

ISSN 0104-1347

Utilização do evaporímetro de Piche exposto à radiação solar para estimar a evapotranspiração máxima do pimentão em estufa plástica¹

Using an unshielded Piche evaporimeter to estimate maximum evapotranspiration of sweet pepper in plastic greenhouse

Arno Bernardo Heldwein², Genei Antonio Dalmago³, Luciano Streck³, Ivonete Fátima Tazzo⁴ e Gustavo Trentin⁴

Resumo - Na busca de uma alternativa simples e prática de determinação da necessidade de irrigação de espécies cultivadas em estufas plásticas, avaliou-se a relação entre a evapotranspiração máxima (ETm) por unidade de índice de área foliar (ETmf) da cultura do pimentão e a evaporação em um evaporímetro de Piche exposto à radiação solar (Epi), ambas no interior de uma estufa plástica. A ETm foi determinada com lisímetros de drenagem e a evapotranspiração máxima horária (ETmh), através de um minilímetro de balança. O evaporímetro de Piche foi instalado sobre uma fileira de plantas, à 1,5m acima do solo. A Epi e a ETmf diária apresentaram alta correlação entre si ($r^2 = 0,78$). As maiores diferenças entre essas variáveis foram observadas em dias com alta demanda hídrica atmosférica. O ajuste entre os valores horários de Epi e ETmh foi mais elevado ($r^2 = 0,94$) do que para os valores diários. A Epi medida com evaporímetro de Piche exposto à radiação solar mostrou ser adequada para a estimativa da ETmf ou ETmh da cultura de pimentão em estufa plástica.

Palavras-chave: *Capsicum annuum*, evaporímetro de Piche, evapotranspiração máxima, estufa plástica, transpiração.

Abstract - The goal of this study was to search for a simple and practical approach to estimate water requirements of plants grown inside plastic greenhouses. Relationship between maximum evapotranspiration (ETm) per unit leaf area (ETmf) and the rate of evaporation measured by a Piche evaporimeter exposed to solar radiation (Epi) were adjusted. The ETm at hourly (ETmh) and daily scales (ETmf) were measured by draining lysimeters and weighting lysimeters, respectively. The Piche evaporimeter was placed at 1.5m height over the top of a row of plants. Daily Epi and ETmf values fitted well on a linear model, with a high coefficient of determination ($r^2=0.78$). Greater differences between Epi and ETmf were observed in days with atmospheric favorable condition for high evaporation. Data adjustment between hourly values of Epi and ETmh was higher ($r^2=0.94$) than for daily values ($r^2=0.78$). The Epi measurement by an unshielded Piche evaporimeter could be used to estimate ETmf and ETmh in sweetpepper crops grown inside plastic greenhouses.

Key words: *Capsicum annuum*, Piche evaporimeter, maximum evapotranspiration, plastic greenhouse, transpiration.

Introdução

O evaporímetro de Piche normalmente é instalado pendurado ao teto no interior do abrigo meteorológico. Nesta condição, a evaporação que ocorre na sua superfície (Epi) é consequência do déficit

de saturação do ar e, em menor escala, da velocidade do vento (PAPAIOANNOU et al., 1996). A evaporação medida com o evaporímetro de Piche (Epi) por isso não simula adequadamente a transpiração de folhas, pois esta é também uma função da densidade de fluxo de radiação solar global incidente e da resis-

¹Trabalho financiado pela FAPERGS e pela Petroquímica Triunfo S. A.

²Prof. Tit., Dr., Depart. de Fitotecnia – UFSM, 97105-900 Santa Maria-RS, heldwein@creta.ccr.ufsm.br, bolsista CNPq

³Eng. Agr., Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFSM, bolsista do CNPq.

⁴Aluno do Curso Graduação em Agronomia, UFSM, bolsista BIC/FAPERGS.

tência estomática e cuticular ao fluxo de vapor d'água e não somente da difusividade e fluxo turbulento do ar (WARING & HERMANN, 1966).

A superfície de papel de 13,2cm², na qual ocorre a evaporação no evaporímetro de Piche, quando exposta a radiação solar direta, atenua suas diferenças em relação à uma folha. Neste caso, além do poder evaporante do ar, condicionado pelo déficit de saturação, temperatura e velocidade do fluxo do ar, a *Epi* resulta também da densidade de fluxo de radiação solar direta incidente sobre a superfície de papel. Uma vez que a superfície evaporante é simétrica à qualquer direção horizontal do vento (PAW U & GUEYE, 1983) e, apresenta ainda espessura similar a de uma folha, possibilita obter resultados de evaporação mais próximos do potencial de transpiração da planta do que um tanque de evaporação. A utilização da *Epi* como indicativo da evapotranspiração máxima (*ETm*) de espécies cultivadas no interior de estufas, se baseia no fato de que os dois processos são regidos pelos mesmos princípios físicos de mudança de estado da água e pelos mesmos elementos meteorológicos.

Neste trabalho objetivou-se determinar a relação da evapotranspiração máxima por unidade de índice de área foliar (*ETmf*) e da evapotranspiração máxima horária (*ETmh*) da cultura do pimentão com a evaporação medida no evaporímetro de Piche (*Epi*) exposto à radiação solar direta no interior de uma estufa plástica.

Material e métodos

O trabalho foi realizado no período de 15/02 à 02/06/2000 numa estufa plástica de 24m x 10m, com cobertura em forma de arco, localizada junto ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29°43'33"S, longitude: 53°43'15"W e altitude: 95m).

A abertura e fechamento da estufa foi realizada conforme as condições meteorológicas, sendo que nos dias ensolarados a estufa foi aberta no início do dia e fechada ao por do sol. Nos dias frios a abertura das cortinas da estufa ocorreu por volta de 9 horas e o fechamento em torno de 14 horas em dias nublados e cerca de duas horas antes do por do sol em dias límpidos, enquanto que durante a ocorrência de precipitação ou de vento forte, cujas rajadas ultrapassassem 20m.s⁻¹, as mesmas permaneciam fechadas.

A *ETm* média diária do híbrido de pimentão VIDÍ F1 foi determinada em três repetições de lisímetros de drenagem (*LS*), no interior dos quais cinco plantas foram cultivadas, cada uma em oito litros de substrato comercial (VALANDRO *et al.*, 1999) e em oito repetições de minilímetros de drenagem com solo (*ML*), construídos com galões de PVC com capacidade volumétrica útil de 20 litros (DALMAGO, 2001). Uma das repetições de *ML* foi colocada sobre uma balança eletrônica, com capacidade de 50kg (minilímetro de pesagem), para a determinação da evapotranspiração máxima horária (*ETmh*) no período entre 8h e 18h, em vários dias escolhidos ao acaso dentro do período experimental.

Em cada *ML* cultivou-se uma planta, sendo a *ETm* diária o resultado algébrico entre o volume de água irrigado, a variação do volume de água armazenamento no solo, determinado indiretamente a partir do potencial matricial da água no solo medida com um tensiômetro instalado à 0,10m de profundidade, e o volume de água drenado, cuja coleta foi realizada por aplicação de vácuo parcial a um sistema de extratores de cápsula porosa. Em cada *LS* foram cultivadas cinco plantas em sacolas plásticas contendo substrato comercial e a *ETm* diária foi determinada pela diferença entre o volume de solução nutritiva fornecido e drenado em duas irrigações diárias.

O volume de água a ser fornecido em cada irrigação foi determinado com base no potencial da água no solo, medido com tensiômetros instalados a 0,10m de profundidade (entre -0,050 e -0,300kPa), e nas condições meteorológicas previstas para o dia, conforme os critérios adotados por DALSASSO *et al.* (1997). Isso foi adotado tanto para as plantas cultivadas no solo, as quais serviram de bordadura no restante da área da estufa, quanto para aquelas dos *ML*. Nos lisímetros com substrato (*LS*) o critério para a realização das irrigações foi diferente. O fornecimento de solução nutritiva, realizado por volta das 9 horas e 13 horas, foi suspenso cerca de um minuto após o momento em que se iniciava a drenagem de solução na base dos lisímetros.

As plantas foram espaçadas em 1,00m entre fileiras e 0,30m entre si, conduzindo-se a haste mais vigorosa como principal e podando-se as demais hastes, consideradas laterais, após sua primeira bifurcação, ficando estas com 6 a 8 folhas e um a dois frutos. Determinou-se o índice de área foliar (*IAF*) a partir de medidas semanais do comprimento de todas as

folhas de plantas pré selecionadas, o qual foi utilizado para estimar a área foliar de cada folha através de um modelo matemático específico para o pimentão determinado por DALMAGO (2001). O *IAF* foi então calculado pela divisão da soma da área de todas as folhas das plantas pela área de superfície do solo de sua abrangência em cada data de amostragem e interpolado para os demais dias com o auxílio de modelos matemáticos ajustados por DALMAGO (2001) em função do número de dias após o transplante.

A medida diária da *Epi* foi realizada com o evaporímetro de Piche exposto à radiação solar, instalado sobre uma fileira de plantas e acima do topo da cobertura vegetal, com a superfície evaporante situada 1,5m acima da superfície do solo, na parte central da estufa. A *Epi* foi determinada pela diferença de nível de água entre dois dias subseqüentes, obtendo-se o resultado direto em mm, sendo a leitura de nível d'água realizada diariamente entre 8h 30min e 9h. No mês de maio, em nove dias com condições distintas de variação dos principais elementos meteorológicos, mediu-se *Epi* em intervalos horários entre as 8h e 18h, para avaliar se existe relação estreita entre a variação da *Epi* e da evapotranspiração máxima medida em lisímetro de balança com solo ao longo do período diurno.

Para determinar a relação entre *Epi* e *ETm*, esta última foi dividida pelo *IAF*, obtendo-se a *ETmf* por unidade de índice de área foliar (*ETmf*), afim de interpretar os resultados sobre uma mesma base referencial, ou seja, isolando-se o efeito das variáveis meteorológicas do efeito da área foliar.

Resultados e discussão

A evapotranspiração máxima diária por unidade de área foliar (*ETmf*) mostrou variação proporcional àquela da *Epi* (Figura 1a), apresentando, os valores mais elevados nas primeiras semanas após o transplante no início do experimento e diminuindo, progressivamente, no decorrer do ciclo da cultura. Esta variação no ciclo deveu-se às condições de diminuição da demanda hídrica atmosférica e ao aumento do tempo em que a estufa permaneceu fechada com a aproximação do inverno. A diferença diária entre *ETmf* e *Epi* foi mais elevada nos dias de maior demanda hídrica atmosférica. Isso ocorreu devido à resposta positiva e ilimitada do evaporímetro de Piche ao aumento da densidade de fluxo de radiação solar e do

déficit de saturação do ar no interior da estufa, enquanto que nas plantas o fluxo transpiratório sofre a influência da resistência estomática e da resistência interna aos mecanismos de transporte de água. Além disso, a posição de instalação do evaporímetro de Piche, a 1,5m de altura acima do nível do solo, pode ter contribuído para o aumento do fluxo medido pela *Epi* em relação àquela da *ETmf*, pois o mesmo se encontrava mais exposto à livre movimentação do ar do que as plantas, às quais formaram uma cobertura com estatura máxima de 1,10m.

Nos dias de baixa demanda hídrica atmosférica, os valores de *ETmf* e de *Epi*, praticamente se equívalem. Nesta condição, a estufa permaneceu fechada na maior parte do tempo ou aberta durante apenas algumas horas do dia. Nesses dias, predominavam condições de alta nebulosidade, muitas vezes com precipitação pluviométrica e temperaturas baixas. Com isso, a *ETmf* e a *Epi* foram conseqüência apenas de um pequeno déficit de saturação do ar no interior da estufa e, desta forma, ambas as variáveis tiveram magnitude similar.

A relação entre os valores diários de *ETmf* e *Epi*, apresentou elevado ajuste, obtendo-se um coeficiente de determinação (r^2) de 0,78 (Figura 1b) e um coeficiente angular significativo pelo teste t a 1% de probabilidade. Os valores apresentados pelos coeficientes linear e angular na regressão entre essas duas variáveis, confirmam a evolução observada na Figura 1a, em que, as diferenças entre as duas variáveis foram maiores nos dias de elevada demanda hídrica atmosférica, quando ocorreram os maiores valores de *ETmf*. O ajuste significativo entre as duas variáveis ocorreu devido ao evaporímetro de Piche ter sido instalado exposto a radiação solar, sem a atenuação da advecção como ocorre no lado interno das venezianas no abrigo meteorológico e, portanto, semelhante àquela em que se encontravam as folhas, embora a altura de instalação do evaporímetro fosse maior do que a das plantas. Desta forma, a *Epi* integralizou o efeito da radiação e da advecção a que também as folhas estavam expostas. Isso indica que o evaporímetro de Piche exposto à radiação solar pode ser um bom instrumento para a determinação da *ETm* de culturas em estufa plástica e, conseqüentemente, ser empregado no manejo hídrico das mesmas (PAW U & GUEYE, 1983).

As curvas horárias da *ETmh* e *Epi* (Figura 2a), também apresentaram uma tendência de variação muito semelhante, com os valores mínimos ocorren-

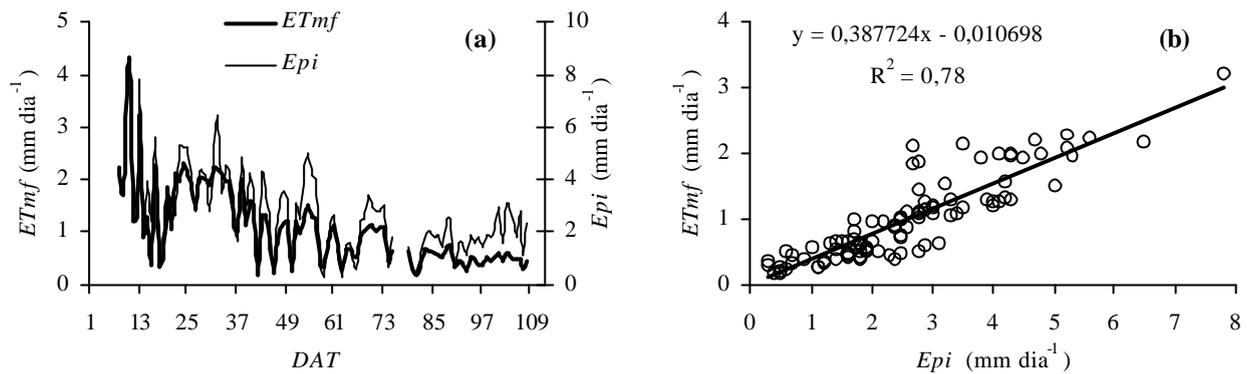


Figura 1. Evapotranspiração máxima diária por unidade de índice de área foliar (ET_{mf}) e evaporação diária no evaporímetro de Piche exposto à radiação solar (E_{pi}) em função dos dias após o transplante (DAT) (a) e relação entre E_{pi} e ET_{mf} no mesmo período (b) para a cultura de pimentão em estufa plástica. Santa Maria, RS - 2001.

do no início e final do dia e os valores máximos entre 13h e 15h. Na maior parte do período diurno, a curva da E_{pi} ficou acima daquela da ET_{mh} . Desde o início da manhã, a curva de E_{pi} apresentou um distanciamento daquela da ET_{mh} , ocasionado, provavelmente, pela abertura das laterais da estufa que facilitou as trocas com o exterior e o fluxo transversal de ar. A curva de ET_{mh} embora tenha mantido a mesma tendência, apresentou uma taxa de aumento menor porque a resistência estomática ainda era elevada neste horário, devido a baixa quantidade de radiação solar no ambiente interno. Além disso, em alguns dias, a presença de água sobre as folhas das plantas consumiu parte da energia que poderia ser utilizada na transpiração. Entre 10 e 11h a E_{pi} aproximou-se da ET_{mh} máxima devido ao sombreamento parcial do evaporímetro de Piche pela estrutura da estufa.

A semelhança entre a variação dos valores horários de E_{pi} e ET_{mh} refletiu-se numa relação com **elevado ajuste** ($r = 0,94$) entre essas variáveis (Figura 2b). Isso é um indicativo de que a E_{pi} também possa ser utilizada em escala horária para determinar a ET_{mh} de plantas cultivadas em estufa plástica, embora o erro relativo de medida da mesma, pode chegar a 100%, principalmente, no início e final do período diurno quando os valores medidos, tanto de ET_{mh} quanto de E_{pi} , tendem a zero. Do ponto de vista do manejo da irrigação os erros de determinação de ET_{mh} nas primeiras horas da manhã tem pouca importância, pois nessas horas, a necessidade de água da cultura é muito baixa. No entanto, no caso do meio de cultivo apresentar baixa capacidade de armazenamento d'água, como por exemplo, quando da utilização de pequenos volumes de substrato, o

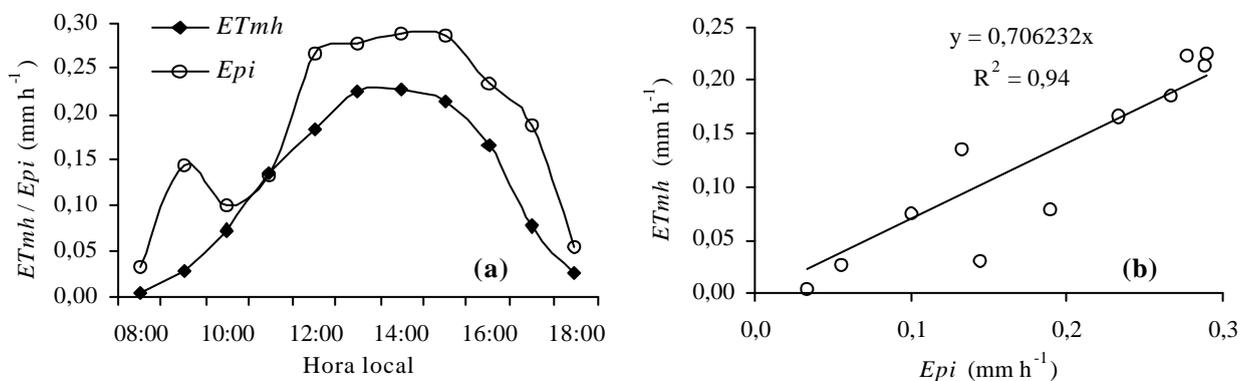


Figura 2. Média horária da evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica (ET_{mh}) e da evaporação no evaporímetro de Piche (E_{pi}) ao longo de 9 dias com distintas condições meteorológicas (a) e sua relação (b). Santa Maria, RS - 2001.

erro deve ser pequeno para que se minimizem os riscos das plantas ficarem expostas a condições de estresse hídrico. Nesse sentido existe a necessidade de investigar mais detalhadamente a relação entre *Epi* e *Etmh*.

Em nível diário a boa relação entre *Epi* e *ETmf* (Figura 1) representa a possibilidade de simplificar a estimativa da necessidade de água das culturas em estufa plástica, pois o evaporímetro de Piche é de fácil manejo. Entretanto, a estimativa para culturas conduzidas em diferentes épocas do ano, deverá ser realizada considerando-se o *IAF* das mesmas, pois a evolução do *IAF* e da demanda hídrica atmosférica, nem sempre ocorre no mesmo sentido. A utilização do evaporímetro de Piche na forma como foi preconizado neste trabalho, poderá também ser adaptada para a estimativa da necessidade de irrigação em outras culturas e outros tipos de ambiente protegido.

Conclusão

O evaporímetro de Piche, exposto a radiação solar no interior de uma estufa plástica, pode ser utilizado para estimar a quantidade de água a ser irrigada diariamente para atender a demanda pela cultura de pimentão nesse ambiente.

Referências bibliográficas

- DALMAGO, G.A. **Evapotranspiração máxima e sua modelagem para a cultura do pimentão em estufa plástica**. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 166 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UFSM.
- DALSASSO, L.C.M., HELDWEIN, A.B., BURIOL, G.A. et al. Consumo d'água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 61-67, 1997.
- PAPAIANOANNOU, G., VOURAKI, K., KERKIDES, P. Piche evaporimeter data as a substitute for Penman equation's aerodynamic term. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 82, p. 83-92, 1996.
- PAW U, K.T., GUEYE, M. Theoretical and measured evaporation rates from an exposed Piche atmograph. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 30, p. 1-11, 1983.
- VALANDRO, J., ANDRIOLO, J.L., BURIOL, G.A. Dispositivo lisimétrico simples para determinar a transpiração das hortaliças cultivadas fora do solo. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 189-193, 1999.
- WARING, R.H., HERMANN, R.K. A modified Piche evaporimeter. **Ecology**, Durham, v. 47, n. 2, p. 308-310, 1966.