

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO DE AGROQUÍMICOS A TAXA VARIADA

IVAN CAMILO ARBELÁEZ RUIZ¹, MIGUEL ANGEL SALGADO HERRERA²,
WESLLEN LINS DE ARAUJO³, JENYFFER DA SILVA GOMES SANTOS⁴, ANGEL
PONTIN GARCIA⁵

¹ Engenheiro agrícola, Doutorando em engenharia agrícola (Máquinas Agrícolas), UNICAMP, (19)99940-7552, i193183@dac.unicamp.br

² Engenheiro mecatrônico, Doutorando em engenharia agrícola, UNICAMP.

³ Engenheiro mecânico, Mestrando em engenharia mecânica, UNICAMP.

⁴ Engenheira agrícola e Ambiental, Doutoranda em engenharia agrícola, UNICAMP.

⁵ Engenheiro agrícola, Prof. Livre Docente, UNICAMP.

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: A pulverização a taxa variada permite reduzir em até 70% o volume de defensivos agrícolas aplicados, diminuindo os custos, o impacto ambiental e os riscos na saúde, isto é, através do ajuste da taxa de produto aplicado com base em estimativas de características morfológicas dos alvos. O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um modelo dinâmico de um sistema de pulverização a taxa variada a partir do volume foliar, criado mediante dados experimentais, também se apresentam os resultados de redução de produto obtidos a partir da simulação do modelo com dados de profundidade e velocidade medidos em um aparato experimental. Na teoria o sistema de aplicação a taxa variada reduziria em até 26,26% os defensivos aplicados.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão; automação agrícola; maquinaria agrícola.

MODELING AND SIMULATION OF AN AGROCHEMICAL VARIABLE RATE SPRAYING SYSTEM

ABSTRACT: Variable rate spraying allows to reduce up to 70% of the applied agrochemical volume, lowering costs, environmental impact and human health risks, all of this through the adjustment of the applied agrochemical rate based on estimated morphological characteristics of the targets. This work describes the development of a variable-rate system dynamic model based on canopy volume built from experimental data, it also includes the product reduction results obtained from the simulation of the model running data acquired from an experimental apparatus. Theoretically, the variable rate system could reduce by up to 26,26% the applied agrochemicals.

KEYWORDS: Precision agriculture; agricultural automation; agricultural machinery.

INTRODUÇÃO: A pulverização de defensivos químicos em culturas perenes mostrasse mais complexa, em comparação com as culturas anuais, isto por conta da maior complexidade e a grande variabilidade na forma dos dosséis dentro da lavoura (MANANDHAR *et al.*, 2020). Nas metodologias tradicionais, os agroquímicos são aplicados a uma taxa uniforme, calculada com base em características do pomar como a área cultivada (PERGHER e PETRIS, 2008), o volume da fileira de árvores (SUTTON e UNRATH, 1984) e a área da parede foliar (GIL *et al.*, 2019), sem considerar as variações na forma e tamanho das plantas, o que faz com que, na maioria dos casos a aplicação ocorra a taxas por cima do requerido (ZHU *et al.*, 2008), incrementando a fração de produto depositado por fora da superfície foliar, o desperdício de insumos, o impacto ambiental e os riscos à saúde humana (FERGUSON *et al.*, 2018 e HOLOWNICKI *et al.*, 2002). Pesquisas desenvolvidas na área, focaram-se no desenvolvimento de sistemas hidráulicos que permitiam ajustar a taxa aplicada com base em estimativas da quantidade de material vegetal à frente do equipamento, (aplicação a taxa

variada), estes protótipos permitiram reduzir o volume de defensivos usados em até 53% na cultura da maçã (CHEN *et al.*, 2013), 37% na cultura da laranja (MOLTÓ *et al.*, 2001), 70% na cultura da azeitona (SOLANELLES *et al.*, 2005) e 28% na cultura da pera (SOLANELLES *et al.*, 2006). O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um modelo dinâmico de um circuito hidráulico de pulverização a taxa variada, a partir de dados experimentais, este permitiu desenvolver e avaliar uma estratégia de controle de ajuste da vazão, com base em estimativas do volume foliar.

MATERIAL E MÉTODOS: Foi construída uma montagem hidráulica para tirar os dados requeridos para desenvolver o modelo dinâmico, FIGURA 1.

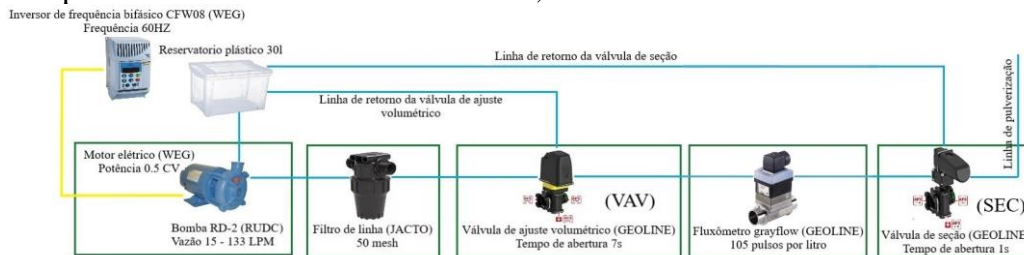


FIGURA 1. Sistema hidráulico avaliado.

Se realizaram incrementos de um segundo, até completar 7 segundos, na abertura do retorno da válvula de ajuste volumétrico (VAV), medindo o volume de água acumulado em 10 segundos, realizando 3 repetições para cada grau de abertura, esta informação permitiu desenvolver o modelo dinâmico do sistema hidráulico no complemento Simulink, do software Matlab, versão 2021a (Mathworks, Inc.). Posteriormente se construiu uma montagem experimental que permitiu simular a presença de plantas na fileira e o percorrido do pulverizador ao longo desta, este foi formado por 3 anteparos conformados por 4 fileiras de 5 alvos plásticos, colocados a distintas profundidades, quatro sensores ultrassônicos de distância (US) colocados à altura de cada alvo e suportados a um pórtico móvel que se deslocava por sobre uma caixa de solo que contava com um conjunto roda fônica-sensor de presença, este permitia medir a velocidade e a posição dos US. Se realizaram 4 passagens procurando manter uma velocidade constante e registrando a cada 0,03 segundos as distâncias reportadas pelos US, junto com sua velocidade de deslocamento e posição em arquivos de texto por meio de um dispositivo myRIO-1900 (National instruments). Logo depois, foi adicionado ao modelo dinâmico, um algoritmo de controle que utilizava as informações fornecidas nos arquivos de texto para calcular a variação do volume foliar, seguindo a metodologia dos (GIL *et al.*, 2013), em seguida e por meio do índice volumétrico, se calculou a vazão de produto requerida para tratar de forma satisfatória o volume de dossel percebido à velocidade de deslocamento atual, o algoritmo ajustava o grau de abertura do modelo da VAV e temporizava a abertura do modelo da SEC para entregar a vazão adequada no momento adequado. No final do modelo se integrou a vazão que ia até a linha de pulverização para calcular o volume de produto aplicado.

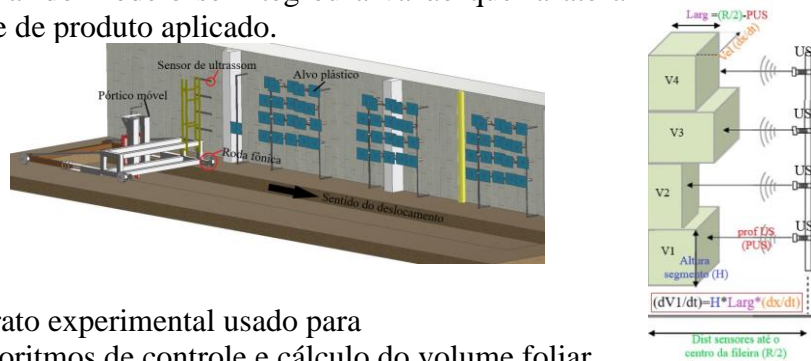


FIGURA 2. Aparato experimental usado para avaliação dos algoritmos de controle e cálculo do volume foliar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A FIGURA 3 mostra o gráfico com as médias das vazões nas três repetições para cada tempo de abertura da VAV, junto com a equação da aproximação linear e o coeficiente de determinação.

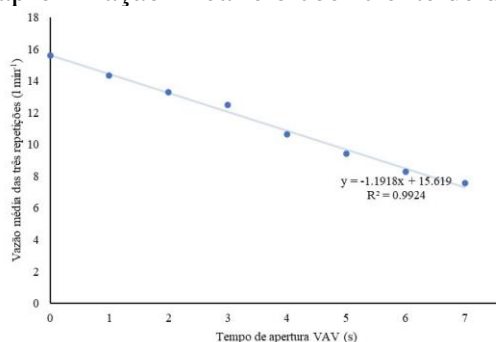


FIGURA 3. Redução da vazão com o tempo de abertura da VAV.

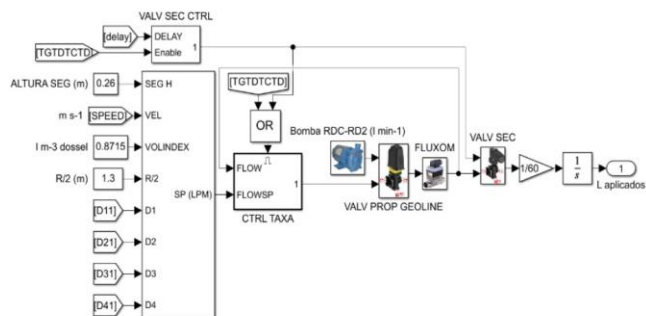


FIGURA 4. Modelo do sistema com os algoritmos de controle desenvolvidos.

A bomba entrega uma vazão constante de $15,619 \text{ l min}^{-1}$, já a válvula de ajuste volumétrico reduz este valor proporcionalmente em razão de $1,1918 \text{ l min}^{-1}$ por cada segundo de abertura do retorno. Na FIGURA 4 se mostra o diagrama de blocos do modelo e dos algoritmos de controle desenvolvidos. Se realizaram simulações com os 4 arquivos de informação gerados, executando uma pulverização a taxa variável e a taxa contínua (sem nenhuma manipulação dos modelos das válvulas). Na TABELA 1 se mostram os resultados de redução de volume de defensivos aplicado junto com as médias de velocidade de deslocamento para cada simulação dos dados de profundidade e velocidade avaliados.

TABELA 1. Redução do volume aplicado e velocidade de deslocamento média nas 4 repetições avaliadas

REPETIÇÃO	Taxa variável (L)	Taxa contínua(L)	Redução (%)	Velocidade média (ms^{-1})
1	4.082	4.667	12.53	0.454
2	4.338	5.883	26.26	0.3687
3	4.238	5.24	19.12	0.4161
4	4.163	4.941	15.75	0.4376
MÉDIA	-	-	18.42	0.42

Se observa uma relação inversamente proporcional entre a redução de defensivos aplicados e a velocidade de deslocamento, isto se deve a que, enquanto menor seja a velocidade de deslocamento, maior será o tempo que o controlador tem para ajustar a VAV. Por outra parte as velocidades de deslocamento avaliadas, foram o suficiente para obter a maior uniformidade possível entre repetições e impedir danos nos equipamentos, contudo, em comparação com as velocidades de deslocamento reportadas na avaliação de pulverizadores a taxa variada, de $0,75$ até $0,8 \text{ m s}^{-1}$ (CHEN *et al.*, 2013; SOLANELLES *et al.*, 2006), as velocidades atingidas foram notavelmente inferiores o que indicaria que sob condições de operação real a poupança de produto seria menor ao reportado na TABELA 1, a fim de resolver isto, se deveriam implementar atuadores que ofereçam uma maior velocidade no ajuste, como válvulas proporcionais operadas por meio de sinais PWM (DOU *et al.*, 2021).

CONCLUSÕES: O modelo dinâmico permitiu desenvolver e avaliar com sucesso, uma estratégia de controle da vazão para um sistema de pulverização a taxa variada, este permitiria reduzir até em 26,26% o volume de produto utilizado, porém as velocidades avaliadas foram significativamente menores em comparação com valores achados na literatura, o que indicaria que, sob condições reais de operação o sistema atingiria porcentagens de redução menores,

por tanto é recomendável implementar atuadores que ofereçam uma velocidade de ajuste maior.

AGRADECIMENTOS: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS:

- CHEN, Y *et al.* SPRAY DRIFT AND OFF-TARGET LOSS REDUCTIONS WITH A PRECISION AIR-ASSISTED SPRAYER. **Transactions of the ASABE**, [s. l.], v. 56, n. 6, p. 1273–1281, 2013.
- DOU, Hanjie *et al.* Comparison of orchard target-oriented spraying systems using photoelectric or ultrasonic sensors. **Agriculture (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 8, 2021.
- FERGUSON, J. Connor *et al.* Effect of spray droplet size on herbicide efficacy on four winter annual grasses. **Crop Protection**, [s. l.], v. 112, p. 118–124, 2018.
- GIL, Emilio *et al.* DOSAVIÑA: Tool to calculate the optimal volume rate and pesticide amount in vineyard spray applications based on a modified leaf wall area method. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 95, p. 136–150, 2013.
- GIL, Emilio *et al.* Variable rate sprayer. Part 2 - Vineyard prototype: Design, implementation, and validation. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 160, p. 117–130, 2019.
- HOLOWNICKI, Ryszard *et al.* METHODS OF EVALUATION OF SPRAY DEPOSIT AND COVERAGE ON ARTIFICIAL TARGETS. **Electronic Journal of Polish Agricultural Universities**, [s. l.], v. 5, n. 1, 2002. Disponível em: <http://www.ejpau.media.pl>.
- MANANDHAR, Ashish *et al.* Techno-economic impacts of using a laser-guided variable-rate spraying system to retrofit conventional constant-rate sprayers. **Precision Agriculture**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 1156–1171, 2020.
- MOLTÓ, E.; MARTÍN, B.; GUTIÉRREZ, A. Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. **Journal of Agricultural and Engineering Research**, [s. l.], v. 78, n. 1, p. 35–41, 2001.
- PERGHER, Gianfranco; PETRIS, Raffaella. Pesticide Dose Adjustment in Vineyard Spraying and Potential for Dose Reduction. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**, [s. l.], v. X, p. 1–9, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/264166370>.
- SOLANELLES, F. *et al.* An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops. **Biosystems Engineering**, [s. l.], v. 95, n. 4, p. 473–481, 2006.
- SOLANELLES, F *et al.* An electronic control system for proportional pesticide application to the canopy volume in tree crops. *Em:* , 2005. **EFITA/WCCA JOINT CONGRESS ON IT IN AGRICULTURE**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 236–243.
- SUTTON, T.B.; UNRATH, C.R. Evaluation of the Tree-Row-Volume Concept with Density Adjustments in relation to Spray Deposits in Apple Orchards. **Plant Disease**, [s. l.], v. 68, n. 6, p. 480–484, 1984.
- ZHU, H. *et al.* Influence of Spray Volume on Spray Deposition and Coverage within Nursery Trees. **Journal of Environmental Horticulture**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 51–57, 2008.