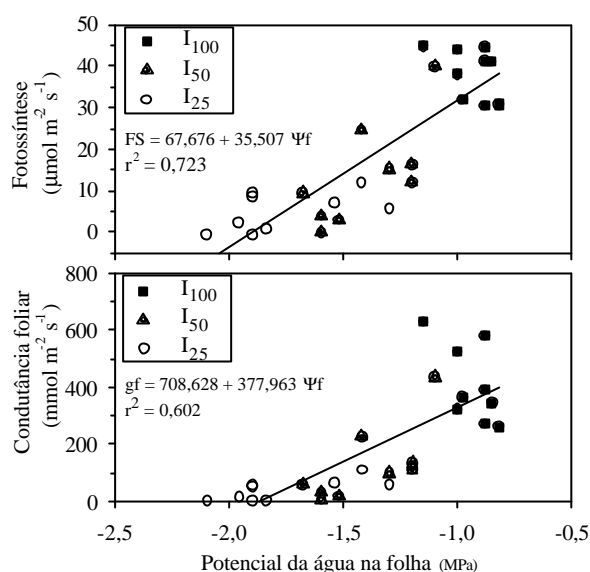


Figura 7. Fotossíntese (FS) e condutância foliar (gf) em função do potencial da água (Ψ_f) em folhas de milho, em casa de vegetação, sob três condições hídricas (I_{100} , I_{50} e I_{25} , representando 100, 50 e 25% de reposição da água evapotranspirada, respectivamente), em três dias de medições (16/03/00, 23/03/00 e 28/03/00). Porto Alegre, RS, 2000.

sendo que, na faixa de Ψ_f de -0,5 a -1,0 MPa, correspondente a essas plantas, ocorreu a maior dispersão da condutância foliar. Para Ψ_f abaixo destes valores, a condutância foliar apresentou uma pequena amplitude de variação. Isto pode ser devido ao fato de essas plantas manterem uma menor abertura dos estômatos, como forma de “economizar” água, fazendo com que estes respondam menos às variações que lhes são impostas.

De um modo geral, as plantas sem restrição hídrica mantiveram os maiores potenciais da água na folha, condutância foliar e fotossíntese do que aquelas sob condições de limitação hídrica. Observa-se, também, que a correlação entre as variáveis foi maior em condições de casa de vegetação do que de campo, o que pode ser atribuído, pelo menos parcialmente, a uma menor interação com outros fatores que também interferem no mecanismo estomático. Isso evidencia-se, especialmente, quando se faz uma análise das figuras 4 e 7, onde se encontram valores de R^2 muito baixos nos dados de campo em relação aos obtidos em condições mais estáveis de casa de vegetação. Embora isso ocorra, existe uma tendência de relação di-

reta entre a condutância foliar e a fotossíntese com o potencial da água na folha.

Conclusão

A condutância foliar é o indicador fisiológico que melhor se correlaciona com a fotossíntese em diferentes condições de disponibilidade hídrica.

Referências bibliográficas

- BERGONCI, J. I. et al. Condutância foliar como um indicador de déficit hídrico em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 27-34, 2000.
- BONO, L. **Efeito do déficit hídrico sobre as respostas estomáticas do milho à radiação fotossinteticamente ativa**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ UFRGS, 1997.
- BUNCE, J. A. Nonstomatal inhibition of photosynthesis by water stress. Reduction of photosynthesis at high transpiration rate without stomatal closure in field grown tomato. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 18, n. 3, p. 357-362, 1988.
- CEULEMANS, R. et al. Net CO_2 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.
- CRUZ de CARVALHO, M.H.; LAFFRAY, D.; LOUGUET, P. Comparison of the physiological responses of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, n.3, v. 40, p. 197-207, 1998.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.
- FREDEEN, A.L.; GAMON, J.A.; FIELD, C.B. Responses of photosynthesis and carbohydrate-partitioning to limitations in nitrogen and water availability in field-grown sunflower. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, p. 963-970, 1991.
- GOLLAN, T.; PASSIOURA, J.B.; MUNNS, R. Soil water status affects stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, n. 1, p. 459-464, 1986.
- HANWAY, J.J. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, n. 5, p. 487-491, 1963.

- HARRISON, R.D.; DANIELL, J.W.; CHESHIRE, J.M. Net photosynthesis and stomatal conductance of peach seedlings and cuttings in response to changes in soil water potential. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v. 114, n. 6, p. 986-990, 1989.
- JONES, C.A. **C4 Grasses and Cereals: Growth, Development and Stress Response**. New York: John Wiley & Sons, 1985. 419 p.
- KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. San Diego: Academic Press, 1983. 489 p.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.
- MACHADO, E.C.; LAGÔA, A.M.M.A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 141-149, 1994.
- MÜLLER, A.G. et al. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de temperaturas efetivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/EPAGRI, 1999. 1 CD-ROM.
- NANDWAL, A.S. et al. Water relations and gaseous exchange studies in pigeonpea under depleting soil water potential. **Plant Physiology Biochemistry**, Paris, v. 29, n. 1, p. 75-78, 1991.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal Society-Serie A**, London, v. 193, p. 120-145, 1948.
- PREMACHANDRA, G.S. et al. Osmotic adjustment and stomatal response to water deficit in maize. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 43, n. 256, p. 1451-1456, 1992.
- RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G. Estimativa do coeficiente de cultura (Kc) do milho em função do índice de área foliar (IAF). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/EPAGRI, 1999. 1 CD-ROM.
- RADIN, J.W.; ACKERSON, R.C. Does abscisic acid control stomatal closure during water stress? **What's New in Plant Physiology**, Gaithersburg, v. 13, n. 1, p. 9-12, 1982.
- SALA, A.; TENHUNEN, J.D. Simulations of canopy net photosynthesis and transpiration in *Quercus ilex* L. under the influence of seasonal drought. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 18, n. 3-4, p. 203-222, 1996.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Fisiologia Vegetal**. México: Iberoamerica, 1994. 758 p.
- SCHOLANDER, P. F. et al. Sap Pressure in Vascular Plants. **Science**, Alexandria, v. 48, p. 339-346, 1965.
- SHARKEY, T.D. Water stress effects on photosynthesis. **Photosynthetica**, Prague, v. 24, n. 4, p. 651, 1990.
- STRZALKA, K.; KETNER, P. Trocas de CO₂ nas plantas. In: PRASAD, M. N. V. **Plant Ecophysiology**. New York: John Wiley, 1997. p. 393-456.
- TANGUILIG, V.C. et al. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 103, n. 2, p. 155-168, 1987.
- TARDIEU, F.; ZHANG, J.; GOWING, D.J.G. Stomatal control by both [ABA] in the xilem 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, n. 4, p. 413-420, 1993.
- TORRECILLAS, A. et al. Gas exchange and water relations of young apricot plants under drought conditions. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 132, n. 4, p. 445-452, 1999.
- TURNER, N.C. Crop water deficits: a decade of progress. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 39, p. 1-51, 1986.
- WONG, S.C.; COWAN, I.R.; FARQUHAR, G.D. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. **Nature**, London, v. 282, n. 5737, p. 424-426, 1979.