

## **AVALIAÇÃO DE DUAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMATIZADAS, PARA ESTIMATIVA DIÁRIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA OBTIDA PELO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH**

**José Eduardo Pitelli Turco<sup>1</sup>; José Carlos Barbosa<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrária e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, SP, jepturco@fcav.unesp.br*

*<sup>2</sup>Departamento de Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrária e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, SP*

### **1 RESUMO**

A finalidade deste trabalho foi a avaliação de estações meteorológicas automatizadas da marca Davis Instruments e Campbell Scientific, procurando detectar possíveis diferenças nas suas medições e estimativas. Foi, também, avaliada, nas duas estações, a integridade dos dados meteorológicos para estimativa da ETo. Os dados meteorológicos avaliados foram os seguintes: radiação solar global, saldo de radiação, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica. O método de estimativa diária da evapotranspiração de referência avaliado foi o de Penman-Monteith, recomendado pela FAO como método padrão para estimar a ETo. As estações meteorológicas automatizadas da marca Davis Instruments e Campbell Scientific foram instaladas em uma área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP. Os dados foram coletados diariamente e analisados estatisticamente, por meio de análise de regressão. Foi aplicada uma técnica que verifica a integridade dos dados meteorológicos para estimativa da evapotranspiração de referência. O resultado da avaliação das duas estações, utilizando-se análise de regressão linear, mostra que as estimativas diárias da evapotranspiração de referência (ETo) apresentam diferenças aceitáveis. Aplicando a técnica que verifica a integridade dos dados meteorológicos, verificou-se que os dados de umidade relativa das duas estações e de precipitação da Campbell não foram de boa qualidade.

**UNITERMOS:** evapotranspiração, estações automatizadas, intercomparação.

### **TURCO, J. E. P.; BARBOSA, J. C. TWO AUTOMATIC WEATHER STATIONS METEOROLOGICAL DATA EVALUATION BY PENMAN-MONTEITH REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION METHOD**

### **2 ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate and compare measurements and estimates from Davis and Campbell Scientific Instruments in two automatic weather stations. Integrity of meteorological data for estimates of evapotranspiration of reference crop (ETo) from both stations was also evaluated. The following meteorological data were evaluated: air temperature, air humidity, wind speed, precipitation, net radiation and global solar radiation. The Penman-Monteith reference method to estimate ETo was evaluated daily. The weather stations were set up in an experimental area of the Rural Engineering Department-

FACV/UNESP, in Jaboticabal, State of Sao Paulo. Data were collected daily and statistical analysis was performed using linear regression analysis. The integrity of meteorological data to estimate ETo was evaluated. The results of the study in the stations using linear regression analysis showed that daily estimates for ETo had acceptable differences. The technique which evaluates the integrity of meteorological data revealed that data of relative humidity from both stations and of precipitation using Campbell Instruments were not good.

**KEY WORDS:** evapotranspiration, automatic weather station, intercomparison

### 3 INTRODUÇÃO

Atualmente ocorre uma tendência à utilização de estações meteorológicas automatizadas, que auxiliam na determinação da ETo, diminuindo erros na lâmina de água a ser aplicada na cultura. A popularização de estações meteorológicas automatizadas tem proporcionado precisão e rapidez na coleta de dados, facilitando o seu uso nas estimativas da ETo, principalmente pelo método Penman-Monteith (Bausch, 1990).

No Brasil as estações meteorológicas automatizadas estão sendo utilizadas com muita frequência e as marcas que se destacam são da Campbell Scientific, Inc e Davis Instruments. As duas oferecem tecnologia de ponta, mas a da Davis tem preços mais acessíveis. São utilizadas em centros educativos e universidades, assim como no setor agrícola, na indústria, em pesquisas, agências governamentais e também por particulares em suas residências.

A estimativa da evapotranspiração de referência está diretamente relacionada à qualidade dos dados climatológicos em que se baseia. O uso de estações meteorológicas automáticas fornece um sistema completo de informações meteorológicas de modo prático e funcional, mas além da observação permanente do funcionamento dos aparelhos eletrônicos, é necessária uma análise para avaliar a integridade dos dados, sua qualidade e sua confiabilidade antes de serem utilizados nas equações de estimativa da ETo. Várias técnicas para validação da qualidade dos dados medidos em estações automáticas têm sido implementadas pelo CIMIS (Califórnia Irrigation Management Information System).

Sem dúvida, a agricultura é uma das atividades que pode se beneficiar dos vários avanços tecnológicos alcançados pelo homem. A aplicação mais notória e talvez a pioneira da evolução digital na área agrícola é a automação da medição de dados agrometeorológicos, que passou de um processo manual rudimentar, com amostragens discretas e susceptíveis a diversos tipos de falhas, para um sistema de medida totalmente automatizado, que oferece o registro contínuo de dados com extrema confiabilidade. Desde então, os trabalhos que utilizam o monitoramento automático de sensores no campo têm contribuído não somente para o aumento da produtividade, mas também para a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas e para a preservação do meio ambiente. Em Howell et al. (1984), estações climatológicas automatizadas fornecem dados para o controle de irrigação. O controle de pragas (Hubbard et al., 1983), previsão de geadas (Curry et al., 1981) e previsão de enchentes (Sargent, 1986) são exemplos de aplicações onde estações climatológicas automatizadas estão presentes. Além dos dados climatológicos, parâmetros do solo, como umidade, salinidade, pH e temperatura, bem como parâmetros das plantas, como crescimento, porcentagem de cobertura, taxa de fotossíntese e transpiração, são alguns exemplos de dados adquiridos automaticamente para diversas finalidades. Cockerham & Ortega (1989) relataram que uma rede de onze estações foi instalada para monitorar o potencial mátrico de água no solo, temperatura, condições de vento e o nível de reservatórios de água, a fim de controlar um sistema de irrigação e também fazer a previsão de

geadas em uma estação experimental. Grismer (1992) propôs um modelo conceitual de uma rede de sensores integrados para o sistema solo-planta-atmosfera. Collado & Toledo (1997) mostraram os procedimentos adotados para definir os locais para instalação de 400 estações climatológicas automatizadas e 10 observatórios meteorológicos no México, possibilitando pesquisas com uma rede com transmissão via satélite. Utilizando-se de uma estação meteorológica automatizada e de um lisímetro de pesagem, Azevedo et al. (1999) compararam a evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith. Catellvi et al. (2001) compararam métodos para aplicação da equação de Priestley-Taylor em escala regional. Para esse estudo, utilizaram 11 estações meteorológicas automatizadas. Com dados obtidos de uma estação meteorológica automatizada da marca Campbell Scientific, Turco (2002) estudou a influência de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. Vescove et al. (2005) compararam três métodos de estimativa da ETo em relação ao método de Penman-Monteith. Os dados meteorológicos necessários para o cálculo da ETo foram coletados por uma estação meteorológica automatizada da marca Davis Instruments. Silva et al. (2006) estudaram a variabilidade dos componentes do balanço hídrico de uma cultura de café no Brasil. Para esse estudo utilizaram uma estação meteorológica automatizada.

É escassa a literatura que trata do estudo de avaliação de estações meteorológicas automatizadas. Portanto, deve-se realizar estudos dessa natureza, pois há a necessidade de ser verificada a confiabilidade dos dados gerados por essas estações. O objetivo deste trabalho foi comparar os dados meteorológicos e estimativas de ETo de estações meteorológicas automatizadas da marca Davis Instruments e Campbell Scientific e avaliar a integridade dos dados meteorológicos das duas estações.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, situada a 21°14'05" de latitude Sul, 48°17'09" de longitude Oeste e altitude de 613,68 m. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa. Na área experimental foi plantada grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), cobrindo totalmente o solo, onde foram efetuadas irrigações para manter o solo em boas condições hídricas.

Para a obtenção dos dados meteorológicos, foram instaladas na área experimental duas estações meteorológicas automatizadas, uma da marca Davis Instruments e a outra da marca Campbell Scientific.

As estações foram instaladas na área experimental em 12 de abril de 2005. A partir de 13 de abril, os dados começaram a ser memorizados de 15 em 15 minutos, no sistema de aquisição das duas estações.

A estação automatizada da Campbell Scientific possui os seguintes sensores: temperatura e umidade relativa do ar, modelo HMP45C Vaisala; velocidade do vento, modelo 03001 RM Young Co; radiação solar global, modelo CM3 Kipp & Zonen; saldo de radiação, modelo NR LITE Kipp & Zonen. A estação automatizada da Davis Instruments possui os seguintes sensores: temperatura e umidade relativa do ar, modelo 7859; velocidade do vento, modelo 7911; radiação solar global, modelo 6450; todos da marca Davis Instruments. Nas duas estações, os sensores de radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar foram colocados a 1,5 m acima da superfície gramada e os sensores de velocidade do vento, a 2 m da superfície gramada.

As determinações diárias da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), por meio das duas estações meteorológicas, foram feitas para o período de 13 de abril de 2005 a 31 de março de 2006, nas condições climáticas de Jaboticabal –SP, utilizando-se o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

Para o cálculo da evapotranspiração potencial, Allen et al.(1998) propuseram a seguinte equação:

$$ET_{o(PM)} = \frac{0,409 \Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right) V (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 V)}$$

na qual,

ET<sub>o(PM)</sub> = evapotranspiração de referência pelo método de PM, em gramado, mm d<sup>-1</sup>;

R<sub>n</sub> = radiação líquida, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;

G = fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;

T = temperatura média do ar, °C;

V = velocidade média do vento a 2m de altura, m s<sup>-1</sup>;

(e<sub>s</sub>-e) = déficit de pressão de vapor, kPa;

Δ = tangente à curva de pressão de vapor em relação a temperatura, kPa °C<sup>-1</sup>;

γ = coeficiente psicrométrico, kPa °C<sup>-1</sup>;

900 = fator de conversão.

A constante psicrométrica foi calculada por meio das equações de Smith (1990).

A comparação dos dados meteorológicos e estimativas de ET<sub>o</sub> foi feita para o período diário, utilizando-se análise de regressão e considerando o modelo linear  $y = a + bx$ , em que a variável dependente foi a dos dados obtidos na estação meteorológica da marca Campbell Scientific, enquanto os dados obtidos na estação meteorológicos da marca Davis Instruments foram a variável independente.

Para ser avaliada, nas duas estações, a integridade dos dados meteorológicos para estimativa diária da ET<sub>o</sub> foi aplicada uma técnica descrita por Allen et al. (1996). Os dados meteorológicos avaliados foram radiação solar global, saldo de radiação, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica. Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos nas estações meteorológicas automáticas e convencional (Estação Agroclimatológica do Departamento de Ciências Exatas, da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, SP). A seguir, é mostrada resumidamente a técnica descrita por Allen et al. (1996). Neste trabalho, pode-se obter informações detalhadas das expressões da técnica descrita.

## RADIAÇÃO SOLAR

### Comparações de Céu Limpo

A operação do piranômetro e a precisão da calibração podem ser avaliadas pela delineação (plotagem) de hora em hora ou pela média diária das leituras do piranômetro contra as radiações de ondas curtas esperadas computadas sob condições de céu limpo (R<sub>so</sub>). R<sub>so</sub> pode ser descrita como:

$$R_{so} = K_T R_a \quad (1)$$

na qual,

R<sub>a</sub> = radiação extraterrestre;

$K_T$  = índice de “claridade”.

A  $R_a$  pode ser computada por períodos diários ou de hora em hora como uma função da latitude, dia do ano e hora do dia. Para dados de 24 horas, o  $K_T$  pode variar de 0,7 a 0,8; dependendo da claridade atmosférica (poeira em suspensão no ar, poluição, umidade, etc.), elevação e ângulo solar.

Uma simples previsão para o  $K_T$ , onde apenas a elevação do local é considerada, pode ser determinada pela equação:

$$K_T = 0,75 + (2E - 5)z \quad (2)$$

na qual,

$z$  = elevação da estação (m).

A equação (2) foi desenvolvida para uma média do ângulo solar de 45° acima da linha do horizonte.

Estimativas aperfeiçoadas da  $R_{s0}$  para períodos ou dias com baixos ângulos solares podem ser feitas utilizando-se a seguinte equação:

$$K_T = \exp \left( \frac{-0,0018P}{K_{tb} \sin \Phi} \right) \quad (3)$$

na qual,  $K_{tb}$  = coeficiente de claridade,  $0,5 < K_{tb} \leq 1,0$ , onde  $K_{tb} = 1,0$  para condições de ar limpo e 0,5 para extremamente turbido ou pardo. Geralmente,  $K_{tb}$  é tomado como 1,0 para prever o limite mais alto de  $K_T$  para a maioria das áreas agrícolas. A variável  $P$  significa pressão atmosférica (kPa), e  $\Phi$  = o ângulo solar acima do horizonte (rad).

Uma porção da absorção ou a dispersão da radiação de luz direta na atmosfera é causada pelo vapor de água (radiação de luz direta é definida aqui como a densidade de fluxo de radiação de onda curta vinda diretamente do feixe de luz solar, incidente em um plano paralelo da superfície da terra. Radiação difusa é definida aqui como a densidade de fluxo de radiação de onda curta vinda da dispersão da luz solar). A função  $K_T$  pode ser melhorada incluindo a água precipitável como variável. A função  $K_B$  prediz o índice de claridade para radiação de luz direta, sob condições de céu limpo com baixa turbidez.

$$K_B = 0,98 \exp [- 0,00146P / K_{tb} \sin \Phi - 0,162 (W / \sin \Phi)^{0,25}] \quad (4)$$

na qual,

$P$  = pressão atmosférica (kPa);

$W$  = água precipitável na atmosfera, em cm.

$W$  pode ser calculado utilizando a seguinte equação:

$$W = 0,014e_dP + 0,21 \quad (5)$$

na qual,

$e_d$  = pressão de vapor próxima à superfície (kPa).

Um índice de radiação difusa,  $K_D$ , pode ser estimado de  $K_B$ , usando as seguintes expressões:

$$\begin{aligned} K_D &= 0,35 - 0,33K_B && \text{para } K_B \geq 0,15 \\ K_D &= 0,18 + 0,82K_B && \text{para } K_B < 0,15 \end{aligned} \quad (6)$$

Quando as equações (4) e (6) são utilizadas, o índice de claridade é calculado como a soma de  $K_B$  e  $K_D$ .

$$K_T = K_B + K_D \quad (7)$$

Para períodos de hora em hora ou mais curtos, o  $\sin \Phi$  nas equações (3) e (4) é calculado como:

$$\sin \Phi = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (8)$$

na qual,

$\varphi$  = latitude da estação (rad);

$\delta$  = declinação solar (rad);

$\omega$  = ângulo de tempo solar (rad).

Para aplicação das equações (3) e (4) para dados fixados de 24 horas ou mensais, uma média de 24 horas ponderada, do  $\sin \Phi$  pode ser estimada por ponderação instantânea de  $\sin \Phi$ , de acordo com a  $R_a$  instantânea, durante o curso do dia. O resultado integrado e médio é

$$(\sin \Phi)_{24} = \{ \sin^2 \varphi \sin^2 \delta \omega_s + 2 \sin \varphi \sin \delta \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \cos^2 \varphi \cos^2 \delta [\omega_s/2 + \sin(2 \omega_s)/4] \} / (\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s) \quad (9)$$

na qual,

$\omega_s$  = ângulo do horário do pôr-do-sol.

Uma simplificação da equação (9) determinada por regressão é

$$(\sin \Phi)_{24} = \sin [0,85 + 0,3 \varphi \sin (2\pi / 365 J - 1,39) - 0,42 \varphi^2] \quad (10)$$

na qual,

$J$  = dia do ano (1 a 365);

$\varphi$  = latitude em graus radianos.

A equação (10) estima  $(\sin \Phi)_{24}$  com um padrão de erro de estimativa de aproximadamente 4% para períodos da primavera, verão e outono, sobre uma faixa de  $-65$  a  $65^\circ$  latitude e 6% para todos os meses sobre uma faixa de  $-60$  a  $60^\circ$  latitude. Essa precisão é adequada para prever  $K_T$  para períodos de 24h.

## RADIAÇÃO LÍQUIDA

### Comparando medidas de equações de computador

Equação para estimar média horária e de 24h de Radiação Líquida ( $R_n$ ) utilizando medidas de radiação de ondas curtas ( $R_s$ ) são precisas sob a maioria das condições. Contudo, dados de  $R_n$  medidos deveriam sempre ser plotados contra a  $R_n$  estimada utilizando equações baseadas na  $R_s$ , temperatura do ar e pressão do vapor. A maioria dessas equações pode ser aplicada mensalmente, diariamente, a cada hora ou em um pequeno intervalo de tempo.

Se os valores medidos da  $R_n$  frequentemente desviarem dos valores estimados por mais de 3 a 5%, então a calibração ou o funcionamento do aparelho de  $R_n$  (radiômetro) deve ser examinado. Comparando a  $R_n$  calculada com a medida, podemos prontamente apontar dias ou períodos durante os quais o radiômetro teve um mau funcionamento devido a efeitos de

sujeira, dejetos de pássaros, condensação da umidade dentro dos domos, perda de uniformidade ou perda de vegetação abaixo do sensor.

## **UMIDADE DO AR**

Sensores eletrônicos de umidade relativa são comumente importunados por histereses, deslinearidade e erros de calibração. Alguns desses erros são herdados nos desenhos dos sensores. Outros resultam da poeira, umidade, insetos, poluição e idade.

### **Duplicação dos instrumentos de UR**

É fortemente recomendado que sensores duplos de umidade relativa (UR) e de temperatura do ar sejam empregados em estações climáticas eletrônicas. Esta prática é cara, mas pode evitar despesas com tempo, para reparo de defeitos e preocupações que diz respeito à integridade dos dados de UR, e é de custo relativamente pequeno quando comparado ao valor de dados climáticos utilizados no calendário e projeto de irrigação em planejamento e modelos de recursos hídricos e no estudo do aquecimento global. Quando sensores duplos de UR (e temperatura do ar) produzem sinais similares, então é provável que ambos estejam funcionando apropriadamente desde que equações de calibração adequadas estejam sendo empregadas. Diferenças significantes entre sensores deveriam sinalizar algum tipo de problema com um ou ambos os sensores.

### **Umidade relativa diária máxima**

Quando dados da umidade são medidos em um lugar de referência (em cima da grama aparada bem regada a qual esta ativamente transpirando), UR no início da manhã irá sempre se aproximar de 100%, mesmo em áreas semi-áridas se os registros forem tomados dentro de uma região irrigada. Valores de umidade relativa máxima (UR<sub>max</sub>) abaixo de 80 a 90% indicam problemas na calibração do sensor de UR ou funcionamento ou indicam aridez no local da medida e divergência das condições de referência.

## **VELOCIDADE DO VENTO**

Precisão nas medições do vento é difícil de obter a menos que sejam utilizados instrumentos duplicados. Deve-se sempre sondar registros de ventos para a presença constante de registros de ventos baixos. Para instrumentos eletrônicos, esses registros podem representar um “desvio” numérico na equação de calibração do anemômetro o qual tem a intenção de representar uma fricção giratória constante e a entrada giratória inicial do instrumento. O registro consistente desses desvios indica tanto a presença de condições excepcionalmente calmas [velocidade do vento menor do que  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  durante o período inteiro de amostragem (o qual é raro)] ou o mau funcionamento do sensor de velocidade do vento devido a curto circuito elétrico ou fadiga dos procedimentos. Esses problemas podem não ser notados pelo operador da estação.

Quando à checagem em pares dos anemômetros não são disponíveis, pode ser utilizado um tipo de abordagem de balanço de massa onde o vento cumulativo que corre para o anemômetro é plotado contra o vento cumulativo que corre para uma estação por perto. A tendência em inclinar-se entre as duas acumulações não deveria mudar ao longo do tempo.

## TEMPERATURA DO AR, PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

### Técnicas de “Análise de Massa Dupla”

Todos os registros meteorológicos podem ser periodicamente comparados a registros de estações vizinhas para estimar se mudança no funcionamento do equipamento e calibração ocorreu através do tempo. Uma técnica que é utilizada para essa proposta é a técnica da análise da massa dupla onde somas acumulativas de um parâmetro em duas localidades são plotados um contra o outro (por exemplo, vento acumulativo no local 1 versus vento acumulativo no local 2). Uma mudança na inclinação da curva acumulativa em um período de tempo pode indicar uma mudança no funcionamento e calibração em um dos instrumentos.

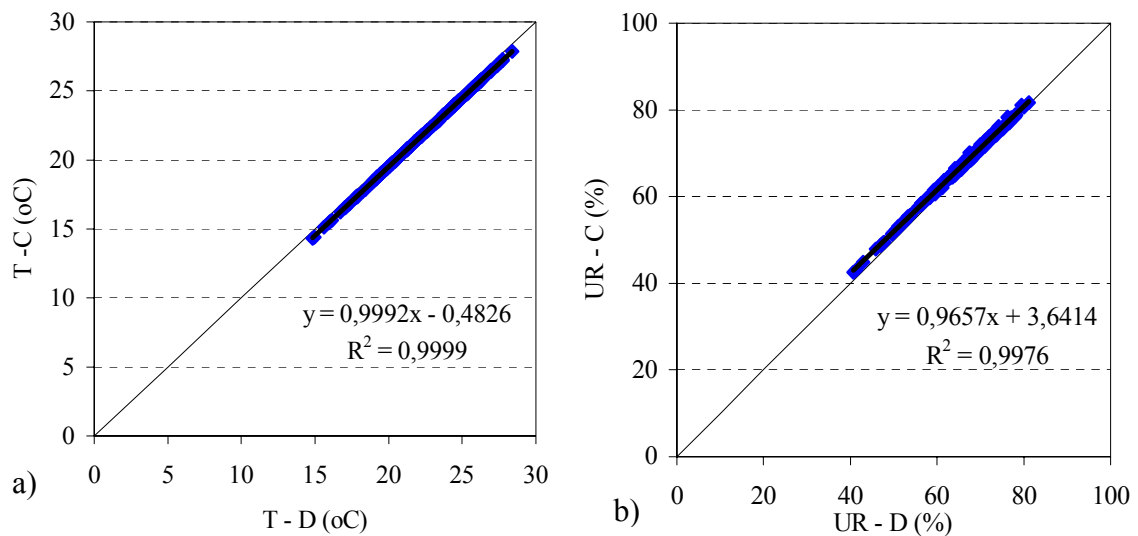
Essa técnica é comumente utilizada em hidrologia para avaliar os efeitos da mudança em locais, ou operações dos níveis de precipitação, ou níveis do fluxo da correnteza, ou para estimar valores que estão faltando.

A proximidade requerida de duas estações para serem comparadas é dependente da variável meteorológica. Radiação solar e radiação líquida sob vegetação similar deveriam se correlacionar bem sob distâncias de centenas de km em áreas não montanhosas. Umidade relativa (ou pressão do vapor computada) e temperatura do ar deveriam se correlacionar bem sob distâncias acima de 100 km, desde que estas mudanças na topografia ou clima não sejam abruptas e que a vegetação geral e a aridez das duas localidades sejam similares. As velocidades do vento são as menos prováveis de se correlacionar sob longas distâncias devido a efeitos locais do lugar os quais podem mudar com a direção do vento, e devido a diferenças dos climas locais e padrões frontais e atrasos de tempo associados. Contudo, em base semanal ou mensal, as correlações podem ser fortes.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

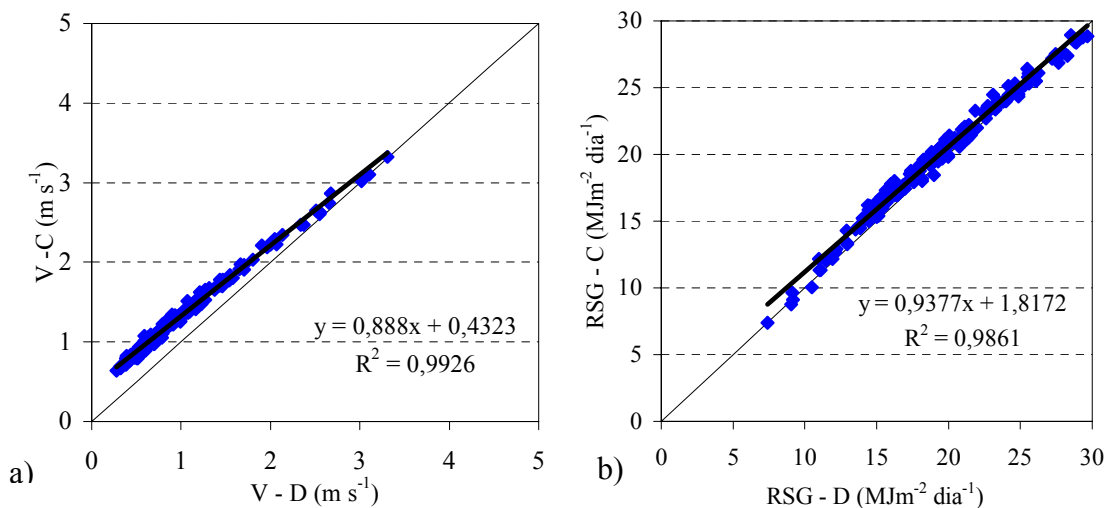
As Figuras 1a, 1b, 2a, 2b, e 3 mostram as relações dos valores diários obtidos pela estação da marca Campbell Scientific e os obtidos pela estação da marca Davis Instruments. Essas comparações fornecem a base para avaliar os dados obtidos pela estação da Campbell em relação aos obtidos pela estação da Davis. Se os dados obtidos na estação da Campbell forem semelhantes aos obtidos pela estação da Davis, a linha de regressão deveria sobrepor-se à reta  $y = x$ , e os pares de pontos deveriam estar próximos à linha de regressão. Se a linha de regressão estiver afastada da reta  $y = x$ , e os pares de pontos estiverem próximos à linha de regressão, isso significa que os dados obtidos pela estação da Davis apresentam uma diferença aceitável em relação aos obtidos pela estação da Campbell, ou seja, a equação pode ser utilizada com precisão para fazer a correção dos dados obtidos na estação da Davis em relação aos obtidos na estação da Campbell.

As Figuras 1a e 1b mostram que a linha de regressão tende a sobrepor-se à reta  $y = x$  e os pares de pontos estão próximos à linha de regressão, ou seja, os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, das duas estações, são semelhantes.



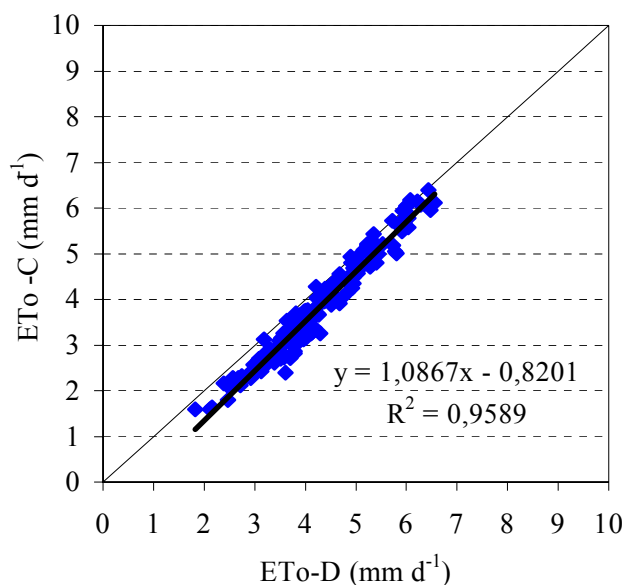
**Figura 1.** Regressão linear entre valores médios diários da temperatura do ar (a), em °C, e entre valores médios de umidade relativa (b), em %, obtidos na estação da marca Campbell Scientific, em relação aos obtidos na estação da marca Davis Instruments.

Verifica-se, na Figura 2<sup>a</sup>, que a linha de regressão obtida pelos dados da Davis em relação aos dados da Campbell subestimam a velocidade do vento para valores inferiores a média e tendem a superestimar aqueles superiores, no período analisado. Ainda analisando a Figura 2a, observa-se que não ocorre dispersão dos pares de pontos ao redor da linha de regressão, expressando uma boa equação de correlação, confirmado pelo valor do coeficiente de determinação  $R^2$  (0,9926). Observa-se, na Figura 2b, que ocorre pequena dispersão dos pares de pontos ao redor da linha de regressão, verificado-se, também, que a linha de regressão está próxima da reta  $y = x$ .



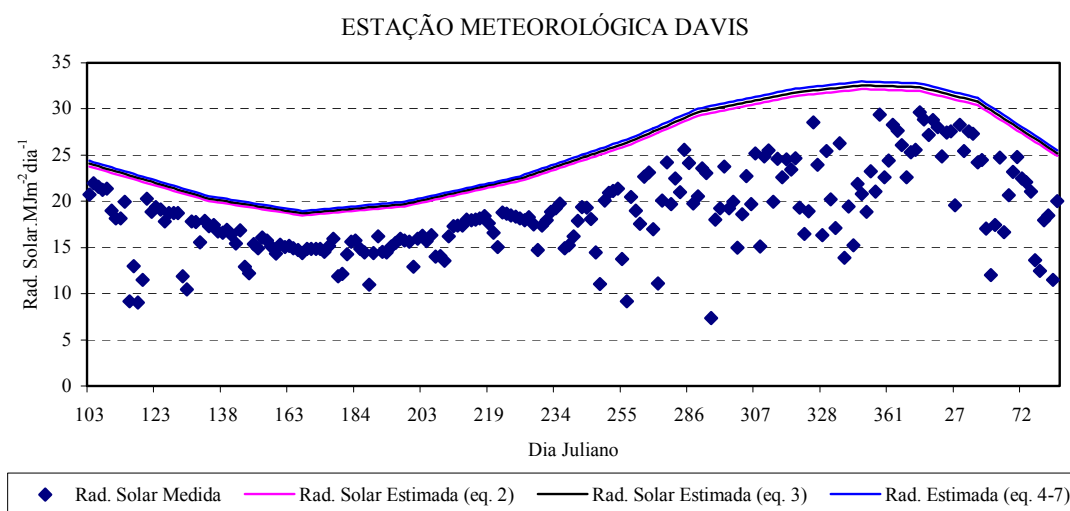
**Figura 2.** Regressão linear entre valores médios diários da velocidade do vento (a), em  $\text{m s}^{-1}$ , e entre valores totais da radiação solar global (b), em  $\text{MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , obtidos na estação da marca Campbell Scientific, em relação aos obtidos na estação da marca Davis Instruments.

Nota-se, na Figura 3, que a linha de regressão obtida pelos dados da Davis em relação aos dados da Campbell superestimaram a ETo. Verifica-se, também, que ocorre pequena dispersão dos pares de pontos ao redor da linha de regressão.

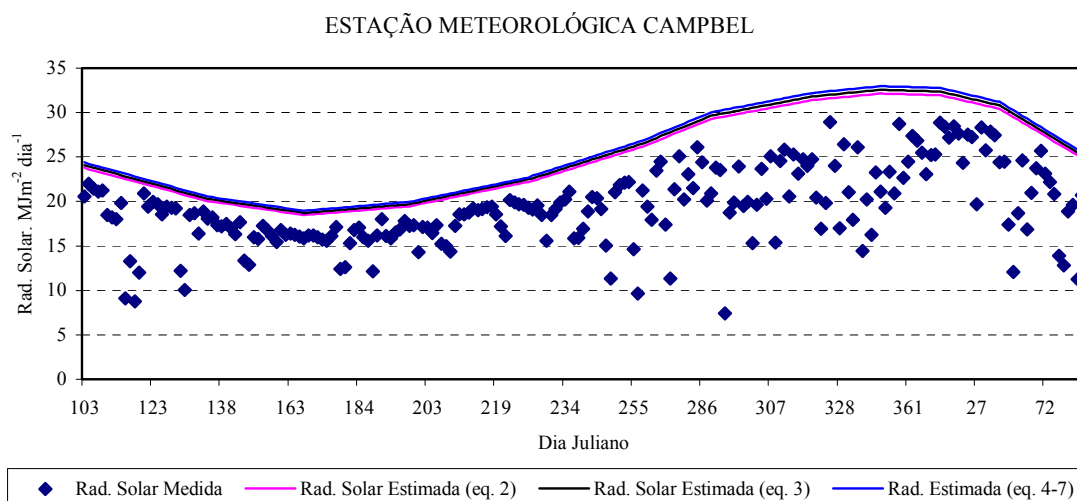


**Figura 3.** Regressão linear entre valores diários da evapotranspiração de referência (ETo), em  $\text{mm dia}^{-1}$ , estimados com dados obtidos na estação da marca Campbell Scientific, segundo o método de Penman-monteith (PM), em relação aos valores diários da ETo, estimados pela estação da marca Davis Instruments.

As Figuras 4 e 5 mostram que a radiação solar para dias de céu limpo, estimada pelas três equações, segue e superestima radiação solar medida pelas duas estações meteorológicas. Portanto, os dados de radiação solar obtido pelas duas estações são de boa qualidade.

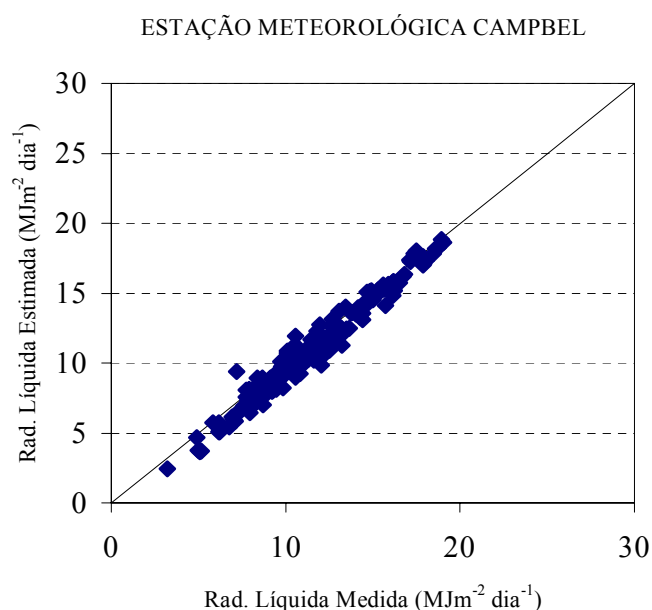


**Figura 4.** Radiação solar medida (Estação Meteorológica da Marca Davis Instruments) e Rso estimada por três equações.



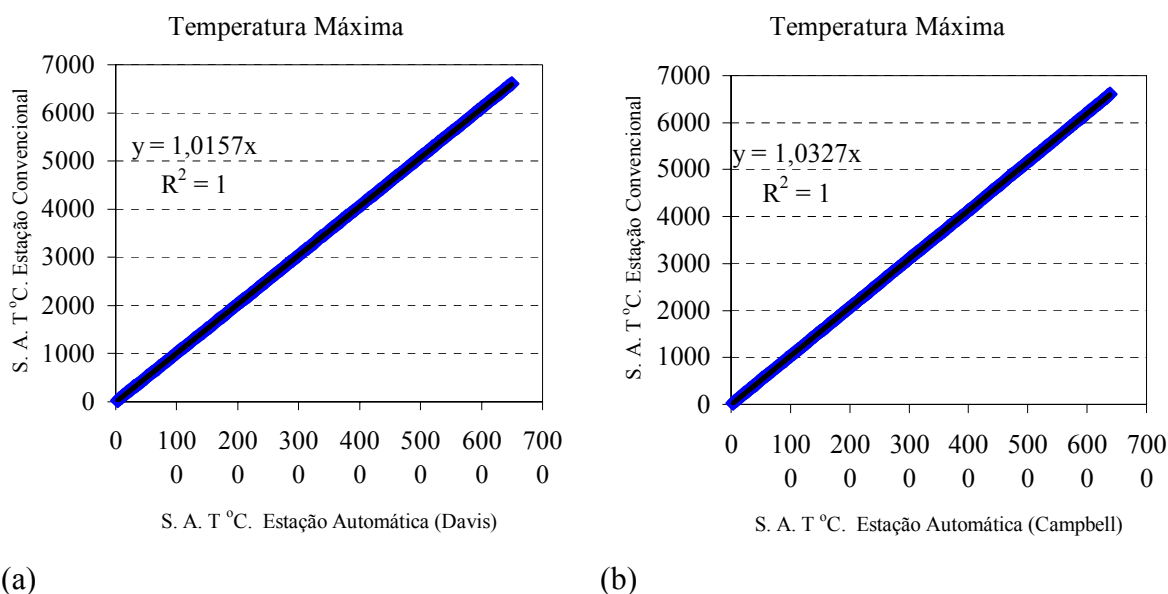
**Figura 5.** Radiação solar medida (Estação Meteorológica da Marca Campbell Scientific, Inc.) e Rso estimada por três equações.

Observa-se, na Figura 6, os dados de radiação líquida medida pela Estação Meteorológica da Marca Campbell Scientific, Inc. e estimada pela equação de Wright (1982). A concordância entre os dados medidos e estimados foi boa. Portanto, os dados de radiação líquida obtida pela estação citada são de boa qualidade.

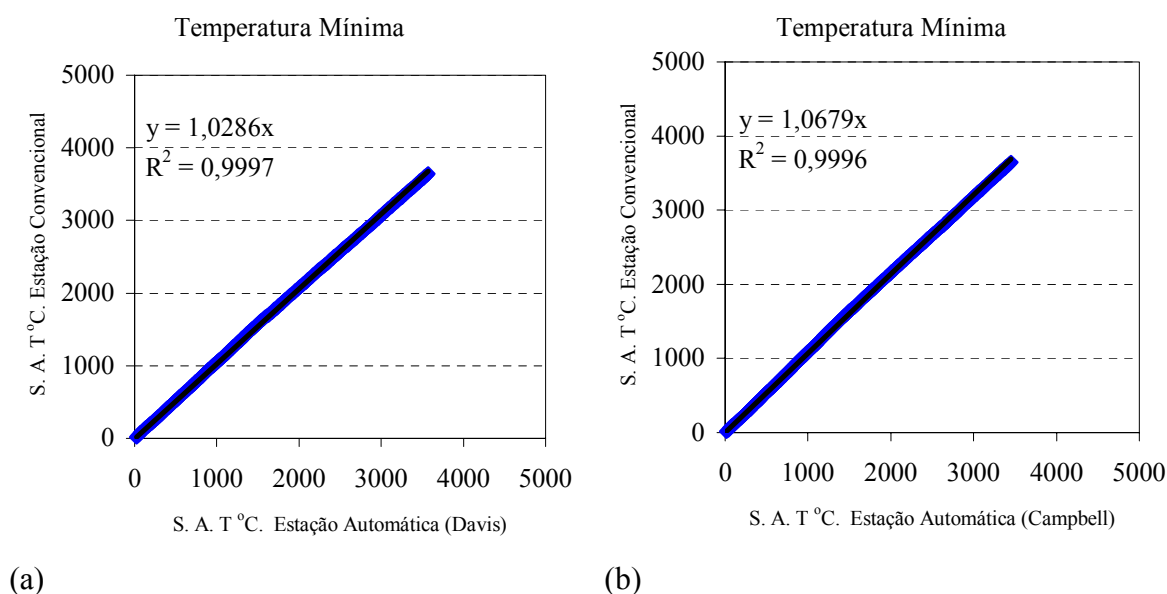


**Figura 6.** Radiação líquida medida (Estação Meteorológica da Marca Campbell Scientific, Inc.) e estimada.

Nota-se, nas Figuras 7a, 7b, 8a e 8b, os registros de temperatura máxima e mínima das estações meteorológicas da marca Campbell Scientific, Inc e Davis Instruments, sendo comparados aos valores obtidos da estação convencional, na forma acumulativa, segundo a técnica da análise de massa dupla. A inclinação da reta apresentada nos gráficos de praticamente  $45^\circ$  indica uma boa estimativa dos dados.

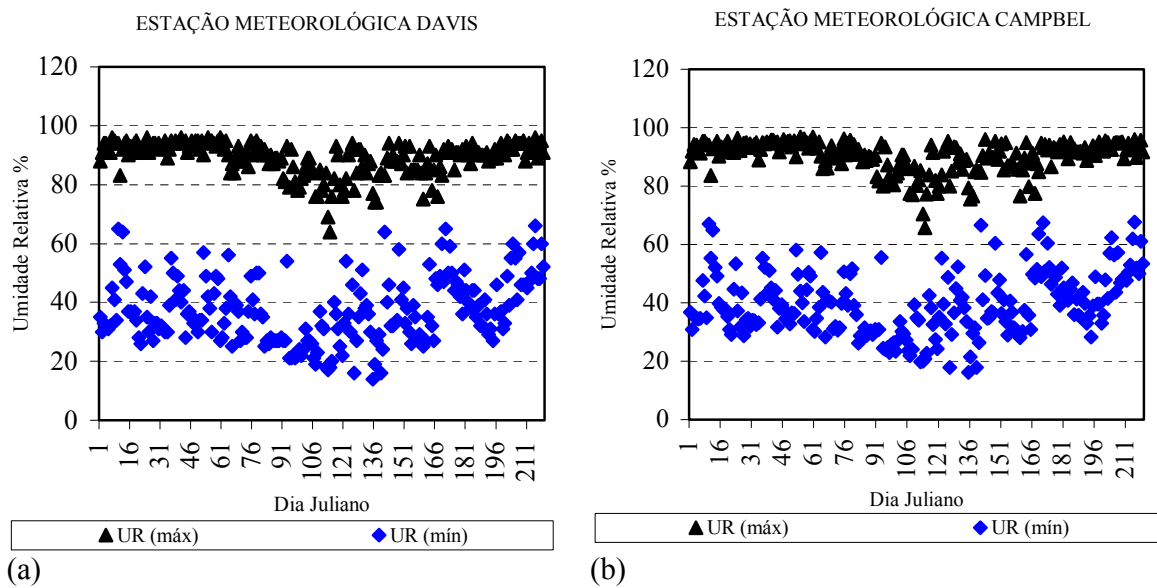


**Figura 7.** Soma acumulativa da Temperatura Máxima das estações meteorológicas da marca Campbell Scientific, Inc e Davis Instruments.



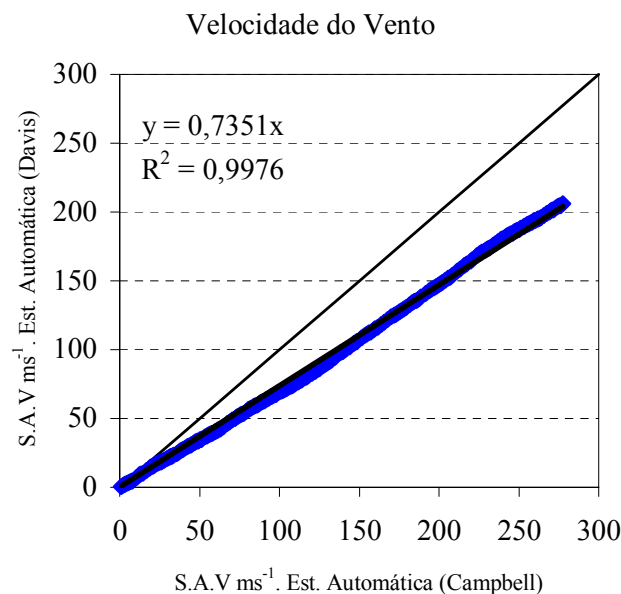
**Figura 8.** Soma acumulativa da Temperatura Mínima das estações meteorológicas da marca Campbell Scientific, Inc e Davis Instruments.

Esperavam-se valores de UR máxima (Figuras 9a e 9b) constantemente acima de 90%, mesmo durante o período seco, incluindo-se meses em que a precipitação foi praticamente zero, uma vez que as estações estão instaladas em uma área irrigada. Nota-se que não existem valores acima de 100%, o que é comum para esses tipos de instrumentos de medida durante as primeiras horas da manhã ou durante precipitações. Nota-se, também, que existem valores abaixo de 80 a 90%, indicando assim a necessidade recalibração dos sensores das duas estações.



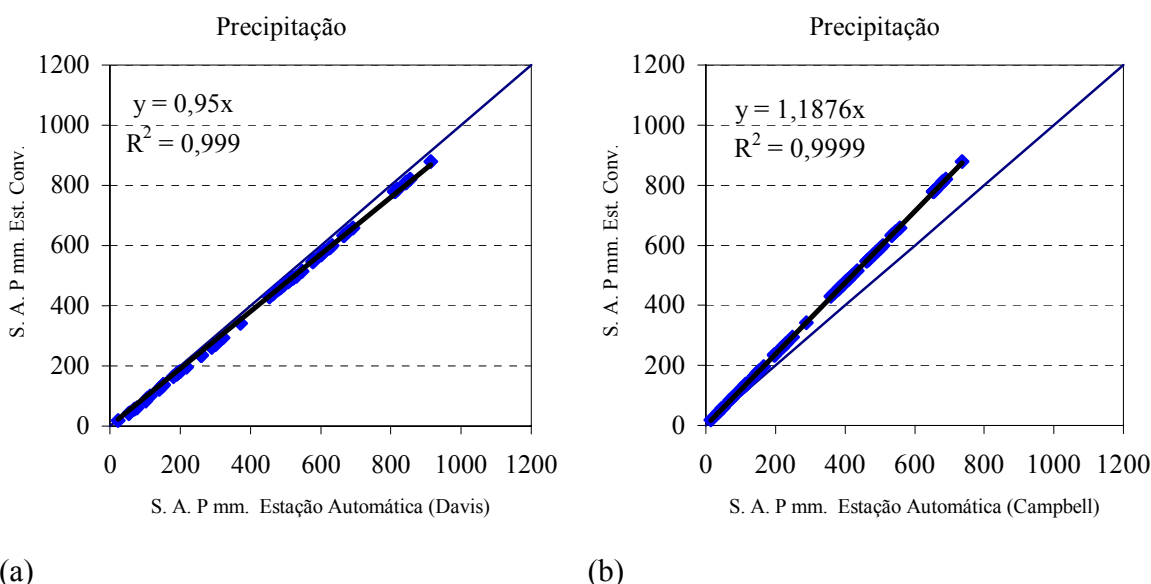
**Figura 9.** Valores diários da Umidade Relativa Máxima e Umidade Relativa Mínima das estações meteorológicas da marca Campbell Scientific, Inc e Davis Instruments.

Verifica-se, na Figura 10, os registros de velocidade do vento das estações meteorológicas, sendo comparados os valores na forma acumulativa segundo a técnica da análise de massa dupla. A inclinação da reta apresentada nos gráficos diferente de  $45^\circ$  não indica uma boa semelhança dos dados por parte dos instrumentos de medidas. O ideal é que esses dados fossem comparados aos valores obtidos da estação convencional. Isso não foi possível, pois o anemômetro da estação convencional está quebrado. Provavelmente, a diferença dos valores obtidos na forma acumulativa dos anemômetros é devido ao offset utilizado na programação das estações. A Campbell utiliza um offset de  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  e o da Davis de  $0,0 \text{ m s}^{-1}$ .



**Figura 10.** Soma acumulativa da Velocidade do Vento das estações meteorológicas da marca Campbell Scientific, Inc e Davis Instruments.

As Figuras 11a e 11b mostram os registros de precipitação das estações meteorológicas da marca Campbell Scientific, Inc e Davis Instruments, sendo comparados aos valores obtidos da estação convencional, na forma acumulativa, segundo a técnica da análise de massa dupla. A inclinação da reta apresentada na Figura 11<sup>a</sup>, de praticamente 45°, indica uma boa estimativa dos dados pela estação da Davis. A inclinação da reta apresentada na Figura 11b, diferente de 45°, não indica uma boa estimativa dos dados pela estação da Campbell, indicando assim a necessidade recalibração do sensor.



**Figura 11.** Soma acumulativa da Precipitação das estações meteorológicas da marca Campbell Scientific, Inc e Davis Instruments.

## 6 CONCLUSÕES

Análise dos Resultados, utilizando-se análise de regressão linear, nas condições do desenvolvimento deste trabalho, levam a concluir que os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar das duas estações foram semelhantes. Porém, os dados de radiação solar e velocidade do vento e estimativas diárias da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) apresentam diferenças aceitáveis.

Aplicando a técnica que verifica a integridade dos dados meteorológicos, dentro do período considerado, verificou-se que os dados de radiação solar global e temperatura do ar das duas estações foram de boa qualidade. Os dados de saldo de radiação da estação da Campbell e precipitação da Davis também foram de boa qualidade. Já, os dados de umidade relativa das duas estações e de precipitação da Campbell não foram de boa qualidade. O teste da análise acumulativa não mostrou uma boa correlação entre os dados de velocidade do vento das duas estações.

## 7 AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo auxílio concedido.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 2, p. 97-106, 1996.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and drainage paper, 56).

AZEVEDO, B. M. et al. Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 10, n. 2, p. 15-27, 1999.

BAUSCH, W. C. Sensor height effects on calculated reference evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, p. 791-798. 1990.

CASTELLVI, F. et al. Comparison of methods for applying the Priestley-Taylor equation at a regional scale. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 15, n. 9, p. 1609-1620, 2001.

CALIFÓRNIA IRRIGATION MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM. **Produtos**. Disponível em: < <http://www.montecitowater.com/Cimis.htm> >. Acesso em: 28 jan. 2008.

COCKERHAM, S. T.; ORTEGA, T. R. Remote data acquisition for agricultural experiment station management. **Applied Agricultural Research**, New York, v. 4, n.2, p. 144-147, 1989.

COLLADO, J.; TOLEDO, V. Optimal location of climatological stations and meteorological observatories in Mexico, Cidade do México, **Ingenieria Hidraulica En Mexico**, v. 12, n. 1, p. 47-64, 1997.

CURRY, R. et al. **Development of an automated weather station network in Ohio**. St. Joseph: ASAE, 1981. (ASAE Paper, 81-4502).

GRISMER, M. E. Field sensor networks and automated monitoring of soil water sensors. **Soil Science**, Baltimore, v. 154, n. 6, p. 482-489, 1992.

HOWELL, T. A. et al. Automated weather data collection for research on irrigation scheduling. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 27, n. 2, p.386-391, 1984.

HUBBARD, K. G.; ROSENBERG, N. J.; NIELSEN, D. C. Automated weather data network for agriculture. **Journal of Water Resources Planning and Management**, New York, n. 109, p. 213-222, 1983.

SARGENT, R. J. Telemetry for a flood prevention scheme. **Water Pollution Control**, London, v. 85, n. 2, p. 153-159, 1983.

SILVA, A. L. et al. Variabilidade dos componentes do balanço hídrico de uma cultura de café no Brasil. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 2, p. 105-114, 2006.

SMITH, M. et al. **Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome: FAO, 1990. 59 p.

TURCO, J. E. P. **Influência da acurácia de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (*E<sub>T0</sub>*)**. 2002. 85 f. Dissertação (Livre Docência em Eletrificação Rural)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara - SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

WRIGHT, J. L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 108, n. 2, p. 57-74, 1982.