

CONSTRUÇÃO DE UMA BASE DE CONHECIMENTO PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NO PROCESSO DE PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA UTILIZANDO MODELOS FÍSICOS E INFORMAÇÕES DE APLICAÇÕES REAIS

**ELMER A. GAMBOA PEÑALOZA¹, HEITOR V. MERCALDI²,
VILMA A. OLIVEIRA³, PAULO E. CRUVINEL⁴**

¹ Doutorando do Departamento de Engenharia Elétrica e computação, EESC-USP, e-mail: egamboa@usp.br.

² Doutorando do Departamento de Engenharia Elétrica e computação, EESC-USP, e-mail: heitor@usp.br.

³ Professor titular do Departamento de Engenharia Elétrica e Computação, EESC-USP, e-mail: vilma@sc.usp.br.

⁴ Doutor, Pesquisador da Embrapa Instrumentação, CNPDIA, São Carlos SP, e-mail: paulo.cruvinel@embrapa.br.

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: Este trabalho apresenta a construção de uma base de conhecimento fundamentada em informação obtida por modelos e dados reais sobre condições de aplicação de agrotóxicos por processos de pulverização agrícola. Assim, são apresentadas condições de operação obtidas dos modelos envolvidos no processo de formação de gotas e sobre a cinemática das máquinas agrícolas utilizadas para a aplicação. Estas informações são contrastadas e analisadas a priori com condições de operações de pulverizações reais, viabilizando desta forma a organização de uma base de conhecimento para o auxílio à tomada de decisão no momento de uma aplicação real. Desta forma, é possível reduzir desperdícios de agrotóxicos, reduzir impactos ambientais e riscos para os operadores, assim como reduzir custos de produção.

PALAVRAS-CHAVE: Pulverização agrícola, Modelagem computacional, Qualidade de aplicação.

CONSTRUCTION OF DATA BASE TO SUPPORT DECISION-MAKING IN AGRICULTURAL SPRAYING PROCESSES BASED ON PHYSICAL MODELS AND INFORMATION RELATED WITH REAL APPLICATIONS

ABSTRACT: This paper presents the construction of a base of knowledge, which is supported on the information obtained from models and real data for pesticide application and its conditions for agricultural spraying processes. Thus, the optimized conditions obtained with the use of models involved in the drop formation process and the kinematics of the agricultural machinery are both taken into consideration. Such information can be analyzed and compared with the actual operating conditions, thus enabling the organization of a base of knowledge for assistance in decision-making at the time involved for real application. Therefore, such result can allow reduction of losses in pesticides, reduction of environmental impacts and risks for operators, as well as the reduction of the productive costs.

KEYWORDS: Agricultural spray, Computational modeling, Application quality.

INTRODUÇÃO: Dentre as atividades de manejo da lavoura, uma das mais custosas e que requer de procedimentos de execução adequados é a pulverização de agrotóxicos, envolvendo herbicidas, fungicidas ou inseticidas. Uma pulverização eficiente está fundamentada nos seguintes fatores: eficiência do produto químico aplicado, qualidade da aplicação do produto, fatores decorrentes do clima (condições climatológicas) e fatores biológicos (SUZUMURA & CRUVINEL, 2005). Assim, no meio dos fatores determinantes para a eficiência da pulverização a qualidade da aplicação é o fator em que o produtor pode ter maior controle, isto em função da qualidade e afinamento da maquinaria utilizada e os procedimentos e técnicas aplicadas. Na atualidade, os pulverizadores automáticos são projetados e desenvolvidos para atingir aplicação localizada de maneira eficiente e em grandes áreas de produtos nas culturas, obtendo assim, benefícios econômicos e ambientais para os produtores e consumidores. Pode-se destacar dentre dos pulverizadores automáticos aqueles que operam a taxa variada (CRUVINEL et al., 2011; MERCALDI et al., 2011; FELIZARDO et al., 2013). Com a

possibilidade da variação e controle da taxa de aplicação a quantidade necessária de agrotóxico é aplicada em cada trecho do campo permitindo a redução de desperdícios e uma maior efetividade do produto nas culturas. O tamanho e distribuição de gotas nas culturas é um dos fatores que mais afetam a qualidade da pulverização uma vez que, gotas pequenas estão mais sujeitas à deriva pelo vento, o que afeta o padrão da aplicação, no entanto, gotas grandes tem maior energia cinética, que é transferida à superfície do solo, podendo causar erosão e problemas fitossanitários (KOHL, 1974). Nos pulverizadores agrícolas as condições de operação (vazão e pressão), a velocidade na qual é feita a aplicação, as características físicas dos bicos como tipo, geometria e material da ponta podem determinar ou afetar o espectro de tamanho de gota (PEÑALOZA et al., 2016). Portanto, o espectro da gota pode variar com a mudança destas condições e os bicos de pulverização podem ser classificados em função destes espectros (ASABE, 2009). Neste trabalho são apresentados conceitos e fatores que podem afetar o melhorar a pulverização agrícola no respeito à qualidade. Assim, com esta informação é construída uma base de conhecimento para o auxílio á tomada de decisão no momento de uma aplicação real.

MATERIAL E MÉTODOS: O modelo cinemático e de esterçamento, assim como, os parâmetros de simulação para o seguimento de trajetórias curvilíneas do conjunto trator-pulverizador foram replicadas do trabalho desenvolvido pelos autores em 2014 (PEÑALOZA et al., 2014). A velocidade que têm cada ponta na trajetória curvilínea é dada em função da velocidade angular do pulverizador $V_p = \dot{\theta}_1 * R_p$ em que, $\dot{\theta}_1$ - velocidade angular do pulverizador (rad s^{-1}) e R_p - posição da ponta com relação ao centro do raio de curva (m). A vazão da ponta de aplicação Q para um pulverizador agrícola é definida pela taxa de agrotóxico a ser aplicada e a velocidade do pulverizador com a seguinte expressão:

$$Q = \frac{D_p V_p e_b}{60000} \quad (2)$$

em que,

D_p - taxa de aplicação (L ha^{-1});

V_p - velocidade de deslocamento do pulverizador no campo (m s^{-1});

e_b - distância entre os bicos (m).

Por outro lado, para bicos de cone cheio existe uma relação entre o tamanho de gota, a velocidade de aplicação das pontas e a taxa de aplicação (PEÑALOZA et al., 2016). Assim, o Diâmetro Médio de Sauter (SMD) pode ser estimado usando a seguinte expressão:

$$D_{SMD} = \frac{\pi(125e^7)(d_0)^{3,2} \nu_1}{D_p V_p e_b} \quad (3)$$

em que,

d_0 – diâmetro do orifício de descarga do bico (mm);

ν_1 – viscosidade cinemática do líquido (m^2s^{-1}).

Para a avaliação dos modelos e análises de resultados foram obtidas as condições de operação, em aplicações reais, do SDP (Figura 1a) e podem ser observadas na Tabela 1. Assim, foram avaliados quatro tratamentos um por ponta com diferentes diâmetros de orifício de descarga das referencias CH 0,5, CH 1, CH 3 e CH 6 da magnojet®. De outra parte, os modelos cinemáticos do conjunto trator pulverizador (Figura 1b) e a dinâmica das gotas foram simulados utilizando a plataforma MatLab® e Simulink® com os parâmetros físicos do conjunto dos seus respectivos manuais.

TABELA 1. Condições de operação reais obtidas do SDP para bicos de cone cheio (magnojet®).

PONTA	P (bar)	Qp (L min ⁻¹)	Dp (L ha ⁻¹)	Temperatura (C°)	Umidade (%)	Vp (km h ⁻¹)	do (mm)
MAG CH 0,5	3,4	0,53	67	23,6	51	10	0,5
MAG CH 1	3,4	1,02	85	23,4	61	14	1,0
MAG CH 3	3,4	1,46	100	24	49	18	1,5
MAG CH 6	2,4	1,90	120	23,7	58	20	2,0

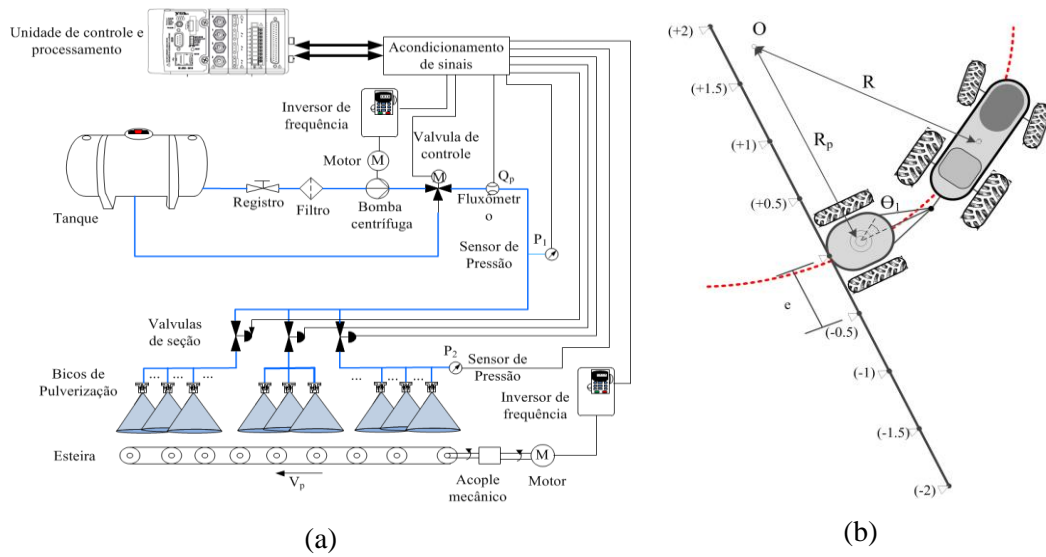


FIGURA 1. a) Diagrama de blocos do Sistema de Desenvolvimento de Pulverizadores (SDP) construído em parceria Embrapa/USP; b) Trator-pulverizador simulado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A relação entre o tamanho da gota e o raio da curva pode-se observar na Figura 2, para raios pequenos existe maior velocidade nas pontas externas ao sentido de giro (pontas -0.5, -1, -1.5 e -2 (metros)), portanto o tamanho de gota que cai na cultura se reduz consideravelmente. Em contrapartida, para raios pequenos as pontas internas ao sentido de giro têm uma velocidade menor (pontas +0.5, +1, +1.5 e +2 (metros)), por consequência, o tamanho de gota aplicado na cultura aumenta consideravelmente. Por exemplo, para a ponta CH1 o tamanho de gota para a barra externa é considerada fina (150-250 μm) passando para gota média (250-350 μm) na barra interna. Conjuntamente, dos resultados pode-se observar que para raios maiores ($R_p > 35$ m) a redução ou aumento do tamanho em trajetórias curvas não é tão crítico. Os erros de aplicação e a desviação no tamanho de gotas foram calculados considerando o bico central como referência. Na Figura 3a e 3b podem ser observados os erros de aplicação e os desvios no tamanho de gota respectivamente.

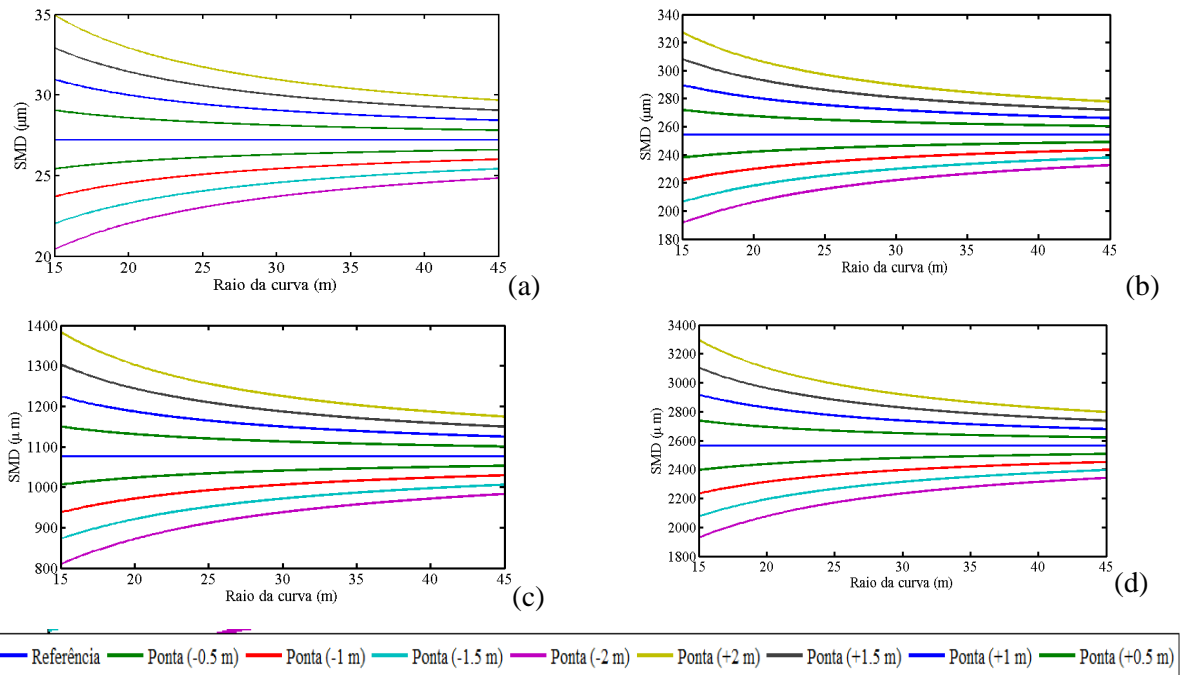


FIGURA 2. Diâmetros SMD para cada bico: a) CH0,5; b) CH1; c) CH3; d) CH6.

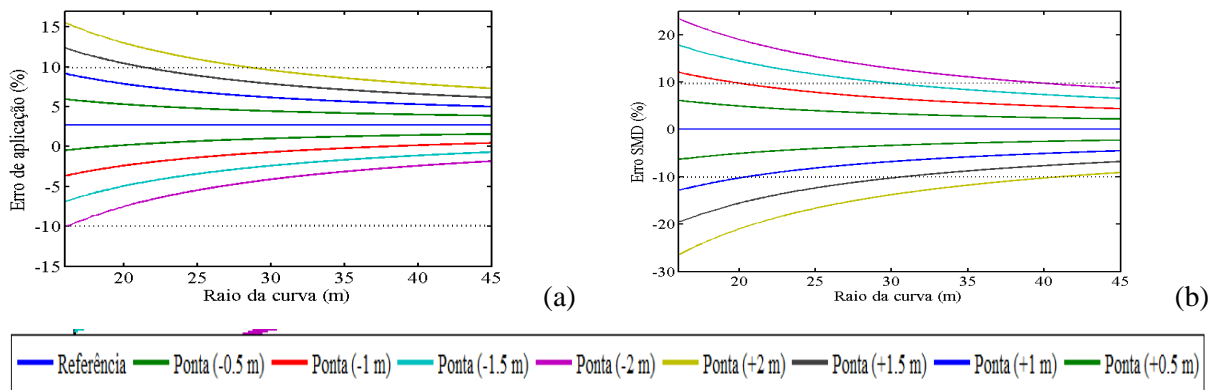


FIGURA 3. Resultados relativos aos erros de aplicação: a) erro de aplicação para bico CH3, b) erro no tamanho de gota para bico CH3.

O erro na taxa de aplicação é mais acentuado para raios pequenos, bem como, nas pontas interiores o erro de aplicação excede o 10% para raios pequenos ($R_p < 30$ m). Do ponto de vista do erro do tamanho com respeito ao bico central as pontas interiores e as pontas exteriores têm erros maiores a 10% para raios pequenos ($R_p < 45$ m). Portanto, em função do valor do erro o tamanho de gota é mais susceptível em relação ao radio e a velocidade do pulverizador que a taxa de aplicação, aclarando que os dois erros podem ser críticos na hora de realizar uma aplicação.

CONCLUSÕES: Os resultados obtidos utilizando dados reais sobre condições de operação de pulverizadores e condições de aplicação de agrotóxicos, assim como, os modelos da dinâmica das gotas e modelos cinemáticos de movimento forneceram uma base de conhecimento para tomada de decisão. Assim, a tomada de decisão pode ser baseada no tamanho de gota ou na taxa de aplicação, o que depende do tipo de problema que se quer tratar na cultura, mas também podem ser consideradas as duas bases para obter maior qualidade na hora de realizar uma aplicação.

REFERÊNCIAS

- ASABE. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. Niles Road, St. Joseph, MI, 2009.
- CRUVINEL, P. E.; OLIVEIRA, V. A.; FELIZARDO, K. R.; MERCALDI, H. V. Bancada automatizada para ensaios e desenvolvimento de pulverizadores de agrotóxicos, aplicadores de fertilizantes líquidos e maturadores em culturas agrícolas sob manejo baseado em agricultura de precisão, pp. 96-100. In: Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, ISBN 978-85-86463-31-0, 2011.
- PEÑALOZA, E. A. G.; MERCALDI, H. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E. An advanced model based on analytical and computational procedures for the evaluation of spraying processes in agriculture, IEEE Tenth International Conference on Semantic Computing (ICSC), pp. 432–436, 2016.
- KOHL, R. A. Drop size distribution from medium-sized agricultural sprinklers, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. v. 17, n. 4, pp. 690–693, 1974.
- MERCALDI, H. V.; FELIZARDO, K. R.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E. Modelagem de um Sistema de Injeção Direta de Herbicida em Taxa Variável para Aplicação em Culturas Agrícolas. 1. ed. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, pp. 101-105, 2011.
- PEÑALOZA, E.; MERCALDI, H.; FELIZARDO, K.; OLIVEIRA, V.; CRUVINEL, P. Modelo do erro de taxa de aplicação em função do ângulo de esterçamento de um pulverizador tratorizado. Anais do SIAGRO, Ciência, Inovação e Mercado, pp. 53–56, 2014.
- SUZUMURA, Y.; CRUVINEL, P. E. Análise de qualidade da eficiência da pulverização agrícola com processamento de imagem e rede neural. Sinergia, v. 6, n. 2, pp. 129–137, 2005.
- FELIZARDO, K. R.; MERCALDI, H. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E. Modelling and predictive control of a variable-rate spraying system, in: Modelling and Simulation (EUROSIM), Cardi, Wales, UK, pp. 202-207, 2013.