

ANÁLISE CRÍTICA DOS PROCESSOS ELETRÔNICOS ENVOLVIDOS EM UM SENSOR ELETRÔNICO DE MOLHAMENTO FOLIAR

RODGER V. PEREIRA¹
JOSÉ ALEXANDRE DE FRANÇA²
MARCELO CANTERI³
DIOGO K. TAKAYAMA⁴

RESUMO: Este trabalho traz uma análise crítica dos processos eletrônicos envolvidos em alguns sensores de molhamento foliar, objetivando uma melhoria no compromisso custo vs. benefício e analisando a acurácia e as características intrínsecas dos mesmos. O trabalho propõe também uma configuração de instrumentação que se utiliza da característica capacitiva do sensor visando o aumento da acurácia.

PALAVRAS-CHAVE: sensor, molhamento, instrumentação, capacitivo.

A CRITICAL ANALYSIS OF ELECTRONIC PROCESS INVOLVED IN LEAF WETNESS ELECTRONIC SENSOR

ABSTRACT: This work aims a critical analysis of electronic process involved in many leaf wetness electronic sensor, targeting a increase in cost vs. benefits and analysing the accuracy and the intrinsic characteristics of them. This work also aims a instrumentation that uses the sensor's capacitive characteristics targeting the increase of accuracy.

KEY-WORDS: sensor, wetness, instrumentation, capacitive.

1. INTRODUÇÃO

Trabalhos de pesquisa demonstram a eficiência do uso de dados meteorológicos para monitorar doenças em plantas (CANTERI et al., 2004; NELSON et al., 1999). Também, pode-se utilizar tais dados para realizar estudos sobre condições favoráveis para ocorrência de doenças, via *data mining*, e assim refinar o sistema safra após safra. Contudo, a aquisição desses dados esbarra em um obstáculo: o preço elevado das estações de monitoramento do agroclima. Isto força que um número reduzido de estações de aquisição de dados seja instalado na região de estudo. Sendo assim, nas áreas não monitoradas, as grandezas agrometeorológicas de interesse devem ser estimadas por interpolação matemática. Evidentemente, tal interpolação pode levar a dados inexatos que reduzem a confiabilidade do sistema de monitoramento de doenças.

O molhamento foliar promovido pelo orvalho, chuva, neblina e irrigação tem grande influência na propagação e severidade das doenças causadas por fungos ou bactérias. Isto é devido à presença de água líquida na superfície das folhas, o que permite a penetração dos agentes fito-patogênicos nos tecido foliares. Além disso o molhamento é tido como uma das grandezas mais difíceis de serem monitoradas e encontra-se pouco normatizado (SENTELHAS, 2004).

¹ Engenheiro Eletricista, UEL-CTU-DEEL, Caixa Postal 6025, Londrina PR, 86051-970. E-mail: rodger.pereira@yahoo.com.

² Engenheiro Eletricista, UEL-CTU-DEEL, Londrina PR, 86051-970. E-mail: josealexandre@eeol.org

³ Cientista da Computação, UEL - CCA, Caixa Postal 6001, Londrina PR, 86051-970.

⁴ Engº Eletricista, UEL-CTU-DEEL, Londrina PR, 86051-970. E-mail: diogo_takayama@yahoo.com.br.

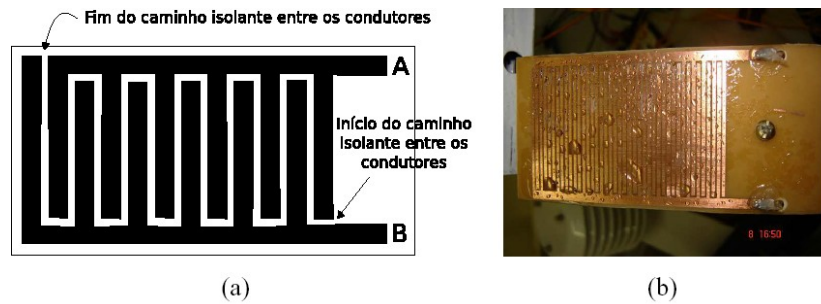


Figura 1: (a) Esboço do sensor de molhamento tipo "pente", (b) sensor molhado.

Diversos tipos de sensores de molhamento foliar já foram estudados quanto à sua forma de exposição (SENTELHAS et al., 2004); com diferentes tipos de cobertura (SENTELHAS, 2004); em vários tipos de culturas devido suas diferenças de formato entre as folhas como a da cebola (GILESPIE e DUAN, 1987) e da batata (WILSON et al., 1999) e por modelos matemáticos baseados em outras grandezas agrometeorológicas. Em vista disto, neste trabalho apresenta-se uma análise crítica de diferentes técnicas de sensoriamento do molhamento foliar. O objetivo é fornecer subsídios para a construção de sensores alternativos mais exatos e baratos que os normalmente utilizados. Isto tornará viável a utilização de um número maior de sensores. Dessa forma, por dispensar a utilização de interpolação matemática, tornará mais confiável a informação sobre o molhamento foliar na região de cultivo.

2. MEDIÇÃO DO MOLHAMENTO FOLIAR

A figura 1(a) apresenta o esboço do sensor de molhamento mais utilizado na prática. Este é constituído por duas regiões metálicas condutoras, A e B, na forma de um pente e separadas por uma superfície isolante. Para funcionar corretamente, o sensor de molhamento deve alterar suas características elétricas de acordo com a área de sua superfície que esteja molhada. Na configuração da figura 1(a), as grandezas elétricas que mais sofrem influência são: a resistência e a capacitância entre os pontos A e B. Este fato será explicado em maiores detalhes a seguir.

A resistência elétrica, R , é dada por $R = \rho l/A$, onde ρ é o coeficiente de resistividade (uma propriedade intrínseca do material), l e A são, respectivamente, o comprimento e a área do material condutor. No caso do sensor de molhamento, quando este está totalmente seco, os elétrons não conseguem passar do condutor A para o B devido ao material isolante. Dessa forma, a resistência entre os pontos A e B é dita infinita. Contudo, a medida que a superfície do sensor torna-se molhada (figura 1(b)), a água perfaz um caminho para a passagem dos elétrons. Assim, a resistência, $R_s(m)$, entre os pontos A e B diminui e passa a ser dada por

$$R_s(m) = \rho_{\text{água}} \frac{l_{AB}}{A_{\text{água}}}, \quad (0)$$

onde $\rho_{\text{água}}$ é a resistividade da água; l_{AB} é a distância entre os condutores A e B; $A_{\text{água}}$ é a área molhada entre os condutores A e B. Por sua vez, $A_{\text{água}} = l_{\text{água}} \times h$, onde h é a altura da lâmina de água e $l_{\text{água}}$ é o comprimento do caminho isolante entre A e B que está coberto por água. Assim, pode-se dizer que a resistência elétrica entre os condutores A e B é inversamente proporcional ao comprimento do caminho isolante entre A e B que está coberto por água, ou seja,

$$R_s(m) = \alpha_r \frac{1}{l_{\text{água}}}, \quad (2)$$

onde α_r é uma constante de proporcionalidade.

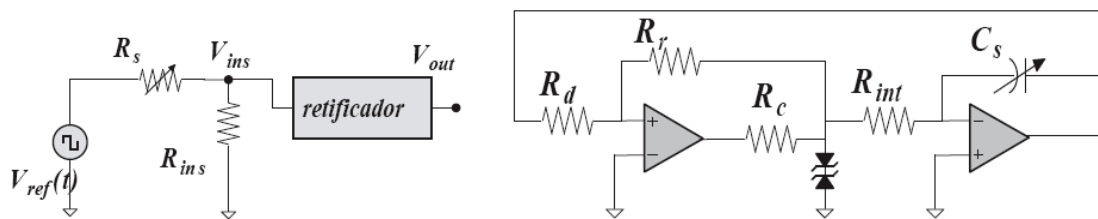


Figura 2: Circuitos para a instrumentação dos sensores: (a) retificador, (b) oscilador.

No caso da capacitância, C , esta pode ser modelada por dois condutores paralelos separados por um material isolante e dielétrico como na equação $C = \epsilon A/d$, onde ϵ é a constante dielétrica (uma propriedade intrínseca do material entre os condutores), d e A são, respectivamente, a distância entre os condutores e a área da superfície dos mesmos.

Para o caso da figura 1(a), o material entre os condutores A e B é o ar. Contudo, a medida que a superfície do sensor torna-se molhada como na figura 1(b), parte da região entre as placas é preenchida com água. Neste caso, a capacitância, $C_s(m)$, entre os pontos A e B é a soma da capacitância devido a região seca e a devido a região molhada, ou seja,

$$C_s(m) = \epsilon_o \epsilon_{r\ ar} \frac{l_{ar} \times h}{l_{AB}} + \epsilon_o \epsilon_{r\ \acute{a}gua} \frac{l_{\acute{a}gua} \times h}{l_{AB}}, \quad (3)$$

onde $\epsilon_{r\ ar}$ e $\epsilon_{r\ \acute{a}gua}$ são, respectivamente, as constantes dielétricas do ar e da água, l_{ar} é o comprimento do caminho isolante entre A e B que não está coberto por água.

Agora, considerando $l_{total} = l_{ar} + l_{\acute{a}gua}$, tem-se

$$C_s(m) = \frac{h}{l_{AB}} [\epsilon_{r\ ar} l_{total} + l_{\acute{a}gua} (\epsilon_{r\ \acute{a}gua} - \epsilon_{r\ ar})], \quad (4)$$

ou seja, a capacitância elétrica entre os condutores A e B é proporcional ao comprimento do caminho isolante entre A e B que está coberto por água, ou seja,

$$C_s(m) = \alpha_c l_{\acute{a}gua} + \beta_c, \quad (5)$$

2.1. Instrumentação

Foram construídos oito sensores como os da figura 1(b) em placa de circuito impresso numerados de 1 a 8 sendo: 1 e 2 sem tratamento; 3 e 4 cobertos com tinta esmalte e recobertos com tinta latex; 5 e 6 cobertos com tinta esmalte e 7 e 8 cobertos com tinta latex. Os sensores recobertos com tinta latex foram submetidos a 12h em estufa a uma temperatura de $65^\circ\text{C} \pm 5^\circ$ segundo processo descrito por SENTELHAS (2004).

Como mostra a equação (2), a resistência, R_s , é inversamente proporcional ao molhamento. Este fato pode ser contornado inserindo o sensor em um circuito como o da figura 2(a). Neste, uma fonte de tensão alternada⁵, $V_{ref}(t)$, excita o sensor de molhamento, R_s , em série com uma resistência elétrica R_{ins} . Assim, a tensão no ponto $V_{ins}(t)$ é dada por

$$V_{ins}(t) = \frac{R_{ins}}{R_{ins} + R_s} V_{ref}(t), \quad (6)$$

Agora, considerando R_s dado por (2) e $\alpha_r \gg R_{ins} l_{\acute{a}gua}$, a equação (6) leva a

$$V_{ins}(t) = \frac{R_{ins} l_{\acute{a}gua}}{\alpha_r} V_{ref}(t). \quad (7)$$

⁵ Aqui, a tensão $V_{ref}(t)$ deve ser alternada para evitar a oxidação prematura do sensor.

A equação (7) mostra que a tensão V_{out} , após o retificador de precisão (SEDRA e SMITH, 2004, cap.12) (veja-se a figura 2(a)), é proporcional ao comprimento do caminho isolante entre A e B que está coberto por água, ou seja, V_{out} é proporcional ao molhamento.

A equação (5) mostra que a capacitância é proporcional ao molhamento, contudo é uma grandeza difícil de se medir diretamente. Por isto, neste trabalho, utilizou-se o circuito da figura 2(b), um oscilador (SEDRA e SMITH, 2004, cap.12), cujo período de oscilação, T , é dado por

$$T = \frac{4R_i R_d}{R_r} \times C_s, \quad (8)$$

Assim, o período do sinal de tensão em V_{sq} é proporcional a capacitância C_s que, por sua vez, é proporcional ao molhamento. Desde que a tensão em V_{sq} é um sinal digital, o seu período pode ser medido facilmente com auxílio de um microcontrolador.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios com os sensores foram realizados em ambiente controlado a uma temperatura de $21,4^\circ\text{C} \pm 0,07$ e umidade relativa de $36,5\% \pm 1,01\%$. O procedimento adotado foi o de saturar os sensores com uma quantidade de água suficiente para cobrir cada sensor e deixá-los secar naturalmente colhendo-se os dados em intervalos de 1s.

Os dados instrumentados foram coletados em um instrumento virtual desenvolvido com a ajuda do programa Labview, este instrumento lê e dispõe os dados em forma matricial para posterior tratamento e análise. Por serem de naturezas diversas, como tensão representando molhamento e período representando molhamento, os dados foram normalizados para que se possa comparar a resposta dos sensores.

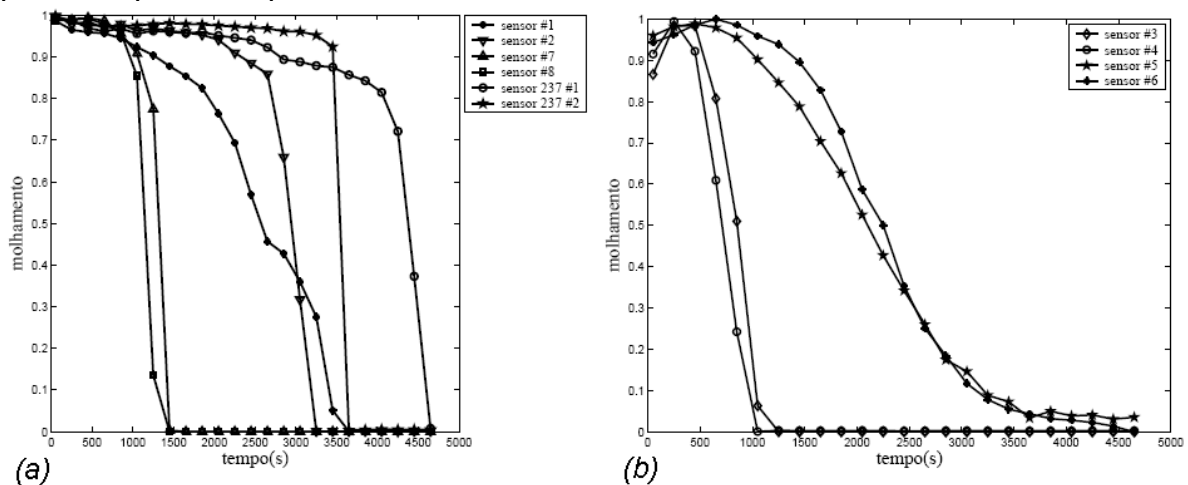


Figura 3: Dados Normalizados dos sensores resistivos(a) e capacitivos(b).

Por observação dos gráficos das figuras 3(a) e 3(b) vê-se que as diferentes configurações, bem como as diferentes coberturas que os sensores receberam, interferiram nas suas respostas. Os sensores capacitivos (3, 4, 5 e 6) mostraram um resultado proporcional ao molhamento da superfície e também boa imunidade ao ruído (figura 3(b)). Os sensores resistivos (1, 2, 7 e 8) em função de sua característica de resposta não representaram proporcionalidade ao molhamento proposta pela equação (7), mas o tempo de secagem foi compatível com o dos sensores capacitivos porém mais sensíveis ao ruído, porém ambos variando de acordo com o tipo de cobertura utilizada como pode se observar nas figuras 4(a) e 4(b).

4. CONCLUSÕES

Concluiu-se que o sensor capacitivo representa melhor quantidades graduais do molhamento foliar, bem como possui uma menor susceptibilidade a ruídos. O sensor resistivo, por sua vez, é mais sensível à contaminação o que altera a condutividade do sensor alterando assim sua curva de resposta. A cobertura com tinta latex tanto nos sensores capacitivos 3 e 4 como nos resistivos 7 e 8 faz com que se forme uma lâmina d'água uniforme sobre o sensor. Este fato torna a secagem mais rápida e o molhamento uniformemente distribuído à superfície, ao passo que nos sensores preparados com tinta esmalte 5 e 6 e nos sensores 1 e 2 são formadas gotas d'água que possuem uma superfície muito menor para um mesmo volume de água, proporcionando uma maior evaporação nos sensores recobertos com tinta a base de água do que nos sensores recobertos com tinta esmalte o que pode ser observado nos gráficos da figura 4. A instrumentação proposta para os sensores comerciais, na tentativa de se linearizar a medição do molhamento, faz com eles se tornem mais sensíveis a ruídos. Este tipo de sensor deve ser banhado a ouro, para protegê-lo de corrosão provocada por intempéries, envelhecimento e ou por substâncias reagentes que possam ser aspergidas sobre os sensores o que encarece o processo de fabricação se comparado com os sensores feitos de trilhas de cobre convencionais. Já os capacitivos além de apresentarem melhor proporcionalidade com o molhamento, ao receberem pintura para a remoção da componente resistiva ficam protegidos deste tipo de situações.

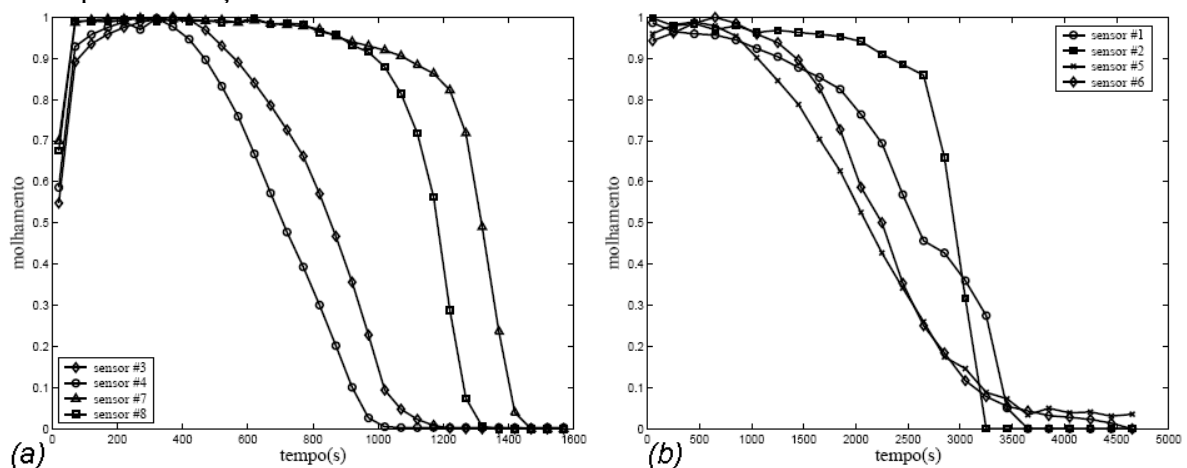


Figura 4: Dados de todos os sensores ensaiados: (a) com latex; (b) sem latex

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANTERI, M., GODOY, C., PONTE, M., FERNANDES, J., e PAVAN, W. (2004). Aplicações da computação na fitopatologia. *Revisão Anual de Patologia de Plantas*, 12:526–531.
- GILESPIE, T. e DUAN, R. (1987). A comparison of cylindrical and flat plate sensors. *Agricultural and Meteorology*, 40:61–70.
- NELSON, M., ORUM, T., J. GARCIA, R., e NADEEM, A. (1999). Applications of geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and management. *Plant Disease*, 4(83):526–531.
- SEDRÁ, A. e SMITH, K. C. (2004). *Microeletronic Circuits*, volume International Student Edition. Oxford University Press, Inc., New York., 5th edição.
- SENTELHAS, P. (2004). *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*. Tese de Livre Docência, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. SP.
- SENTELHAS, P., GILLESPIE, T., GLEASON, M., MONTEIRO, J., e HELLAND, S. (2004). Operational exposure of leaf wetness sensors. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126:59–72.
- WILSON, T., BLAND, W., e NORMAN, J. (1999). Measurement and simulation of dew accumulation and drying in a potato canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 93:111–119.