

# VARIABILIDADE HORÁRIA E SAZONAL DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS DETERMINANTES DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA EM PIRACICABA-SP

ANDREA I. IRIGOYEN<sup>1</sup>, LUIZ R. ANGELOCCI<sup>2</sup>,  
DERBLAI CASAROLI<sup>3</sup>, JONES SIMON<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônoma, M. Sci., Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Balcarce, Argentina, doutoranda do Programa Física do Ambiente Agrícola ESALQ-USP, Piracicaba-SP, [irigoyen@esalq.usp.br](mailto:irigoyen@esalq.usp.br)

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Associado, Depto. Ciências Exatas, ESALQ, USP, Piracicaba-SP, bolsista CNPq

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, doutorando do Programa Física do Ambiente Agrícola ESALQ-USP, Piracicaba-SP

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia  
02 a 05 de julho de 2007 –Aracajú- SE

**RESUMO:** A variabilidade horária e sazonal da temperatura do ar (T), déficit de pressão de vapor (DPV) e densidade de fluxo de fótons fotossintéticos ativos (DFFF) foi determinada a partir de dados horários registrados com estação meteorológica automática localizada no campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP (Brasil) no período 1997-2006. Os valores médios das variáveis estudadas apresentaram diferenças significativas entre estações. A maior parte do período diurno não apresentou limitações à condutância estomática em qualquer estação.

**Palavras-Chave:** temperatura do ar, déficit de pressão de vapor, densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

## HOURLY AND SEASONAL VARIABILITY OF METEOROLOGICAL VARIABLES DETERMINING STOMATAL CONDUCTANCE IN PIRACICABA-SP

**ABSTRACT:** Hourly and seasonal variability of air temperature (T), air vapour pressure deficit (VPD) and photosynthetic photon flux density (PPFD) were determined from hourly automatically records registered by an automatic meteorological station at ESALQ-USP, Piracicaba, SP (Brasil) during 1997-2006. Average values of studied variables showed significant differences between seasons. Diurnal period showed to be not limited for stomatal conductance.

**Key-words:** air temperature, vapour pressure deficit, photosynthetic photon flux density

**INTRODUÇÃO:** A condutância estomática à difusão de vapor d'água ( $g_s$ ) responde a dois ambientes bem definidos que podem ser denominados como local e distal. O ambiente local da folha é determinado pela radiação, temperatura, umidade e concentração de  $CO_2$ . O ambiente distal (particularmente raízes) comumente gera sinais de deficiência de água ou sinais ligados à condutividade hidráulica do sistema solo-planta-atmosfera. Entre os fatores do ambiente local, a concentração de  $CO_2$  é relativamente mais constante. Os padrões de resposta de  $g_s$  ao ambiente local são bastante gerais (JONES, 1992), com uma resposta hiperbólica ao aumento da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos, uma resposta de tipo “valor ótimo” no caso da temperatura e uma relação inversa com a diferença da concentração de vapor entre folha e ar. Modelos empíricos têm sido utilizados para representar o comportamento estomático sob variação do ambiente local. Um método utilizado é a regressão múltipla, onde  $g_s$  é associada à diversas variáveis independentes. JONES e HIGGS (1989) propuseram a substituição das variáveis ambientais, no ajuste da regressão, pelos desvios dos valores típicos. Porém, um melhor desempenho é obtido por um modelo multiplicativo (JARVIS, 1976) com adequados componentes não lineares. As limitações desse tipo de modelos incluem a falta de consideração de interações e de respostas tipo “retroalimentação”. YU et al

(1998) propuseram um modelo que combina os efeitos ambientais na determinação da condutância estomática (dependente de valores médios das variáveis) e no grau relativo de abertura estomática (dependente da variação relativa das variáveis). A descrição da variabilidade horária e sazonal do ambiente determinante de  $g_s$  é importante na exploração de modelos empíricos, os quais, embora simples, são suficientes para estimar a condutância estomática. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo caracterizar a variabilidade horária e sazonal das variáveis ambientais determinantes da condutância estomática, como base para o estudo da modelagem desta em culturas da região de Piracicaba-SP.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram utilizados dados horários de temperatura (T), déficit de pressão de vapor (DPV) do ar e densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) registrados com estação meteorológica automática localizada no campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP (lat.: 22° 42'S; long. 47° 30'W; alt. 546 m) no período 1997-2006. Calcularam-se os parâmetros descritivos básicos de posição e de variação na escala horária, discriminados por estação do ano como verão (dezembro, janeiro, fevereiro), outono (março, abril, maio), inverno (junho, julho, agosto) e primavera (setembro, outubro, novembro). A variação relativa horária das variáveis quanto aos seus máximos diários foi calculada gerando novas variáveis: temperatura relativa (T/Tmax), déficit de pressão de vapor relativo (DPV/DPVmax) e DFFF relativo (DFFF/DFFFmax) e posteriormente caracterizada no período diurno discriminada por estação do ano. O teste de Kruskal-Wallis foi aplicado na comparação entre médias sazonais, e quando necessário, o teste de Tuckey com nível de significância igual a 0,05.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Figura 1 observa-se a variação horária da temperatura média do ar (T) discriminada por estação do ano. A temperatura média diária superou 20°C, exceto no inverno, com valores baixos especialmente nas horas antes do amanhecer, embora, o quartil inferior nesses horários atinja 10°C. Houve diferenças significativas entre estações, seguindo os padrões: verão>primavera=outono>inverno nos horários sem radiação solar; verão=primavera>outono>inverno nos horários seguintes à máxima temperatura (16:00-17:00h) e verão>primavera>outono>inverno, desde o amanhecer até o horário de máxima temperatura e após o pôr de sol. O período médio com temperatura inferior a 20 °C variou de 15 a 3 horas, no inverno e no verão, respectivamente. A temperatura média atingiu o máximo às 15:00h em todas as estações, com extremos nestes horários na faixa de 35,3°C (verão) e 12°C (inverno). O quartil superior superou 28 °C desde agosto até abril, estando em uma faixa de 5 horas diárias nesses meses e de até 8 horas nos meses de verão, no qual atingiram valores extremos superiores a 30 °C. A onda diária de valores médios foi mais atenuada no verão com uma amplitude de 8,4°C, sendo fevereiro o mês de menor amplitude (16% em torno do valor médio). Entretanto no inverno, a onda diária foi mais marcante com uma diferença de 13°C entre os valores extremos. Nessa estação, agosto apresentou a maior amplitude térmica diária, com variação de 35% em torno do valor médio. Quanto à variabilidade dos valores horários, no outono ocorreram desvios-padrão com menor diferença entre horas (0,5°C), os quais representam de 12 a 19% dos valores médios. Entretanto os desvios com maior diferença entre as horas ocorreram no verão (1,8°C), os quais representaram entre 7 e 12% dos valores médios. No inverno, os desvios-padrão atingiram até 4°C nos horários de máxima temperatura, com 15% do valor médio e até 24% dos valores médios nos horários próximos ao amanhecer. Na Figura 2 observa-se a variação horária do DPV discriminada por estação do ano. O DPV médio diário superou 0,5 kPa, ocorrendo maior valor na primavera (0,8 kPa). O momento de máximo DPV ocorreu entre 15:00 e 16:00h em todas as estações. A onda diária de valores médios é mais atenuada no verão, com uma diferença de 1,3 kPa entre os valores extremos. Os valores médios horários atingiram máximos de 1,8 kPa nos horários de máxima temperatura, tanto no inverno quanto na primavera. Houve diferenças significativas nos

valores médios entre estações seguindo os padrões: verão>primavera>outono=inverno no intervalo 22:00-7:00h e verão>primavera>outono>inverno nos horários 8:00-11:00h. Na faixa de maior temperatura diária, o inverno foi a estação com menor DPV, embora agosto tenha se aproximado dos meses de primavera. O padrão observado desde 16:00 até 21:00h foi verão=primavera>outono>inverno. Valores extremos superiores a 3kPa ocorreram entre 13:00 e 18:00h no verão e entre 10:00 e 19:00h na primavera. Setembro foi o mês com valores extremos mais elevados (até 5 kPa), ocorrendo nos horários de máxima temperatura. A primavera foi também a estação com maiores desvios-padrão no DPV, atingindo até 1,1 kPa nos horários de maior temperatura, representando quase 60% do valor médio. O quartil superior apresentou valores maiores que 2 kPa entre 13:00 e 18:00h na primavera e no inverno. Entretanto no verão, a estação mais úmida, nenhum horário apresentou para esse quartil valores de DPV iguais ou superiores a 2 kPa, o qual pode ser assumido como muito limitante à resposta estomática. Valores nulos de DPV ocorreram em todos os horários; destacou-se também a ocorrência de valores de quartil inferiores ou iguais a 0 kPa até o nascer do sol em cada estação.

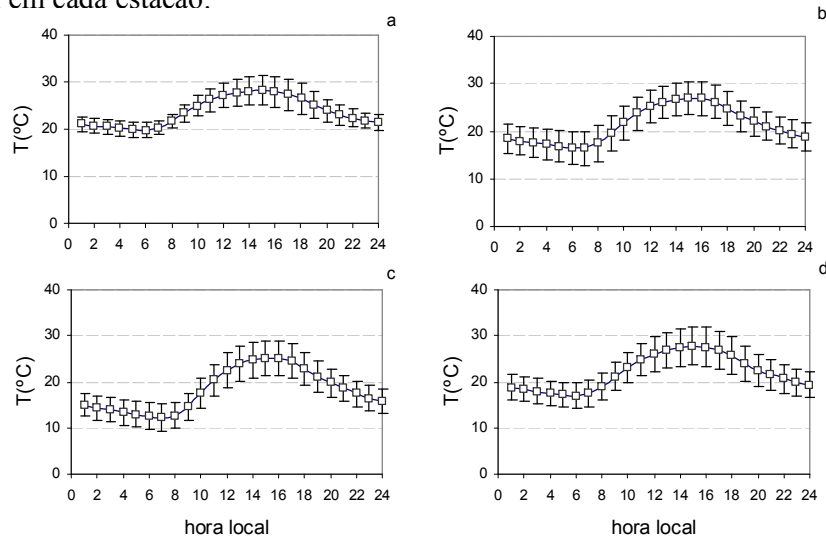


Figura 1- Valores médios horários e desvios-padrão da temperatura do ar (T).  
a. Verão; b. Outono; c. Inverno; d. Primavera.

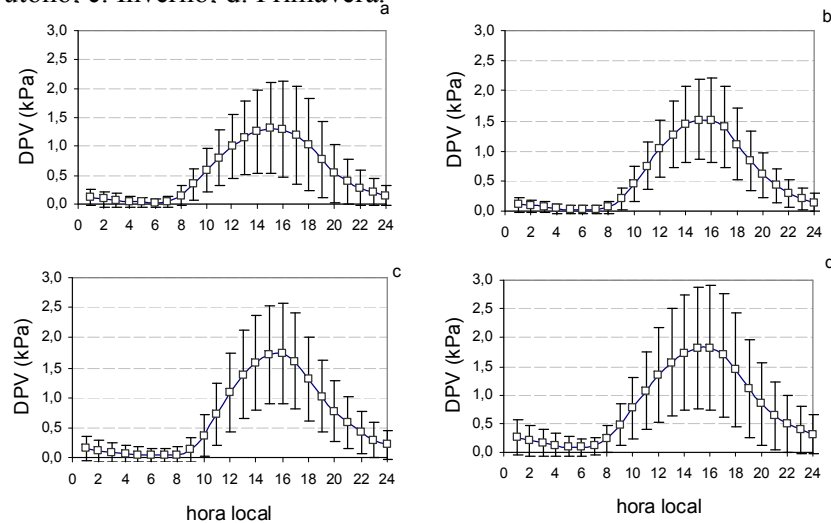


Figura 2- Valores médios horários e desvios-padrão do déficit de pressão de vapor (DPV).  
a. Verão; b. Outono; c. Inverno; d. Primavera.

A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) atingiu valores máximos ao meio-dia em todas as estações (Figura 3), decorrente da maior densidade de fluxo de radiação solar nesse horário. O valor médio no meio-dia superou  $1100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , exceto no inverno quando mais que dobrou o valor saturante da maioria das espécies, sendo aproximadamente igual a  $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (JONES, 1994). Os valores médios apresentaram diferenças significativas entre estações, com os padrões verão>primavera>outono>inverno no intervalo 8:00-11:00h, verão>primavera=outono>inverno entre 12:00 e 16:00h e finalmente, nas últimas horas com radiação solar, verão>primavera>outono>inverno. Nos meses de inverno, os valores de quartil inferior, nos horários em torno do meio-dia, superaram o valor de saturação. Os valores máximos horários superaram  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  próximo ao meio-dia, entre outubro e fevereiro. O quartil superior localizou-se acima de  $1300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  nesses horários durante os meses de verão. O número de horas com valores médios de DFFF iguais ou maiores a  $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  variaram desde 8 até 6,4 horas no verão e no inverno, respectivamente. Assim, a fração média do período diurno, com valores que possibilitam a máxima abertura estomática, variou de 0,64 (verão) a 0,57 (inverno).

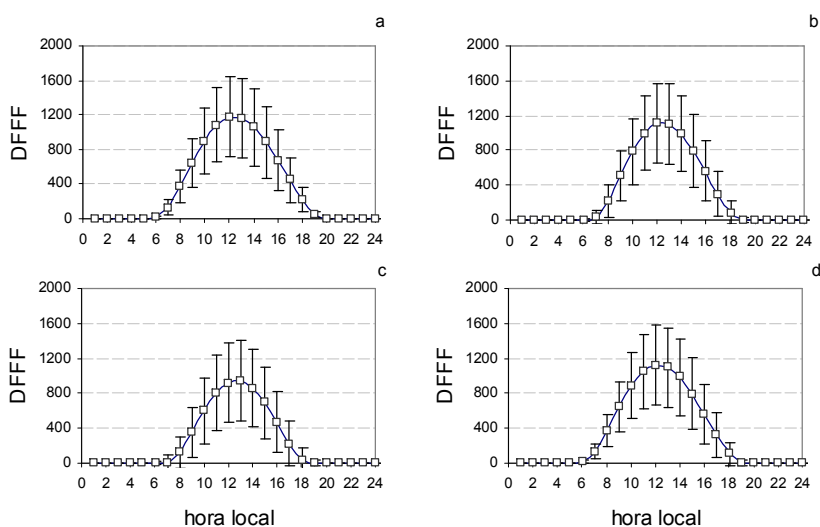


Figura 3- Valores médios horários e desvios-padrão da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos expressos em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . a. Verão; b. Outono; c. Inverno; d. Primavera.

A resposta estomática é determinada pela combinação das variáveis, aspecto que pode ser visualizado também através da redução do potencial de abertura estomática seguindo o modelo de YU et al. (1998). Neste modelo, a variação relativa das variáveis em relação ao máximo diário modifica o potencial de condutância estomática. O comportamento dos valores médios estacionais da variação relativa durante o período diurno da temperatura do ar ( $T/T_{\text{max}}$ ), do déficit de pressão de vapor ( $DPV/DPV_{\text{max}}$ ) e da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos ( $DFFF/DFFF_{\text{max}}$ ) é apresentado na Figura 4, com a finalidade de refletir a contribuição da variação das variáveis na resposta da condutância estomática. A relação  $T/T_{\text{max}}$  variou entre 0,6 e 1 em todas as estações, ajustando adequadamente polinômios de quarto grau à essa relação. A porção da curva crescente (até 14:00h) pode distinguir estações mais quentes (menor curvatura) das mais frias, entretanto a porção decrescente da curva não difere entre estações. A relação de  $DPV/DPV_{\text{max}}$  variou numa faixa de 0,9. Desta forma, essa relação parece ser a que mais afeta as variações de  $g_s$ . A associação entre  $T/T_{\text{max}}$ ,  $DPV/DPV_{\text{max}}$  e  $DFFF/DFFF_{\text{max}}$  foi avaliada a partir dos coeficientes de correlação de

Pearson, com apenas uma associação significativa entre DPV/DPVmax e T/Tmax ( $r = 0,98$ ) e sem diferenças sazonais.

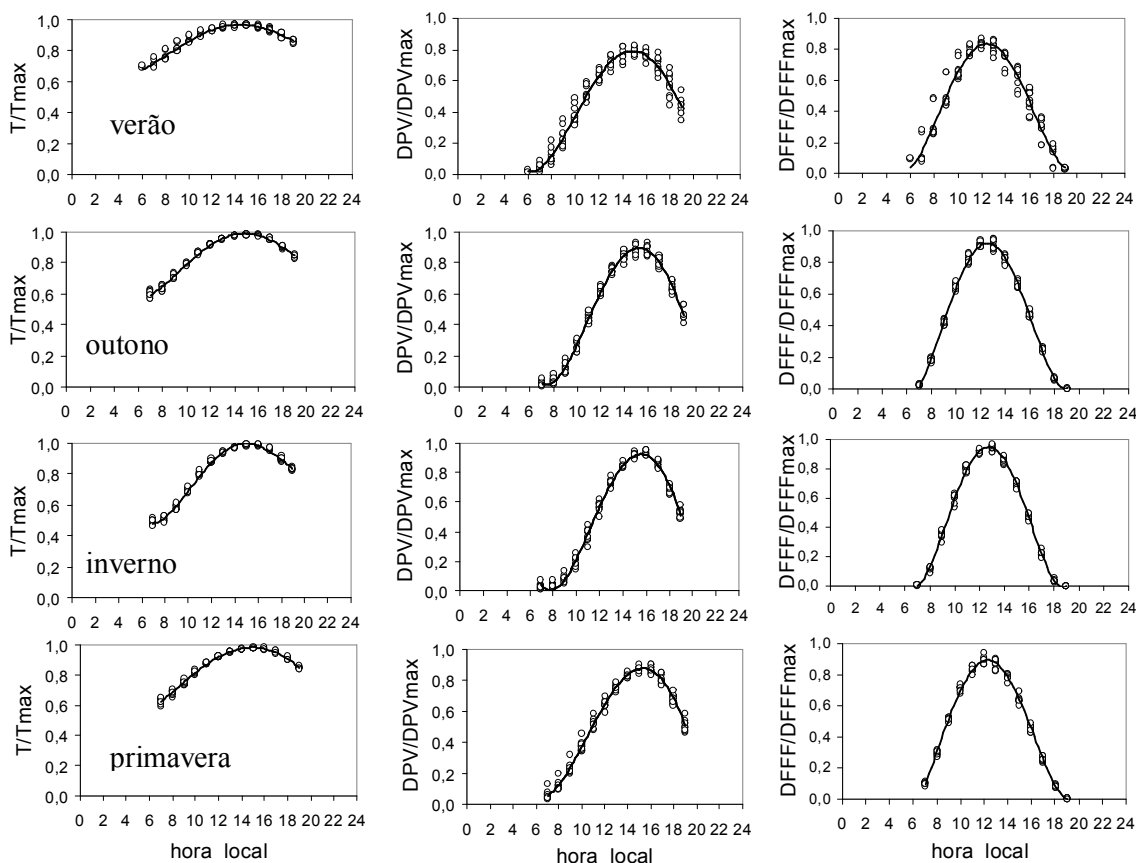


Figura 4 - Variação relativa no período diurno da temperatura do ar ( $T/T_{max}$ ), do déficit de pressão de vapor ( $DPV/DPV_{max}$ ) e do fluxo de fótons fotossintéticos ( $DFFF/DFFF_{max}$ ).

**CONCLUSÕES:** Os valores médios das variáveis estudadas apresentaram diferenças significativas entre estações. A maior parte do período diurno não apresentou limitações à condutância estomática em qualquer estação. A variação relativa do déficit de pressão de vapor apresentou-se como a principal condicionante das variações da condutância estomática.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- JARVIS, P.G. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philosophical Transactions of Royal Society**, v. 273, p.593-610, 1976.
- JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2<sup>nd</sup> Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 1994.
- JONES, H.G.; HIGGS, K.H. Empirical models of the conductance of leaves in apple orchards. **Plant, Cell and Environment**, v. 12. p. 301-308, 1989.
- YU, G. R.; NAKAYAMA, K.; MATSUOKA, N.; KON, K. A combination model for estimating stomatal conductance of maize (*Zea mays* L.) leaves over a long term. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 92, p. 9-28, 1998.