



## ESTIMATIVA DA DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR EM VEGETAÇÃO PADRÃO PARA DOURADOS, MATO GROSSO DO SUL, BRASIL

ÉDER COMUNELLO<sup>1,2</sup>, PAULO CESAR SENTELHAS<sup>3</sup>, CARLOS RICARDO FIETZ<sup>1</sup>, DANILTON LUIZ FLUMIGNAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agr., Pesquisador, Embrapa Agropecuária Oeste, Cx. Postal 661, 79804-970. Dourados, MS, Brasil.

<sup>2</sup> Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, USP/Esalq.

<sup>3</sup> Eng. Agr., Dr., Docente, USP/Esalq.

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Pará, Belém, PA.

**RESUMO:** A duração do período de molhamento (DPM) é um fator chave em estudos que buscam correlacionar variáveis meteorológicas com o desenvolvimento de doenças em plantas. Mesmo com o reconhecimento de sua importância e os avanços na tecnologia de medição, é raro encontrar séries de dados dessa natureza. Uma alternativa é a obtenção de dados de DPM por meio de estimativas, valendo-se de uma série de modelos disponíveis. Entretanto, ao se utilizar modelos empíricos, deve-se avaliar a pertinência e adequabilidade dos modelos à situação local. Sendo assim, o presente estudo visou avaliar a estimativa da DPM para a vegetação padrão (gramado) por quatro modelos empíricos, nas condições de Dourados, MS. O modelo da Depressão do Ponto de Orvalho (DPO) foi o que obteve o melhor desempenho, seguido do modelo  $NHUR \geq 87\%$ . Também foram avaliados os modelos  $NHUR \geq 90\%$  e CART, com desempenhos satisfatórios, porém inferiores. Embora todos os modelos tenham demonstrado precisão e confiabilidade de acordo com critérios estatísticos, os erros médios absolutos foram elevados, o que indica que esses modelos devem ser empregados com precaução para fins operacionais. Suscetível

**PALAVRAS-CHAVE:** agrometeorologia, doenças de plantas, fitopatologia

### ESTIMATING LEAF WETNESS DURATION FOR REFERENCE VEGETATION IN DOURADOS, MATO GROSSO DO SUL, BRAZIL

**ABSTRACT:** Leaf wetness duration (LWD) is a key factor for studies that try to correlate weather data and plant diseases development. Even with the recognition of its importance and advances in the measuring technology, it is still rare to find data sets of this variable. An alternative is to estimate LWD by applying different models. However, especially when using empirical models, the relevance and adequacy of the models to the local situation should be assessed. Thus, the present study aimed to assess the LWD estimates for reference vegetation (grass) obtained by four empirical models for the conditions of Dourados, MS, Brazil. Dew Point Depression (DPD) model had the best performance, followed by the  $NHRH \geq 87\%$  model. The  $NHRH \geq 90\%$  and CART models were also evaluated, with good performances, but lower than the previous two. While all models have demonstrated accuracy and reliability according to statistical criteria, the mean absolute error (MAE) was high, which shows that these models should be applied with caution for operational purposes.

**KEYWORDS:** agrometeorology, plant diseases, phytopathology





## INTRODUÇÃO

A presença de água sobre a superfície dos vegetais pode proporcionar condições favoráveis ao estabelecimento e desenvolvimento de doenças em plantas, sobretudo aquelas de origem fúngica. A umidade decorrente do molhamento foliar tem papel fundamental em alguns processos epidemiológicos, tais como infecção e esporulação (HUBER; GILLESPIE, 1992). A variável-chave relacionada ao molhamento foliar faz referência ao tempo em que a água fica disponível na superfície das folhas e é denominada duração do período de molhamento (DPM). A DPM tem maior influência no desenvolvimento de doenças em plantas do que a quantidade depositada na superfície.

A DPM não é uma variável unicamente meteorológica, sendo influenciada por características físicas da vegetação. Pode ser medida por meio de sensores eletrônicos ou então estimada por uma série de métodos matemáticos, empíricos ou de natureza mais complexa (GLEASON et al., 1994; SENTELHAS et al., 2006). Mesmo com avanços recentes na tecnologia de aquisição de dados, sensores para medição da DPM ainda são raros na maioria das estações meteorológicas brasileiras, aumentando a utilidade e importância das estimativas a partir de outras variáveis. Todavia, considerando a natureza complexa da variável e uma relativa insuficiência de dados e validações, a literatura científica ainda carece de estudos voltados à avaliação do desempenho e adequabilidade de modelos de estimativa em diferentes localidades, visando a definição de modelos com maior abrangência em termos espaciais.

Considerando este contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar o desempenho de diferentes modelos empíricos de estimativa da DPM, comparando seus resultados a uma série de dados observados, medidos por um sensor eletrônico, nas condições de Dourados, Mato Grosso do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dados horários de DPM foram medidos e armazenados automaticamente por uma estação agrometeorológica localizada na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS. A estação contava com um sensor eletrônico de placa, marca Campbell Sci., modelo 237, instalado conforme as orientações de Sentelhas et al. (2004), que preconizam altura de 30 cm acima da vegetação padrão (gramado), orientação para o sul e inclinação de 45°. A série utilizada compreende o período entre 24 de abril de 2010 e 07 de fevereiro de 2011, contudo, para realização do estudo foram consideradas apenas as leituras referentes aos dias completos (24 leituras horárias), totalizando 206 observações diárias nesse período.

Os dados medidos pelo sensor eletrônico foram tomados como dados observados, para posterior comparação com as estimativas obtidas por quatro métodos distintos: a) Número de Horas com Umidade Relativa do Ar maior ou igual a 87% ( $NHUR_{\geq 87\%}$ ), b) Número de Horas com Umidade Relativa do Ar maior ou igual a 90% ( $NHUR_{\geq 90\%}$ ), c) Depressão do Ponto de Orvalho (DPO) e d) Modelo da Árvore de Classificação e Regressão (CART). Todos os métodos de estimativa utilizados nesse trabalho são empíricos, ou seja, valem-se de relações matemáticas e estatísticas para a estimativa dos valores de DPM. São métodos de grande simplicidade, mas que podem produzir resultados satisfatórios em algumas situações, apesar de serem bastante restritos em termos espaciais (SENTELHAS, 2004).



As variáveis de entrada, utilizadas nos modelos de estimativa, também foram obtidas para o mesmo período pela estação agrometeorológica localizada na área. As variáveis utilizadas foram: umidade relativa, temperatura do ar, velocidade do vento e chuva (precipitação).

Os dois primeiros métodos são os mais simples entre os quatro utilizados e estabelecem que o molhamento apenas ocorre quando a UR é superior aos limiares estabelecidos, 87% e 90%. Os limiares adotados consideraram os valores mais comuns na literatura (GLEASON et al., 1994; SENTELHAS, 2004). Na execução do método, tomou-se os valores horários, considerando-os com ou sem molhamento, de acordo com os valores estabelecidos.

O método da Depressão do Ponto de Orvalho (DPO) foi sugerido por Gillespie et al. (1993) e baseia-se na diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho. Na execução do método considerou-se que houve molhamento quando os valores horários de DPO eram iguais ou inferiores a 2°C, conforme Sentelhas (2004).

O Modelo da Árvore de Classificação e Regressão (CART) consiste de uma árvore de classificação binária, com nós e ramos para distinguir a presença ou não de molhamento foliar e foi desenvolvido para estimar a DPM a partir da depressão do ponto de orvalho (DPO), velocidade do vento a 10 m (U) e umidade relativa (UR) (GLEASON et al., 1994). Foi determinado conforme a Figura 1.

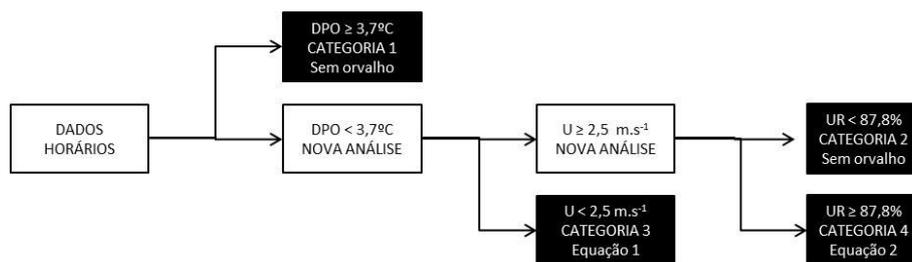


Figura 1. Modelo CART: árvore de classificação para estimativa da duração do período de molhamento. Modificado de Sentelhas (2004).

Aplicadas as regras de decisão, classificou-se o valor horário como sem molhamento ou fez-se uso de uma das duas equações que seguem, considerando molhamento quando a condição foi atendida:

$$(1,6064T^{0,5} + 0,0036T^2 + 0,1531UR - 0,4599U * DPO - 0,0035T * UR) > 14,46 \quad (1)$$

$$(0,7921T^{0,5} + 0,0046UR - 2,3889U_{10} - 0,039T * U + 1,0613U * DPO) > 37,00 \quad (2)$$

Ao término da etapa de aplicação dos modelos, os valores horários de DPM, observados ou estimados, foram consolidados em valores diários. Para tanto, somaram-se as 24 leituras realizadas das 13h00 do dia anterior até às 12h00 do dia corrente. Para a avaliação do desempenho dos modelos considerou apenas a DPM diária e se fez uso da análise de regressão. Foram avaliados os coeficientes estatísticos da análise de regressão (a, b e R<sup>2</sup>) e indicadores auxiliares, tais como: coeficiente de correlação “r” (precisão), índice “d” de Willmott (exatidão) e índice “C” de Camargo (desempenho) (WILLMOTT, 1981, CAMARGO; SENTELHAS, 1995). Também se avaliou o erro médio (EM), que indica a direção do desvio, e o erro absoluto médio (EAM), o qual indica a magnitude do erro das estimativas.



O índice “C” é calculado pelo produto entre os índices “r” e “d”, podendo ser classificado como: ótimo (>0,85); muito bom (0,76 a 0,85); bom (0,66 a 0,75); mediano (0,61 a 0,65); sofrível (0,51 a 0,60); mau (0,41 a 0,50) ou péssimo (<0,40) (CAMARGO; SENTELHAS, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram sumarizados na Tabela 1 e Figura 2, podendo-se observar um desempenho muito bom para os modelos NHUR $\geq$ 87, NHUR $\geq$ 90 e DPO, com performance ligeiramente inferior no caso do modelo CART. Os modelos com melhor desempenho subestimaram a DPM, ao passo que houve superestimativa no modelo com desempenho inferior. O desempenho dos modelos deve ser verificado por diferentes coeficientes estatísticos, pois alguns índices, embora de uso muito comum, quando tomados isoladamente podem não se constituir em boa medida, como é o caso do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). O R<sup>2</sup> informa basicamente a precisão de ajuste da reta de regressão, contudo para modelagem é igualmente, ou mais importante, obter informações acerca da exatidão ou acurácia do modelo. A avaliação do erro médio obtido também é de grande importância.

Tabela 1. Coeficientes estatísticos avaliados nos diferentes modelos.

Parâmetros	NHUR $\geq$ 87	NHUR $\geq$ 90	DPO	CART
Intercepto (a)	0,2142	-0,4035	0,0249	1,5623
Inclinação (b)	0,9361	0,8619	0,9179	0,8566
Determinação (R <sup>2</sup> )	0,7408	0,7315	0,7426	0,6531
Erro Médio (EM)	-0,19	-1,29	-0,50	0,65
Erro Médio Absoluto (EAM)	2,17	2,28	2,14	2,57
Correlação (r)	0,8607	0,8553	0,8618	0,8081
Willmott (d)	0,93	0,92	0,93	0,90
Camargo (C)	0,80	0,78	0,80	0,73
Interpretação	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Bom

De modo geral, todos os coeficientes avaliados seguiram um mesmo padrão, com desempenho superior e bastante similar nos três primeiros métodos. Contudo, é possível indicar o método DPO como o de melhor desempenho, uma vez que seus coeficientes (r, d e C) são ligeiramente superiores aos demais. Nesse sentido, destacam-se o intercepto próximo à origem e inclinação tendendo à unidade. Outra consideração importante é que o método da DPO é o de menor erro médio absoluto entre os modelos avaliados (EMA = 2,14 h). Ainda assim, se considerarmos a simplicidade envolvida no cálculo, também é possível indicar a adoção do método da NHUR $\geq$ 87%, que obteve o segundo melhor desempenho e provou ser superior ao método da NHUR $\geq$ 90%.



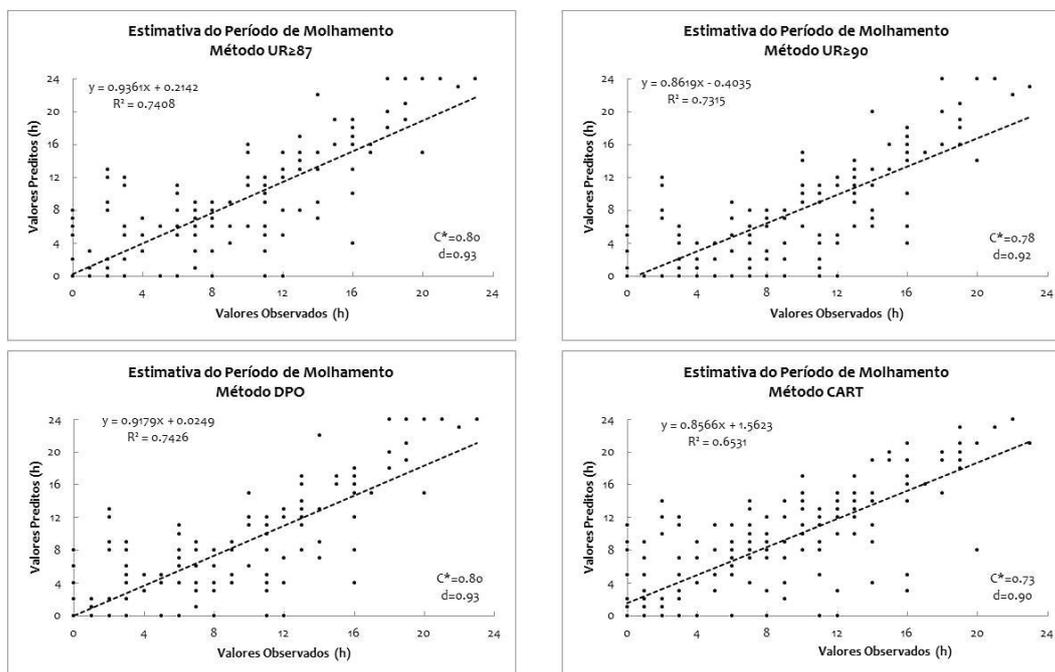


Figura 2. Relação entre a DPM observada e estimada por diferentes métodos, em Dourados, MS.

Embora os modelos tenham demonstrado boa adequação em termos de precisão, confiança e acurácia, os erros médios calculados foram bastante elevados, superando 2 horas em todos os casos. Seriam esperados valores próximos a uma hora, correspondendo à resolução temporal da aquisição de dados (dados horários).

Em uma avaliação geral das análises de regressão apresentadas na Figura 2, observa-se grande dispersão dos dados, apesar desses dados seguirem uma tendência linear. Infere-se que grande parte dessa dispersão poderia ser reduzida pela aquisição de dados com menor resolução temporal, tal como a cada 15 minutos, por exemplo. Outro ponto a ser considerado é o controle de qualidade dos dados observados. A série utilizada apresentou grande número de falhas e não houve calibrações periódicas e verificações de controle durante o período de aquisição dos dados. Uma avaliação precisa do melhor modelo de estimativa exigiria observações precisas da DPM tomadas a campo, o que não foi possível obter nesse trabalho. Contudo, a despeito dos valores elevados de erro médio, as estimativas ainda poderão ser úteis em estudos que busquem inter-relacionar a agrometeorologia com as doenças de plantas. É preciso avaliar, conjuntamente com profissionais da área de fitopatologia, qual a repercussão de um erro absoluto médio (EAM) maior que 2 horas em processos epidemiológicos específicos e se isso poderia comprometer sua detecção, monitoramento e previsão.

## CONCLUSÕES

As estimativas da duração do período de molhamento (DPM), para as condições de Dourados, MS, mostraram-se precisas, confiáveis e com desempenho muito bom quando utilizados os modelos de Depressão do Ponto de Orvalho (DPO) e NHUR $\geq$ 87%. Todavia deve-se avaliar se o



erro médio obtido nas estimativas poderá limitar sua aplicação em estudos que busquem correlacionar essa variável ao desenvolvimento de doenças em plantas.

## REFERÊNCIAS

- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação de modelos para a estimativa da evapotranspiração potencial mensal, em base diária para Campinas e Ribeirão Preto, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Adversidades climáticas e a produção agrícola: anais**. [Campina Grande]: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p.415 –417.
- GILLESPIE, T. J.; SRIVASTAVA, B.; PITBLADO, R. E. Using operational weather data to schedule fungicides sprays on tomatoes in Southern Ontario, Canada. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 32, n. 3, p. 567-573, Mar. 1993.
- GLEASON, M. L.; TAYLOR, S. E.; LOUGHIN, T. M.; KOEHLER, K. J. Development and validation of an empirical model to estimate the duration of dew periods. **Plant Disease**, Madison, v. 78, n. 10, p. 1011–1016, Oct. 1994.
- HUBER, L.; GILLESPIE, T. J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. **Annual Review of Phitopathology**, Palo Alto, v. 30, p. 553-577, 1992.
- SENTELHAS, P. C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith**. 2004. 161 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L.; MONTEIRO, J. E.; HELLAND, S. T. Operational exposure of leaf wetness sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 126, n. 1, p. 59-72, 2004.
- SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L.; MONTEIRO, J. E. B. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JUNIOR, M. J. Evaluation of a Penman–Monteith approach to provide ‘reference’ and crop canopy leaf wetness duration estimates. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 141, n. 2/4, p. 105–117, Dec. 2006.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Silver Spring, v. 2, n. 2, p. 184 – 194, 1981.

