

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO CART PARA A ESTIMATIVA DA DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR

JEANINE F. ACOSTA¹, PAULO C. SENTELHAS²

¹ Meteorologista, doutoranda do PPG em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, Piracicaba – SP. Fone: (19) 3429 4283, jeanine.acosta@usp.br

² Eng. Agrônomo, Prof. Associado, Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.

RESUMO: O desempenho do Modelo da Árvore de Classificação e Regressão (CART) para a estimativa da duração do período de molhamento foliar (DPM) foi avaliado para a localidade de Piracicaba, SP, para um período de 95 dias. Além da avaliação do modelo pela comparação de seus resultados com dados de DPM observados por sensores eletrônicos, analisou-se a sensibilidade do desempenho do modelo CART quando simulados erros nas variáveis meteorológicas de entrada do modelo. Para tanto, foram simulados erros de ± 1 , ± 5 , ± 10 e $\pm 20\%$ nas variáveis meteorológicas requeridas pelo modelo CART (temperatura do ar, umidade relativa, depressão do ponto de orvalho e velocidade do vento). O desempenho do modelo foi avaliado por meio dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (r), índice de Willmott (d) e índice de Camargo (c), além dos erros médio (EM), absoluto médio (EAM) e máximo (EMAX). O modelo CART apresentou o índice “ c ” equivalente a 0,79, resultando num desempenho muito bom, segundo seu critério de interpretação. Constatou-se que a umidade relativa do ar foi a variável meteorológica de maior influência sobre as estimativas de DPM, atingindo valores equivalentes a 3,14; 3,24 e 19,75 horas para EM, EAM e EMAX, respectivamente, ao simular-se um erro na sua leitura de +20%. Por outro lado, a variável de menor influência foi a temperatura do ar.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo da Árvore de Classificação e Regressão, temperatura, umidade relativa, depressão do ponto de orvalho.

SENSITIVITY ANALYSIS OF THE LEAF WETNESS DURATION ESTIMATED BY CART MODEL

ABSTRACT: The performance of the Classification and Regression Tree (CART) for estimating leaf wetness duration (LWD) was evaluated for Piracicaba, state of São Paulo, Brazil, for a period of 95 days. The study evaluated CART model by comparing LWD estimates with measurements obtained with electronic sensors and also analyzed the sensitivity of the model performance when errors in the input weather variables were simulated. For this last purpose, errors of ± 1 , ± 5 , ± 10 e $\pm 20\%$ were simulated for the input variables of the model (air temperature, relative humidity, dew point depression and wind speed). The performance of the CART model was evaluated by statistical indices as correlation coefficient (r), Willmott index (d) and Camargo index (c), and also by mean error (EM), absolute mean error (EAM) and maximum error (EMAX). The CART model presented, when estimated and measured LWD were compared, a “ c ” index of 0.79, which is considered as very good, according its interpretation criteria. According to the results, relative humidity is the weather variable of greatest influence on LWD estimates when CART model is used, achieving 3.14, 3.24 and 19.75 hours respectively for EM, EAM and EMAX, when an error of +20% was simulated. On the other hand, the weather variable with less influence on LWD was air temperature.

KEY-WORDS: Classification and Regression Tree Model, air temperature, relative humidity, dew point depression.

INTRODUÇÃO: A duração do período de molhamento foliar (DPM), normalmente combinada à temperatura do ar, é a variável ambiental de maior importância no processo epidemiológico de ocorrência de doenças em plantas (MARCUIZZO et al., 2009). Apesar da sua importância, são poucas as estações meteorológicas que dispõem de sensores de DPM, já que suas medições não são exigidas pela OMM. Além disso, há a preocupação da consistência dos dados disponíveis nestas estações, provenientes de motivos como posição inadequada dos sensores, falhas instrumentais, etc. Uma alternativa viável para a falta de informação desta variável é a sua estimativa, que pode ser realizada tanto por meio de modelos empíricos (GLEASON et al., 1994) como por modelos mais complexos (SENTELHAS et al., 2006). O Modelo da Árvore de Classificação e Regressão – CART (GLEASON et al., 1994) 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). O objetivo deste estudo foi avaliar a sensibilidade do desempenho do modelo CART para o município de Piracicaba, SP, quando simulados erros nas variáveis meteorológicas de entrada do modelo.

MATERIAL E MÉTODOS: Neste estudo, tanto os dados de DPM medidos quanto os dados meteorológicos necessários para a estimativa da DPM foram obtidos no posto meteorológico da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, localizado no município de Piracicaba, SP. A estimativa foi feita pelo método da Árvore de Classificação e Regressão – CART (GLEASON et al., 1994), para o período de 12 de julho a 14 de outubro de 2005. O modelo CART utiliza dados de depressão do ponto de orvalho (DPO), velocidade do vento a 10 m (U) e umidade relativa (UR) em uma árvore binária de decisão, conforme Figura 1.

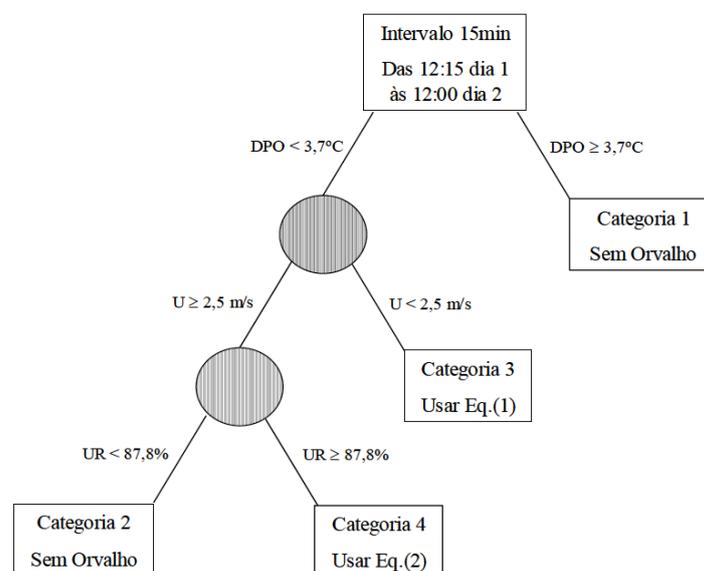


Figura 1: Representação esquemática do Modelo da Árvore de Classificação e Regressão (CART) baseada numa árvore de classificação binária.

Na Figura 1, as Categorias 3 e 4 indicam a presença de molhamento desde que as condições das equações (1) e (2) sejam atendidas:

$$(1,6064T^{0,5} + 0,0036T^2 + 0,1531UR - 0,4599U_{10} * DPO - 0,0035T * UR) > 14,46 \quad (1)$$

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

O desempenho do Modelo CART foi avaliado correlacionando-se a DPM por ele estimada com os dados medidos por meio de sensores eletrônicos por meio da análise de regressão, em que se considerou os seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de correlação “r” (precisão) (MORETTIN & BUSSAB, 2003), índice de Willmott “d” (exatidão ou concordância) (WILLMOTT, 1981) e índice de Camargo “c” (confiança ou desempenho) (CAMARGO & SENTELHAS, 1995). O índice de Willmott foi determinado por:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (3)$$

em que: P_i e O_i são os dados de DPM estimados e medidos, respectivamente; O é a média dos valores medidos de DPM. O índice “c” foi calculado pelo produto entre o coeficiente de correlação “r” e o índice de Willmott “d”, cuja interpretação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Critério de interpretação do índice “c” de Camargo e Sentelhas (1995) para avaliação do desempenho do Modelo CART de estimativa da duração do período de molhamento foliar.

Valor de “c”	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

A influência de cada variável meteorológica utilizada no modelo CART foi avaliada simulando erros iguais a ± 1 , ± 5 , ± 10 e $\pm 20\%$ na leitura de seus sensores. Os resultados obtidos foram avaliados pelos erros médio (EM), absoluto médio (EAM) e máximo (EMAX), dados pelas seguintes equações:

$$EM = \frac{\sum (P_i - O_i)}{N} \quad (4)$$

$$EAM = \frac{\sum |P_i - O_i|}{N} \quad (5)$$

$$EMAX = MAX (P_i - O_i) \quad (6)$$

em que N é o número de dias do período avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Tabela 2 apresenta os valores do coeficiente de correlação (r), do índice de Willmott (d) e de Camargo (c) para avaliação do desempenho do modelo CART para a estimativa da DPM. Observa-se na Tabela 2 que o desempenho do modelo CART foi bastante satisfatório, apresentando $r = 0,86$, $d = 0,92$ e $c = 0,79$, o que de acordo com os critérios de CAMARGO & SENTELHAS (1995) resulta em um desempenho muito bom do modelo.

Tabela 2: Índices estatísticos: coeficiente de correlação (r), de Willmott (d), de Camargo (c) e desempenho do Modelo da Árvore de Classificação e Regressão (CART).

Índices Estatísticos			Desempenho
r	d	c	
0,86	0,92	0,79	Muito bom

As Tabelas 3 e 4 apresentam os indicadores estatísticos: erros médio (EM), absoluto médio (EAM) e máximo (EMAX) para as simulações dos erros nas variáveis meteorológicas de entrada do modelo CART. Pode-se observar que a temperatura do ar e a velocidade do vento foram as variáveis de menor influência na estimativa da DPM, alterando o resultado final em cerca de 3% quando foi simulados erros de 20%. Já os erros para a variação da depressão do ponto de orvalho geraram modificações de até 9,7% na estimativa da DPM. Quando as alterações foram na umidade relativa do ar, os erros observados foram mais significativas, atingindo quase 100% nos valores estimados da DPM.

Tabela 3: Erros médio (EM), absoluto médio (EAM) e máximo (EMAX) da DPM para as simulações dos erros nas variáveis temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR).

%	T			UR		
	EM (h)	EAM (h)	E _{MAX} (h)	EM (h)	EAM (h)	E _{MAX} (h)
+1	1,00	1,72	7,75	1,00	1,73	7,75
+5	1,04	1,74	7,75	2,05	2,35	13,00
+10	1,06	1,74	7,75	2,69	2,87	19,00
+20	1,12	1,75	8,00	3,14	3,24	19,75
- 1	0,99	1,73	7,75	0,77	1,59	7,75
- 5	0,99	1,73	7,75	0,75	1,50	7,50
- 10	0,96	1,72	7,75	0,72	1,65	6,50
- 20	0,94	1,72	7,75	1,78	3,04	3,50

Tabela 4: Erros médio (EM), absoluto médio (EAM) e máximo (EMAX) da DPM para as simulações dos erros nas variáveis velocidade do vento (U) e depressão do ponto de orvalho (DPO).

%	U			DPO		
	EM (h)	EAM (h)	E _{MAX} (h)	EM (h)	EAM (h)	E _{MAX} (h)
+1	1,00	1,73	7,75	1,00	1,73	7,75
+5	0,89	1,66	7,75	0,95	1,72	8,00
+10	0,77	1,59	7,75	0,92	1,71	8,00
+20	0,57	1,53	8,00	0,86	1,72	8,50
- 1	1,03	1,74	7,75	1,02	1,73	7,75
- 5	1,10	1,76	8,25	1,08	1,71	8,00
- 10	1,18	1,79	8,00	1,11	1,70	8,00
- 20	1,36	1,88	8,50	1,29	1,81	8,50

CONCLUSÕES: Com base neste estudo, pode-se concluir que o modelo CART de estimativa da DPM apresentou desempenho muito bom na estimativa da DPM quando os seus resultados foram comparados aos dados obtidos por sensores eletrônicos. Em termos da análise de sensibilidade, a variável meteorológica de maior influência na estimativa da DPM pelo modelo CART foi a umidade relativa do ar. Por outro lado, a temperatura do ar foi a variável meteorológica de menor influência nas estimativas da DPM pelo modelo CART.

AGRADECIMENTOS: A primeira autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa concedida, enquanto que o segundo autor o faz ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

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. **Anais...** Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 415 – 417, 1995.

Gleason, M.L.; Taylor, S.E.; Loughin, T.M.; Koehler, K.J. Development and validation of an empirical model to estimate duration of dew periods. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 78, p. 1011-1016, 1994.

Marcuzzo, L.L.; Fernandes, J.M.C.; Becker, W.F. Influência da temperatura e da duração do período de molhamento foliar na severidade da mancha bacteriana do tomateiro. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 35, n. 3, p. 229-230, 2009.

Morettin, P. A.; Bussab, W. O. **Estatística Básica**. São Paulo: Saraiva, 2003. 526p.

Sentelhas, P.C.; Gillespie, T.J.; Gleason, M.L.; Monteiro, J.E.B.A.; Pezzopane, J.R.M.; Pedro Jr., 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, 2006.

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, 2004.

Willmott, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, Delaware, v.2, n.2, p. 184-194, 1981.