



DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE Sensores Eletrônicos para a DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DE PULVERIZAÇÃO

Robson Shigueaki Sasaki¹, Walisson Barbosa de Lima², Reginaldo Ferreira Lopes³,
Philippe Mourão Silva Diamante³

1 Professor Doutor do Departamento de Engenharia e Computação do Instituto Federal de Minas Gerais, IFMG, Bambuí/MG - Brasil, robson.sasaki@ifmg.edu.br

2 Engenheiro Agrônomo

3 Laboratorista do Departamento de Engenharia e Computação, IFMG, Bambuí/MG.

Recebido em: 15/08/2026 – Aprovado em: 05/09/2026 – Publicado em: 30/09/2026
DOI: 10.18677/EnciBio_2026C6

RESUMO

A tecnologia digital tem sido amplamente utilizada na agricultura para otimizar o monitoramento de lavouras. Com o intuito de aprimorar a avaliação da qualidade da pulverização, este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar sensores eletrônicos. Foram projetados e desenvolvidos seis modelos de sensores eletrônicos. Em seguida, conduziu-se um experimento, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3x7), sendo três modelos de ponta de pulverização, seis sensores eletrônicos desenvolvidos, acrescido do sensor de chuva, totalizando sete modelos diferentes de sensores, totalizando 21 tratamentos com 5 repetições por tratamento. Para o experimento, utilizou-se um equipamento costal, a pressão constante (CO₂), apenas com água, pressão de trabalho de 300 kPa e volume de pulverização de 212 L ha⁻¹. Adjacente aos sensores eletrônicos, adicionaram-se etiquetas hidrossensíveis e avaliaram-se os parâmetros técnicos da pulverização e a correlação entre os parâmetros técnicos da pulverização e os dados obtidos pelo sensor. Observou-se que o sensor com trilhas verticais entrelaçadas no formato de arco com ângulo de 32° e com espaçamento entre trilhas de 1,0 mm, apresentou melhor acurácia para avaliar a deposição de líquido durante as pulverizações. Para este sensor o valor de correlação obtido entre a variável tensão e cobertura foi de 0,7974, enquanto para a variável de tensão e densidade de gotas a correlação foi de 0,8779.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura digital; Espectro de gotas; Sensor para pulverização

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF ELECTRONIC SENSORS FOR DETERMINING SPRAYING QUALITY

ABSTRACT

Digital technology has been widely used in agriculture to optimize crop monitoring. Aiming to improve the assessment of spraying quality, this study aimed to develop and evaluate electronic sensors. Six models of electronic sensors were designed and developed. Then, an experiment was conducted, in a completely randomized design, in a factorial scheme (3x7), with three spray nozzles, six electronic sensors developed,

plus the rain sensor, totaling seven different sensor models, totaling 21 treatments with 5 repetitions per treatment. For the experiment, a costal equipment was used, at constant pressure (CO₂), with only water, working pressure of 300 kPa and spraying volume of 212 L ha⁻¹. Adjacent to the electronic sensors, water sensitive papers were added and the technical parameters of the spraying and the correlation between the technical parameters of the spraying and the data obtained by the sensor were evaluated. It was observed that the sensor with interlaced vertical tracks in the shape of an arc with an angle of 32° and with a spacing between tracks of 1.0 mm, showed better accuracy to assess liquid deposition during spraying. For this sensor, the correlation value obtained between the voltage variable and coverage was 0.7974, while the correlation between the voltage variable and droplet density was 0.8779.

KEYWORDS: Digital agriculture; Droplet spectrum; Sensor for spraying

INTRODUÇÃO

O processo de digitalização das informações no campo facilita as condições operacionais e as estratégias de planejamento e tomada de decisão. Na tecnologia de aplicação de agrotóxicos, diversos fabricantes têm automatizado seus equipamentos com sensores, sistemas de coleta de dados e inteligência embarcada, visando minimizar erros e aumentar a qualidade das operações. Diante disso, a forma como os defensivos são aplicados tornou-se objeto de estudo para garantir que o produto alcance o alvo de maneira eficiente, diminuindo as perdas e a contaminação ambiental.

A avaliação da qualidade desse processo é crucial para assegurar uma pulverização eficiente e com o mínimo de impacto ao meio ambiente. Tradicionalmente, essa análise é realizada por meio de etiquetas de papel hidrossensível. Esses papéis, sensíveis à água, são utilizados há mais de 30 anos para a avaliação do espectro de gotas (LI *et al.*, 2021).

O papel hidrossensível possui coloração amarela, quando a solução pulverizada entra em contato com a superfície do papel, a área de contato torna-se azul escura (WU *et al.*, 2025). O uso dessas etiquetas é amplamente difundido, servindo de base para diversas pesquisas de deposição, como as realizadas por Yu *et al.* (2021), Souza *et al.* (2022) e Vaz *et al.* (2024). De acordo com Vaz *et al.* (2024), esse método é eficiente, simples e rápido; entretanto, Xun e Gil (2024) ressaltam que os papéis hidrossensíveis possuem limitações de uso, principalmente na detecção de gotas menores que 32 µm. O papel hidrossensível possui limitações também quando se tem condições de alta cobertura do alvo.

Além disso, após a exposição em campo, as etiquetas precisam ser coletadas, digitalizadas e analisadas por meio de softwares ou aplicativos específicos para o fornecimento dos dados de deposição, fundamentais para o diagnóstico da pulverização. Esse procedimento analítico requer a disposição das etiquetas nas plantas, recolhimento, escaneamento e posterior processamento, demandando mão de obra qualificada, conforme explanado por Foque *et al.* (2018). Ademais, as etiquetas hidrossensíveis não possibilitam o resultado instantâneo, em tempo real, pois requer a análise no laboratório (LI *et al.* 2021). Somado a isso, Lipinski (2026) relata limitações metodológicas na etapa de análise, apontando que fatores como a qualidade da

imagem digitalizada, o processo de binarização e a alta taxa de cobertura superficial podem distorcer os resultados obtidos.

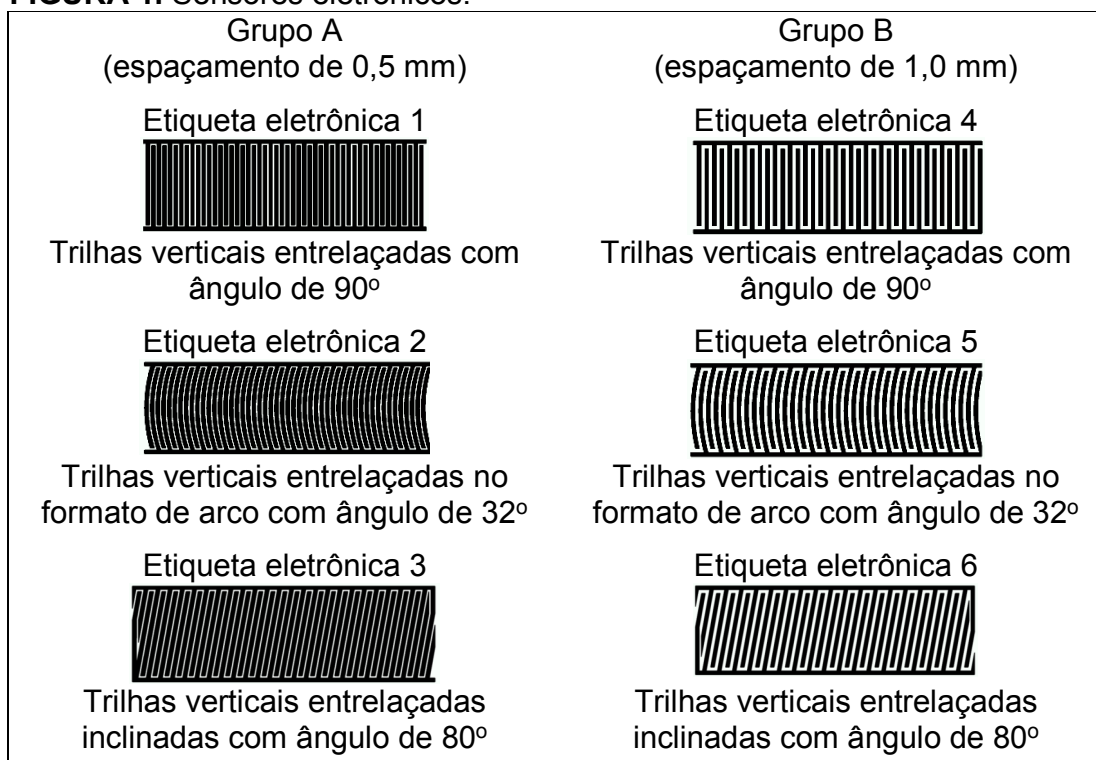
Com o intuito de aprimorar os métodos de quantificação da deposição no alvo, alguns pesquisadores têm desenvolvido e testado sensores eletrônicos. Foque *et al.* (2018), Wang *et al.* (2019), Longworth *et al.* (2020) e Li *et al.* (2021) desenvolveram e avaliaram sensores eletrônicos do tipo capacitivo na aplicação de agrotóxicos e, de modo geral, ressaltam que novos estudos ainda são necessários para validar essa tecnologia.

Diante dessa demanda por aperfeiçoamento nos métodos de monitoramento da pulverização, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar sensores eletrônicos voltados à mensuração da qualidade da aplicação em campo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido nos laboratórios de Eletrônica e de Máquinas e Mecanização Agrícola do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí. Inicialmente, com o auxílio do *software* de modelagem 3D SketchUp® (versão Make 2017), projetaram-se seis modelos de sensores eletrônicos (76 mm x 26 mm). Na superfície de cada dispositivo, foi desenhado um circuito composto por duas trilhas de 1,0 mm de espessura, dispostas de forma isolada e entrelaçada. Os modelos foram divididos em três *designs* distintos, combinados com dois tipos de distanciamento: o Grupo A, com espaçamento de 0,5 mm entre as trilhas, e o Grupo B, com espaçamento de 1,0 mm (Figura 1).

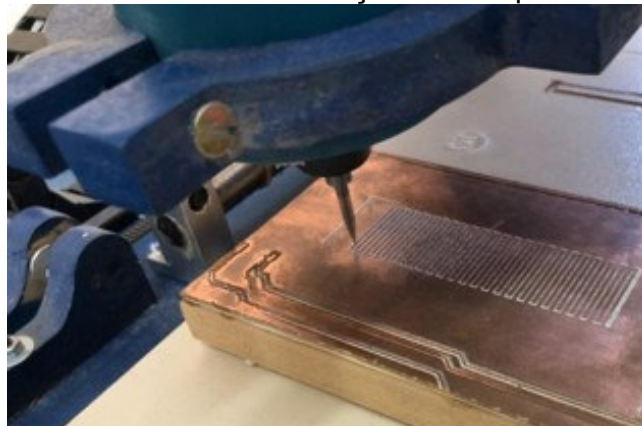
FIGURA 1. Sensores eletrônicos.



Fonte: Os autores (2026)

Após o projeto dos sensores, estes foram usinados em placas de fenolite, utilizando-se uma máquina fresadora CNC *Router*.

FIGURA 2. Processo de fabricação das etiquetas eletrônicas.

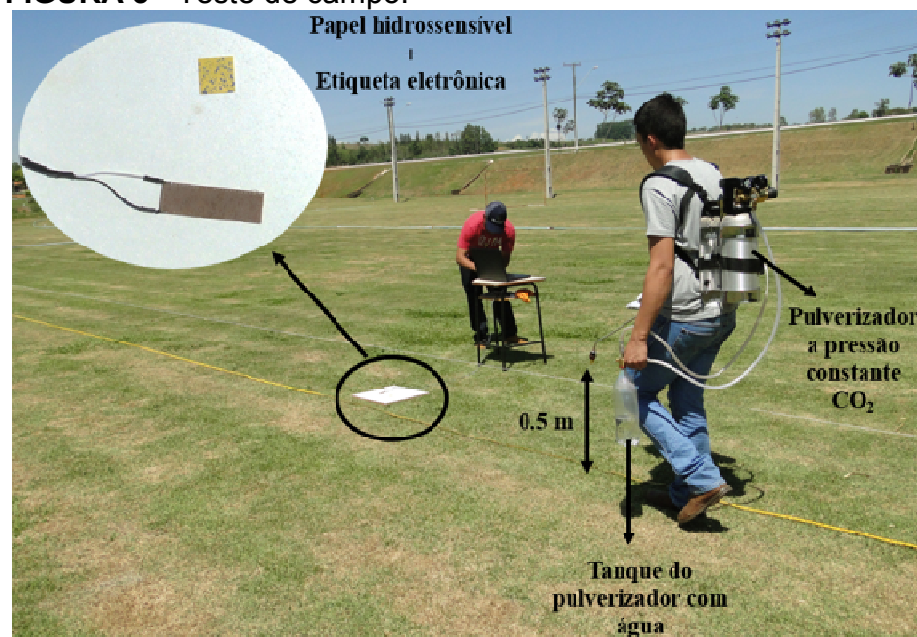


Fonte: Os autores (2026)

O sistema eletrônico foi composto pelo sensor eletrônico, módulo driver, microcontrolador (modelo UNO R3) e algoritmo para interpretação dos dados, que foi desenvolvido utilizando a IDE (ambiente de desenvolvimento) versão 1.8.10. A entrada analógica A5 do Arduino recebeu valores de 0 a 1.023, o que equivale a 1.024 valores, sem a deposição de gotas ela recebe o valor de 1.023 e com deposição total de gotas sobre o sensor, ou seja, cobertura de 100%, ela recebe o valor 0. Para converter esses valores, por meio da função MAP, os valores lidos pelo microcontrolador foram transformados para volts, o que equivale 0,0048828125Vcc por valor de leitura realizada na porta analógica. Posteriormente as leituras provenientes do sensor/módulo driver são recebidos e processadas pelo Arduino, e os resultados são exibidos pelo monitor serial.

Após o desenvolvimento do sistema eletrônico, procederam-se as avaliações e validações de campo. Conduziu-se um experimento, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (3x7), sendo três modelos de ponta de pulverização (AI 11002VS TeeJet®, TTI 11002 Teejet® e JSF 11002 Jacto®), seis sensores eletrônicos desenvolvidos, acrescido do sensor de chuva (LM 393), totalizando sete modelos diferentes de sensores, totalizando 21 tratamentos com 5 repetições por tratamento. Os testes do experimento foram realizados em condições de campo (Figura 3).

FIGURA 3 - Teste de campo.



Fonte: Os autores (2026)

Ressalta-se que anteriormente as pulverizações, realizou-se a calibração do pulverizador. Com o auxílio de duas estacas, estabeleceu-se uma baliza, com distância de 30 m, e coletou-se o tempo (segundos) gasto para percorrer essa distância. Em seguida, no tempo gasto para percorrer a distância previamente estabelecida, coletaram-se as vazões de líquido de cada ponta hidráulica. Os resultados foram extrapolados para determinar o volume de líquido em $L\ ha^{-1}$. Tais procedimentos foram repetidos por cinco vezes. A baliza montada anteriormente, foi utilizada para os ensaios seguintes. Para manter a mesma distância de aplicação do alvo artificial (etiqueta eletrônica e etiqueta de papel hidrossensível), esticou-se uma linha nessas duas estacas a uma altura de 0,5 m do nível do solo para servir como uma baliza no momento das aplicações.

Utilizou-se um equipamento costal, a pressão constante (CO_2), operando-se apenas com água e a pressão de trabalho de 300 kPa. O pulverizador foi devidamente calibrado e aplicou $212\ L\ ha^{-1}$. As condições meteorológicas durante as realizações dos testes foram monitoradas. A cada teste, foi realizado a calibração dos sensores eletrônicos, realizava-se a averiguação do valor de tensão, que neste caso deveria apresentar o valor de zero. Em seguida, coletaram-se o valor de tensão elétrica provenientes das deposições das gotas pulverizadas sobre a superfície de cada sensor, e adjacente as etiquetas eletrônicas adicionaram-se etiquetas hidrossensíveis, com tamanho de 25 x 25 mm, para avaliar os parâmetros técnicos da pulverização (DMV, cobertura, densidade e índice SPAN). Durante a coleta de dados, colocaram-se tanto as etiquetas eletrônicas, quanto as etiquetas hidrossensíveis sob uma placa de madeira MDF, na cor branca, com tamanho de 0,5 x 0,5 m.

Após as pulverizações, as etiquetas foram devidamente armazenadas e em condições de laboratório, estas foram fotografadas e analisadas com o auxílio do *software* ImageTool 3.0. Com o intuito de verificar a correlação entre os parâmetros técnicos da pulverização e os dados obtidos pelo sensor, aplicaram-se teste de correlação de Person entre as variáveis, adotou-se o teste t aos níveis de 5 a 1% de probabilidade. Para o comparativo das médias entre os tratamentos, adotou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os softwares estatísticos utilizados foram Sisvar versão 5.6 e Assistat versão 7.7 beta.

O uso de inteligência artificial generativa limitou-se à revisão gramatical e organização textual, utilizando o Gemini, desenvolvido pela Google. Nenhum conteúdo científico foi gerado com o auxílio da IA. Em conformidade com Brasil (2026), os autores garantem a integridade, a originalidade e a validação dos resultados apresentados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições meteorológicas durante os ensaios permaneceram com temperaturas do ar entre 22 °C e 27 °C, umidade relativa entre 50% e 83% e a velocidade média do vento de 1,9 m s⁻¹. A média das vazões de líquidos, a pressão de trabalho 300 kPa, proporcionado pelas pontas AI 11002VS foi de 0,81 L min⁻¹, para a ponta TTI 11002 foi de 0,83 L min⁻¹, e para a ponta JSF 11002 foi de 0,84 L min⁻¹.

Conforme as avaliações de campo, nas análises das etiquetas hidrossensíveis, a média dos parâmetros técnicos de pulverização, variou em função do modelo da ponta de pulverização hidráulica (Tabela 1).

TABELA 1. Parâmetros de pulverização produzidos pelas pontas AI 11002VS, TTI 11002 e JSF 11002.

Ponta hidráulica	DMV (µm)		Cobertura (%)		Densidade (gotas cm ⁻²)		SPAN	
AI 11002VS	711,09	a	17,993	a	41,974	a	0,93	a
TTI 11002	741,112	a	12,334	b	28,506	b	0,95	a
JSF 11002	583,424	b	31,285	c	133,628	c	1,01	a
QM _{resíduo}	17463,86		24,37		426,71		0,029	
CV (%)	19,48		24,03		31,12		17,82	
DMS	75,39		2,82		11,78		0,098	

Em cada parâmetro de pulverização, as médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si no teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observou-se que quanto menor o diâmetro das gotas pulverizadas, ou seja, menor o valor do parâmetro DMV, maiores foram a % de cobertura do alvo e a densidade de gotas, corroborando com Garcia *et al.* (2025).

Todos os sensores desenvolvidos foram capazes de produzir uma tensão elétrica em contato com líquido, demonstrando que podem ser utilizados para detectar eletronicamente a deposição de líquido durante a pulverização sob um determinado alvo (Tabela 2).

TABELA 2. Tensões (Vcc) dos diferentes modelos de sensores com base no líquido depositado pelas pontas AI 11002VS, TTI 11002 e JSF 11002

Sensor eletrônico	Pontas Hidráulicas					
	AI 11002VS		TTI 11002		JSF 11002	
1	2,96	a C	3,09	a B	4,00	b B
2	2,98	a C	2,59	a B	3,69	b B
3	3,00	a C	2,46	ab B	3,51	b B
4	2,79	a BC	2,61	a B	3,67	b B
5	2,13	b AB	1,18	a A	3,69	c B
6	1,41	a A	2,68	c B	2,03	b A
7	1,58	a A	2,78	b B	1,54	a A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si no teste de Tukey, a 5% de probabilidade. $QM_{\text{resíduo}}=0,156$. Erro Padrão= 0,177.

$DMS_{\text{linha}} = 0,59$; $DMS_{\text{coluna}} = 0,75$.

Ao comparar os modelos de sensores eletrônicos com os diferentes modelos de pontas hidráulicas, constatou-se que os sensores 5 e 6, diferenciaram-se estatisticamente os valores médios de tensões, demonstrando que esses modelos foram capazes de diferenciar as três pontas hidráulicas utilizadas. Observa-se que o sensor 5, apresentou maior correlação entre % de cobertura e a resposta do sensor eletrônico, ou seja, a ponta hidráulica JSF 11002, que apresentou a maior cobertura do alvo, foi a que apresentou o maior valor de tensão, seguido da ponta AI 11002VS e TTI 11002. Empregando-se outros sensores eletrônicos tal correlação também foi obtida por Foque *et al.* (2018) e Longworth *et al.* (2020). Já o sensor 6, embora tenha apresentado valores de tensões elétricas diferentes para as diferentes % de coberturas, não se observou esta mesma relação. Para os demais sensores não observaram nenhuma correlação entre os parâmetros técnicos da pulverização e valores obtidos pelo sensor eletrônico.

Para validar os dados obtidos, na análise de correlação entre as variáveis, verificou-se que as alterações dos valores de tensões são acompanhadas por alterações dos parâmetros técnicos da pulverização, e variou de acordo com o modelo do sensor utilizado (Tabela 3). De acordo com os resultados obtidos, o sensor 6 apresentou diferença estatística nos valores de tensão obtido de acordo com as diferentes pontas hidráulicas, entretanto ao aplicar o teste de correlação, não apresentou significância com os parâmetros da pulverização. Observou-se que os

sensores 4 e 5 apresentaram correlação alta e significativa entre os dados do sensor e etiqueta hidrossensível. Entretanto, em uma análise detalhada, ao avaliar conjuntamente o teste de média e o teste de correlação, o sensor 4 não apresentou diferença significativa entre os valores de tensão para as pontas AI 11002VS e TTI 11002.

TABELA 3. Correlação entre as variáveis obtidos pelos sensores eletrônicos e etiquetas hidrossensíveis

Sensor eletrônico	Variáveis	Parâmetros técnicos da pulverização – Etiqueta hidrossensível							
		DMV		Cobertura		Densidade		Span	
1	Tensão	0,1976	ns	0,7271	**	0,7664	**	0,3942	ns
2	Tensão	-0,2737	ns	0,7809	**	0,7824	**	-0,0509	ns
3	Tensão	-0,4262	ns	0,7358	**	0,8175	**	0,4294	ns
4	Tensão	-0,6476	**	0,7440	**	0,8479	**	-0,0096	ns
5	Tensão	-0,5479	*	0,7974	**	0,8779	**	-0,0001	ns
6	Tensão	0,1934	ns	-0,1812	ns	-0,1562	ns	0,0043	ns
7	Tensão	0,4906	ns	-0,4313	ns	-0,4919	ns	-0,0921	ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq P < 0,05$); ns não significativo ($P \geq 5\%$).

O sensor 6 embora apresentou diferença significativa dos valores de tensão, não apresentou correlação significativa. Já o sensor 5 foi o que apresentou melhores resultados, tanto para o teste de médias quanto para o teste de correlação, possibilitando-se assim obter dados de deposição e com eventual possibilidade de distinguir o tamanho das gotas pulverizadas. Os demais sensores eletrônicos, no presente ensaio, apresentaram menor acurácia. Tendo em vista os diferentes modelos de sensores desenvolvidos, embora alguns sensores apresentaram baixa correlação nos parâmetros avaliados, o motivo é que podem requerer uma calibração diferenciada, corroborando com Longworth *et al.* (2020), em que ao desenvolverem e avaliarem um sensor para medir deposição de agrotóxicos, observaram que existe a necessidade de diferentes calibrações de acordo com o tamanho da gota.

Tais sensores, podem exigir uma calibração diferente. Para o sensor 5 o maior valor de correlação obtido entre a variável tensão e cobertura foi de 0,7974, e a variável de tensão e densidade de gotas a correlação foi de 0,8779. Dai *et al.* (2022), na mesma linha de desenvolvimento, porém utilizando outra tecnologia, obtiveram correlação acima de 0,90 para cobertura e 0,75 para a densidade de gotas. Li *et al.* (2021) avaliaram um sensor na pulverização de agrotóxicos empregando-se diferentes modelos de pontas de pulverização e observaram correlação entre deposição e tensão na saída do sensor variante entre 0,86 e 0,97.

De acordo com o desenho do sensor, pode haver coalescência das gotas na superfície, alterar relação da área superficial e ângulo de contato, o que pode alterar o valor obtido pelo sensor. Estudos complementares utilizando outras pontas e

composições de calda de pulverização são necessários para o aperfeiçoamento dos sensores de acordo com a especificidade de cada aplicação. No presente ensaio, buscou-se desenvolver e avaliar diferentes modelos de etiquetas eletrônicas, com o intuito de observar qual sensor apresentaria o melhor resultado, haja vista que, diferentes sensores podem apresentar resultados diferentes, corroborando com Hornero *et al.* (2017), os quais avaliaram diferentes sensores capacitivos na pulverização e constataram que o formato do sensor pode alterar os valores obtidos.

Os resultados obtidos são de extrema importância, e abre um leque de possibilidades para uso, uma vez que, conforme relatado por Queiroz *et al.* (2020), o sensor é a base da agricultura digital, pois fornece dados para o desenvolvimento de sistemas de supervisão. Dai *et al.* (2022) relataram a vantagem do uso de sistemas de detecção, cobertura e da qualidade da deposição em uma pulverização é capaz de reduzir os custos de produção e promover o desenvolvimento de tecnologias de proteção de cultivos. O sensor eletrônico pode ser utilizado no monitoramento em tempo real, bem como monitoramento remoto das pulverizações, auxiliar em técnicas para minimizar as perdas, aumentar a qualidade das pulverizações e criar um banco de dados georeferenciados. A digitalização das informações facilita a operação e a tomada de decisão estratégica, opiniões semelhantes foram expressadas por Simionato *et al.* (2020).

CONCLUSÕES

O sensor com trilhas verticais entrelaçadas no formato de arco com ângulo de 32° e com espaçamento entre trilhas de 1,0 mm, apresentou melhor acurácia para avaliar a deposição de líquido durante as pulverizações, possibilitando a obtenção de dados de deposição e a distinção do tamanho de gotas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Portaria CNPq nº 2.664, de 6 de março de 2026:** Institui a Política de Integridade na Atividade Científica do CNPq. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2026. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-cnpq-n-2.664-de-6-de-marco-de-2026-691779232>. Acesso em: 09 jul. 2026.

DAI, S.; WANG, M.; OU, M.; ZHOU, H.; JIA, W.; GAO, R.; WANG, C.; WANG, G.; LI, Z.; CHEN, H. Development and Experiment of an Online Measuring System for Spray Deposition. **Agriculture**, v.12, n. 1195, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/agriculture12081195>>. doi: 10.3390/agriculture12081195

FOQUE, D.; DEKEYSER, D.; LANGENAKENS, J.; NUYTENS, D. Evaluating the usability of a leaf wetness sensor as a spray tech monitoring tool. *International Advances in Pesticide Application. Aspects of Applied Biology*, v. 137, 2018. Disponível em https://www.researchgate.net/profile/David-Nuytens/publication/322797958_Evaluating_the_usability_of_a_leaf_wetness_sensor_as_a_spray_tech_monitoring_tool/links/5a708cd0aca272e425ed124f/Evaluating-the-usability-of-a-leaf-wetness-sensor-as-a-spray-tech-monitoring-tool.pdf.

GARCIA, L. C.; SCHINIGOSKI, Y. C.; OLIVEIRA, C. A. C.; WEIRICH NETO, P. H.; FELEMA, S.; GONÇALVES, D. R. P. Types of Spray Nozzles for Fungicide Application in Wheat Crop. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 68, p. 1-10, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-4324-2025240623>>. doi: 10.1590/1678-4324-2025240623

HORNERO, G.; GAITÁN-PITRE, J. E.; SERRANO-FINETTI, E.; CASAS, O.; PALLAS-ARENY, R. A novel low-cost smart leaf wetness sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 43, p. 286-292, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.001>>. doi: 10.1016/j.compag.2017.11.001

LI, L. L.; ZHANG, R.; CHEN, L. P.; YI, T.; XU, G.; et al.; Development of sensor system for real-time measurement of droplet deposition of agricultural sprayers. *International Journal Agricultural & Biology Engineering*, v. 14, n. 5, p. 19-26, 2021. Disponível em: <<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20210453019>>. doi: 10.5555/20210453019

LIPINSKI, S. Image-Based Evaluation of Spray Deposition Using Water-Sensitive Papers: Metrics, Limitations, and Practical Implications. *AgriEngineering*, v. 8, n. 220, p1 - 21, 2026. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/agriengineering8060220>>. Doi: 10.3390/agriengineering8060220

LONGWORTH, L.; POST, S.; JERMY, M.; HENDRICKSON, H.; STEEL, J.; et al.; Evaluating capacitive wetness sensors for measuring deposition in electrostatically charged spraying operations. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 179, p. 1-12, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169920309649>>. doi: 10.1016/j.compag.2020.105829>.

QUEIROZ, D. M.; COELHO, A. L. F.; VALENTE, D. S. M.; SCHUELLER, J. K. Sensors applied to Digital Agriculture: A review. *Revista Ciência Agronômica*, v.51, p. 1-15, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200086>>. doi: 10.5935/1806-6690.20200086

SIMIONATO, R.; TORRES NETO, J. R.; SANTOS, C. J.; RIBEIRO, B. S.; ARAÚJO, F. C. B.; et al.; Survey on connectivity and cloud computing technologies: State-of the-art

applied to Agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, v.51, p. 1 -19, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200085>>. doi: 10.5935/1806-6690.20200085

SOUZA, F. G.; PORTES, M. F.; SILVA, M. V.; TEIXEIRA, M. M.; FURTADO JÚNIOR, M. R. Impact of sprayer drone flight height on droplet spectrum in mountainous coffee plantation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, n.12, p.901-906, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p901-906>>. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p901-906

VAZ, V.; FERREIRA, G. A. P.; FREITAS, F. C. L.; PAIVA, M. C. G.; LEMOS, A. S.; *et al.*; Spray volume and droplet spectrum in the control of *Bidens pilosa* and *Ipomoea triloba* with the Fomesafen herbicide. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.28, n.8, p. 1-7, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n8e282568>>. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v28n8e282568

WANG, P.; YU, W.; OU, M.; GONG, C.; JIA, W.; Monitoring of the Pesticide Droplet Deposition with a Novel Capacitance Sensor. **Sensors**, v. 19, n. 537, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/s19030537>>. doi: 10.3390/s19030537

WU, C.; YANG, C.; LIN, J. Water-sensitive paper detection and spray analysis. **Multimedia Tools and Applications**, v. 84, p. 38797-38851, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11042-025-20697-2>>. doi: 10.1007/s11042-025-20697-2

XUN, L; GIL, E. A novel methodology for water-sensitive papers analysis focusing on the segmentation of overlapping droplets to better characterize deposition pattern. **Crop Protection**, v. 176, p. 1-14, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106492>>. doi: 10.1016/j.cropro.2023.106492

YU, S. H.; YUN, Y. T.; CHOI, Y.; DAFSARI, R. A.; LEE, J. Effect of Injection Angle on Drift Potential Reduction in Pesticide. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 46, p. 129-138, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s42853-021-00093-y>>. doi: 10.1007/s42853-021-00093-y