

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DEPOSIÇÃO DO PESTICIDA PULVERIZADO DA FORMA TRADICIONAL E ELETROSTÁTICA EM FOLHAS UTILIZANDO OS ALGORITMOS GRABCUT E WATERSHED

EVALUATION OF THE DEPOSITION EFFICIENCY OF THE PESTICIDE SPRAYED IN THE TRADITIONAL AND LETHOSTATIC WAY ON LEAVES USING THE GRABCUT AND WATERSHED ALGORITHMS

Geovane Sant'Ana da Silva*
Ramon Adrian Salinas Franco**

RESUMO

O forte crescimento do agronegócio exigiu do setor agrícola maiores quantidades de pesticidas aplicadas em plantações, objetivando maior produtividade. Logo, seu uso e aplicação correta necessitam de mecanismos de avaliação que possam estimar a eficiência de cobertura do pesticida sobre a planta. O objetivo desse estudo é avaliar dois métodos gerais de pulverização, tradicional e eletrostático, realizando a contagem de gotas depositadas sobre as folhas, a fim de preservar diversos tipos de culturas agrícolas. Para tal avaliação utilizaram-se técnicas de Processamento Digital de Imagens, baseadas em: a) aquisição da imagem; b) segmentação por *Grabcut*; c) filtro mediano 5x5; d) conversão em escala de cinza; e) binarização da imagem; e f) transformada *Watershed* (contagem). Os métodos propostos pela literatura realizaram seus testes através da análise do papel hidrossensível, estudo este que realizou seus experimentos diretamente sobre a folha em análise. Inicialmente foi analisado um grupo de 10 imagens (5 de cada método), onde a técnica proposta demonstrou um desempenho de 89,14% para o método tradicional, comparado com a contagem de um engenheiro-agrônomo, e 80,50% para o método eletrostático, comparado com a contagem do software *ImageJ*.

Palavras-chaves: Pulverização. Segmentação. Watershed. Grabcut. Processamento Digital de Imagens.

ABSTRACT

The strong growth of agribusiness has demanded larger quantities of pesticides to be applied to plantations, aiming at higher productivity. Therefore, their use and correct application require evaluation mechanisms that can estimate the efficiency of pesticide coverage on the plant. The objective of this study is to evaluate two general methods of spraying, i.e. traditional and electrostatic, by counting droplets deposited on the leaves, in order to preserve various types of agricultural crops. For this evaluation, Digital Image Processing techniques were used, based on: a) image acquisition; b) segmentation by *Grabcut*; c) grayscale conversion; d) 5x5 median filter; e) binarization of the image; and f) *Watershed* transformed (counting). The experiments were carried out experiments

* Bacharel em Ciência da Computação. FATECE - Faculdade de Tecnologia, Ciências e Educação. geovanasantanasilva@gmail.com

** Mestre em Tecnologia na Universidade Estadual de Campinas - Faculdade Tecnológica (UNI- CAMP). Docente da FATECE - Faculdade de Tecnologia, Ciências e Educação. radrian20@gmail.com

directly on the leaf under analysis. Initially, a group of 10 images (5 for each method) was analyzed, where the proposed technique demonstrated a performance of 94.69% for the traditional method, compared to a specialist count, and 80.50% for the electrostatic method, compared to the ImageJ software count.

Keywords: Spraying. Segmentation. Watershed. Grabcut. Digital Image Processing.

Introdução

O Brasil é o terceiro maior exportador de produtos agrícolas do mundo, tendo itens como soja, milho, café, cana-de-açúcar, fumo e laranja em destaque. Está à frente de países como Canadá, Austrália e China. Estimativas do Cepea¹ mostram que em 2017 o setor do agronegócio teve um aumento de 14% comparado ao mesmo período de 2016, totalizando R\$ 96 bilhões em faturamento, representando 44% de toda exportação do País (CEPEA, 2018).

A exemplo disso temos o café, grão este que tem grande representação no cenário nacional. A produção brasileira de café equivale a 36% da produção mundial, ocupando cerca de 1,88 milhões de hectares do território brasileiro em plantio. O estado de São Paulo é o terceiro maior produtor do Brasil, representando 10% de toda a produção (FERREIRA; SANTOS, 2018, p. 1).

O Brasil desenvolve o maior programa mundial de pesquisas em café. Avanços significativos da cafeicultura brasileira estão relacionados a pesados investimentos em pesquisas em áreas importantes, como o melhoramento genético, biotecnologia e manejo de pragas, desenvolvidas anualmente pelo Consórcio Pesquisa Café, rede integrada de instituições brasileiras de pesquisa).

A soja é outro produto com forte atuação no mercado nacional. O Governo Brasileiro estima que em 2018 o País produzirá 114,7 milhões de toneladas do grão, registrando um aumento de 2,3% comparado a 2017. Do total produzido, 68 milhões de toneladas serão para exportação. Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos (AGRICULTURA et al., 2018).

Considerando a importância do agronegócio no âmbito nacional, é fundamental que essas culturas sejam continuamente supervisionadas no campo, como, por exemplo, controlando seu índice de pulverização e, dessa forma, impedindo que pragas as afetem em dimensão econômica, dificultando sua produção e desenvolvimento (PRADO, 2015).

¹ Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

O Processamento Digital de Imagens (PDI) baseia-se na simulação da capacidade da visão humana e sua compreensão, tal representação é gerada com auxílio de um computador, permitindo, dessa forma, assimilar matematicamente a imagem obtida. Tem por objetivo aprimorar a qualidade da imagem para interpretação do analista humano, favorecendo a extração de informações para análise, gerando ainda, resultados para futuros processamentos (FACON, 2006).

Técnicas de PDI vêm contribuindo para o desenvolvimento de diversos ramos essenciais da humanidade devido a sua flexibilidade de aplicação. O PDI pode ser aplicado em diversas áreas, e vem se mostrando extremamente eficaz na resolução de problemas, como em áreas médicas para descoberta de doenças, na agricultura para detecção e controle de pragas, na indústria para auxiliar no controle de qualidade, na construção civil, no teste de novos materiais, dentre outras (FRANCO; MARTINS; CARVALHO, 2016; ANGELIN et al., 2017; PERNOMIAN; DUARTE; ISAAC, 2004).

Na Pulverização, o PDI vem contribuindo para controlar a qualidade das aplicações de pesticidas nas plantações, diminuindo o consumo de insumos, preservando a qualidade do solo e assim reduzindo o impacto ambiental (CHAIM, 1999).

Os conceitos básicos para avaliação da cobertura do pesticida consistem preliminarmente na contagem de gotas. Após o cálculo, a análise é feita com informações extraídas das gotas, compreendidas por: (a) densidade de cobertura, indicada em porcentagem de área coberta por cm^2 ; (b) diâmetro mediano volumétrico, descreve o tamanho médio das gotas; (c) diâmetro relativo variado, indica a variação dos tamanhos das gotas. Essas informações em conjunto expressam a qualidade, precisão e sobretudo o espalhamento do pesticida sobre a planta (MACHADO et al., 2018).

Como proposta inicial, esse estudo empregou técnicas de PDI para criação de um sistema de contagem de gotas de pesticida. O sistema também permite avaliar, por inspeção visual, a área de cobertura do pesticida, permitindo que o agricultor ou engenheiro-agrônomo avaliem a área pulverizada da folha. Foram analisadas duas formas de pulverização agrícola, método tradicional e método eletrostático.

1 Pulverização

1.1 Método Tradicional de Pulverização Agrícola

Os romanos foram os primeiros povos a utilizar pesticidas para controle de pragas. Eles utilizavam a fumaça gerada pela queima do enxofre para conter o ataque de pulgões

nas plantações de trigo, e também utilizavam sal para erradicar ervas daninhas (BOHMONT et al., 1990).

O uso de equipamentos para aplicação de pesticida iniciou-se entre 1867 e 1900. Chaim (1999) afirma que tal evolução se deu em decorrência da evolução industrial, que por sua vez motivou enorme êxodo rural, aumentando a população nas regiões urbanas, ampliando assim o consumo de produtos agrícolas. Esses acontecimentos motivaram o surgimento de novos métodos para alargar a produção no campo.

Vargas e Gleber (2005) apontam uma série de fatores a se estudar antes da aplicação do produto, como condições climáticas, velocidade do vento, previsão meteorológica, umidade relativa, horário adequado, equipamentos e pressão adequada dos bicos hidráulicos.

Para Vargas e Gleber (2005), o sucesso na aplicação está na correta calibragem dos bicos hidráulicos, os quais são responsáveis pela distribuição uniforme da calda sobre a planta, impedindo desperdício e redução da produtividade.

Entretanto, é conhecido que o método tradicional de pulverização traz uma baixa taxa de acerto nas aplicações, em média 30 a 70% dos defensivos são desperdiçados (VICENTE, 2016).

1.2 Método Eletrostático de Pulverização Agrícola

De acordo com Vicente (2016), a pulverização eletrostática é uma técnica que utiliza carga eletrostática para melhor fixar as gotas de pesticidas sobre a planta, trazendo maior eficiência em seu modo de aplicação, tendo cerca de 40% de economia no processo. No Brasil essa técnica teve início com estudos realizados pelo pesquisador da Embrapa, Aldemir Chaim (CHAIM, 1999).

Para Vicente (2016), não há diferença entre as aplicações realizadas hoje e aquelas realizadas em 1984. As máquinas foram aprimoradas para agilizar o processo de aplicação, porém, pouco serviram para aprimorar a eficiência em fixar o produto na planta. A máquina despeja uma nuvem de pesticida que se assenta sobre a folha por gravidade, mas dependendo da cultura nenhuma gotícula atinge a folha devido à evaporação.

A grande diferença entre os dois métodos, tradicional e eletrostático, está na adaptação do sistema hidráulico, permitindo que os bicos operem com carga eletrostática, possibilitando que as gotas também se fixem na parte inferior da planta (VICENTE,

2016).

2 Definição do Problema

Bon et al. (2014) definem pesticidas como composições químicas destinadas a anular os efeitos nocivos de ervas daninhas, fungos ou insetos. Seu uso é dissipado por todo o mundo, em 2013 representaram cerca de US\$ 40 bilhões de dólares em produtos (POPP; PETO; NAGY, 2013). Em média são aplicados 2 kg por hectare nos mais variados tipos de culturas, com a finalidade de maximizar a produção dos alimentos (LIU; PAN; LI, 2015).

Neste cenário, é significativo que a quantidade de pesticida aplicada nos campos seja correta. Aplicações em excesso podem trazer resíduos nos alimentos e uma contaminação ambiental. Em contrapartida, aplicações deficientes fazem com que áreas da cultura fiquem desprotegidas, minimizando a produtividade. Além disso, pulverizações deficientes podem causar o fortalecimento de pragas e ervas daninhas (MARTINI; KINCY; NANSEN, 2012; RENTON et al., 2014).

Diante dessa problemática, este estudo propôs o uso de técnicas de PDI para realizar a contagem de gotas depositadas em aplicações de pesticidas, possibilitando também avaliar, por meio de observação manual, a área de cobertura do pesticida sobre a folha, e dessa forma viabilizando ao agricultor identificar aplicações defeituosas em plantações. Esse estudo demonstrou como o uso adequado de tecnologias da informação pode trazer maior rentabilidade ao processo de pulverização. Dois métodos de pulverização foram avaliados, tradicional e eletrostático.

3 Trabalhos Realizados

Estudos realizados sobre pulverização, em folhas de tabaco, utilizaram técnicas de PDI para analisar o papel hidrossensível² distribuído pela plantação. Inicialmente as imagens foram convertidas em escala de cinza e binarizadas utilizando o método de *Otsu*. Para separar as gotículas cobertas umas pelas outras foram usados processos erosivos morfológicos. O diâmetro da gota era calculado segundo sua intensidade na escala de cinza. Em amostras de cobertura média o sistema *iDAS*, utilizado para comparação;

² Papel sensível à água utilizado na análise da qualidade da pulverização, as áreas atingidas pelo pesticida tornam-se azuis, permitindo a avaliação e classificação das gotas.

obteve resultados semelhantes ao *DepositScan*, sistema proposto pelo autor; em amostras de cobertura baixa o sistema *iDAS* obteve melhor desempenho em identificar gotas menores (GANG; LIPING; RUIRUI, 2016).

Machado et al. (2018) propuseram a criação de uma aplicação para smartphone, *DropLeaf - Deposition Analysis™*. O aplicativo mede a eficácia da pulverização através da análise do papel hidrossensível. Como método para análise das imagens e obtenção dos resultados os autores utilizaram: (a) *color space conversion*, (b) *threshold noise removal*, (c) *convolutional operations of dilation and erosion*, (d) *detection of contour markers in the water-sensitive card*, (e) *identification of droplets via the marker-controlled watershed transformation*. O aplicativo mostrou-se capaz de identificar gotículas de pulverização sobre o papel hidrossensível, sendo capaz de calcular a cobertura e diâmetro das gotas, identificando gotas sobrepostas.

Marçal e Cunha (2008) apresentam uma metodologia automática para contagem de gotas a partir da amostra do papel hidrossensível. Os resultados obtidos pelo sistema foram comparados com uma contagem manual. As imagens RGB (sistema de cores aditivas, Vermelho (*Red*), Verde (*Green*), Azul (*Blue*)) originais foram convertidas em imagens binárias, onde as manchas eram representadas por valores 1 (branco), e fundo, valores 0 (preto). Esse efeito foi alcançado através de: (a) aplicação de filtro mediano 3x3, em que a imagem filtrada foi convertida para o padrão de cores *HSI (Hue Saturation Intensity)*; (b) segmentação por *Otsu*, fracionando a imagem em duas seções, onde o maior matiz de cada seção representava o fundo (RGBb) ou primeiro plano (RGBf); (c) pixels com valores RGB semelhantes ao RGBf eram considerados mancha, e semelhantes ao RGBb eram considerados fundo. O sistema mostrou boa aplicabilidade quando o número de gotas era alto.

Cunha, Carvalho e Marçal (2012) sugerem o confronto de seu sistema, contagem manual de gotas, com um pacote de softwares experimentais, *Gotas*, *StainMaster*, *ImageTool*, *StainAnalysis*, *AgroScan*, *DropletScan* and *SprayImageI and II*. Para comparação foi utilizado o papel hidrossensível. Para realizar a inspeção manual dos papéis, as imagens RGB originais foram convertidas em escala de cinza, e as imagens obtidas foram segmentadas utilizando o método de *Otsu*. As amostras foram ampliadas e impressas em *plotter*, e dessa forma foi possível realizar a contagem e determinar o tamanho das gotas. O sistema proposto mostrou-se suficiente e rigoroso para avaliações em áreas de coberturas entre 3% e 40% de área pulverizada. Entretanto, verificou-se que o software *SprayImageI* forneceu melhor precisão para cobertura, tamanho e disposição

das gotas em diferentes áreas de cobertura.

Huddar et al. (2012) apresentam um sistema para identificação de pragas nas culturas mantidas em estufa. A mosca branca foi escolhida como objeto alvo desse estudo. Para identificação da praga os autores utilizaram: (a) conversão da imagem original RGB para *luminance and chroma components*, YCbCr, onde Y representa o componente *luma*, Cb o componente cromado de diferença azul, e Cr o componente cromado de diferença vermelho, sendo que nesta conversão somente o canal de croma azul será utilizado (Cb), pois o mesmo apresentou resultados satisfatórios com o mínimo de ruído; (b) segmentação utilizando algoritmo RDI; (c) eliminação de ruídos indesejados como nervuras da planta e fragmentos de poeira com o processo de erosão; (d) novamente aplica-se o processo de erosão a fim de eliminar ruídos restantes do processo anterior; (e) para corrigir o tamanho da imagem causado pelo processo de erosão aplica-se dilatação; (f) para contagem das moscas brancas utilizou-se o algoritmo *Moore Neighbor tracing e Jacob's stopping criterion*. O sistema foi testado com mais de 100 imagens e apresentou uma precisão de 96% nos testes.

Os autores supracitados, exceto Huddar et al. (2012), que apresentaram um sistema para identificação de pragas, utilizaram em seus experimentos o papel hidrossensível para testes e análise, como demonstrado na Figura 1 (a).



(a) Papel hidrossensível

(b) Folha de soja com corante

Figura 1. Demonstração de formas de análise

Fonte: Adaptado (SPE, 2018)

Esse estudo irá realizar seus testes e análise diretamente sobre a folha, Figura 1

(b), uma abordagem diferente da utilizada pela literatura citada, que realizaram seus experimentos utilizando o papel hidrossensível. Tal método só será possível pois a empresa que nos apoia no projeto e fornece as imagens, SPE - Sistema de Pulverização Eletrostático, utiliza um corante para evidenciar as gotas de pesticida sobre a folha.

4 Objetivos

4.1 Geral

Avaliar a eficiência de deposição do pesticida sobre a folha pulverizada em diversas culturas, adotando as técnicas *Grabcut* e *Watershed*, após revisão literaria, para realizar a segmentação e contagem de gotas de pulverização nos métodos tradicional e eletrostático de pulverização.

4.2 Específico

- segmentar as imagens originais adquiridas usando o método *Grabcut*;
- pré-processar as imagens de folhas pulverizadas para filtrar algum tipo de ruído e outras imperfeições;
- contar as gotas usando o método *Watershed*;
- representar e interpretar os resultados à partir das folhas segmentadas utilizando gráficos e tabelas.

5 Metodologia

Nesse estudo utilizaremos um banco de imagens fornecido pela empresa SPE - Sistema de Pulverização Eletrostático.

Como etapa inicial, iremos selecionar algumas amostras de folhas pulverizadas, tanto do método tradicional como não-tradicional (eletrostático).

Para tratamento e manipulação das imagens serão adotados os procedimentos listados em ordem de execução, exemplificados na Figura 2.

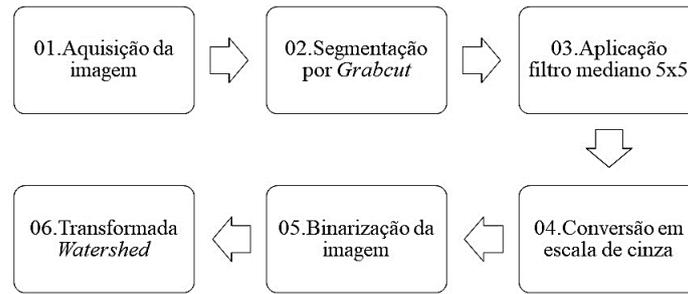


Figura 2: Demonstração do processo
Fonte: Próprio Autor

Todos os procedimentos listados acima serão descritos nesta seção. Usaremos a Biblioteca *OpenCV* 3.2.0, linguagem *Python* 2.7, e ambiente de desenvolvimento *Anaconda*. Como sistema operacional utilizaremos *Windows 10 Home 64 bits*.

5.1 Aquisição da Imagem

As imagens são fornecidas pela empresa SPE, sendo todas capturadas através de uma câmera digital do *Smartphone Apple iPhone 5S*, com 8MP e resolução de 3264x2448 pixels. Verificou-se que para análises satisfatórias as imagens obtidas devem possuir resoluções iguais ou superiores às anteriormente citadas. As fotos foram tiradas em total ausência de luz, sendo o horário mais adequado à noite. Para que fosse possível visualizar as gotículas de pulverização por inspeção manual, aplica-se um corante sobre a folha, e com um auxílio de uma lâmpada ultravioleta torna-se possível visualizar o pesticida e capturar a foto.

5.2 Segmentação por Grabcut

As folhas foram analisadas de forma individual, e para sua extração foi utilizada a técnica de segmentação por *Grabcut*, a qual consiste em separar o *foreground* do *background*, sendo o *foreground* nossa região de interesse (ROTHER; KOLMOGOROV; BLAKE, 2004).

Grabcut é um método semiautomático de segmentação baseado em cortes de grafos. É uma técnica muito utilizada para segmentações consideradas difíceis, onde as regiões de *foreground* e *background* se confundem, impedindo por exemplo, segmentações por cores. Ele utiliza informações de região e limite para segmentar a

imagem, enquanto a maior parte dos métodos faz uso apenas de uma técnica (GASPARI, 2015).

5.2.1 Algoritmo *Grabcut*

Em sua implementação o algoritmo *Grabcut* utiliza um modelo probabilístico denominado *Gaussian Mixture Model (GMM)* para agrupar os valores RGB dos pixels, definido por Kuck e Nadro (2013). O *Gaussian Mixture Model* corresponde à distribuição de probabilidade dentro de uma determinada população. São empregados dois *GMMs*, um para o *foreground* e outro para *background*. Cada *GMM* possui 5 *clusters* ($K = 5$, indicados como constante). Para tratar o *GMM*, um vetor complementar $k = \{k_1 \dots k_n \dots k_N\}$ é acrescentado, com $k_n \in \{1 \dots K\}$, fornecendo a cada pixel um elemento *GMM* único e, um elemento do *background* ou *foreground*, compreendido por $\alpha_n = 0$ ou 1 (ROTHER; KOLMOGOROV; BLAKE, 2004). Este modelo probabilístico é definido pela Equação 1:

$$\theta = \{\pi(\alpha, k), \mu(\alpha, k), \Sigma(\alpha, k), \alpha = 0, 1, k = 1 \dots K\} \quad (1)$$

onde μ representa o valor do RGB central; π o coeficiente de avaliação; $\Sigma(\alpha, k)$ a matriz de covariância; e k o número de *clusters*.

5.2.2 *Trimap*

A fim de apoiar a segmentação, uma função *trimap* é aplicada, definida por:

$$T = T_B, T_U, T_F \quad (2)$$

onde T_B representa os pixels do *background*; T_U os pixels desconhecidos; e T_F pixels do *foreground*. Quando o algoritmo é iniciado, marcamos o *foreground* com um retângulo, todos os pixels externo ao retângulo são carregados em T_B , esses pixels não serão mais tratados. Os pixels desconhecidos são carregados como $T_U = \overline{T_B}$ e $T_F = \theta$. Para ajustes finos marca-se o *foreground* em cor verde e o *background* em cor vermelha, manualmente (KUCK; NADRO, 2013; GASPARI, 2015). A Figura 3 expressa essa

execução.

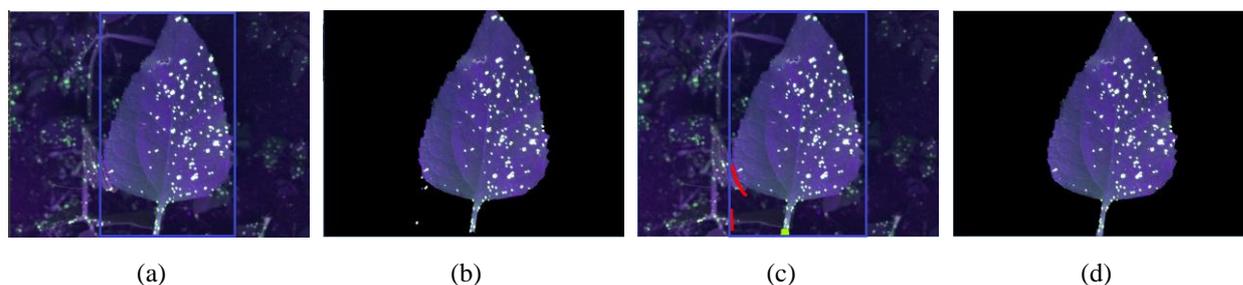


Figura 3: Demonstração *Grabcut*
Fonte: Próprio Autor

As imagens da Figura 3 representam: (a) imagem demarcada com um retângulo para corte; (b) resultado inicial da segmentação; (c) marcação do *foreground* em cor verde e *background* em cor vermelha para ajustes precisos; e (d) resultado final da segmentação por *Grabcut* na folha.

A Figura 4 exemplifica o processo de segmentação na folha utilizando o algoritmo *Grabcut*.

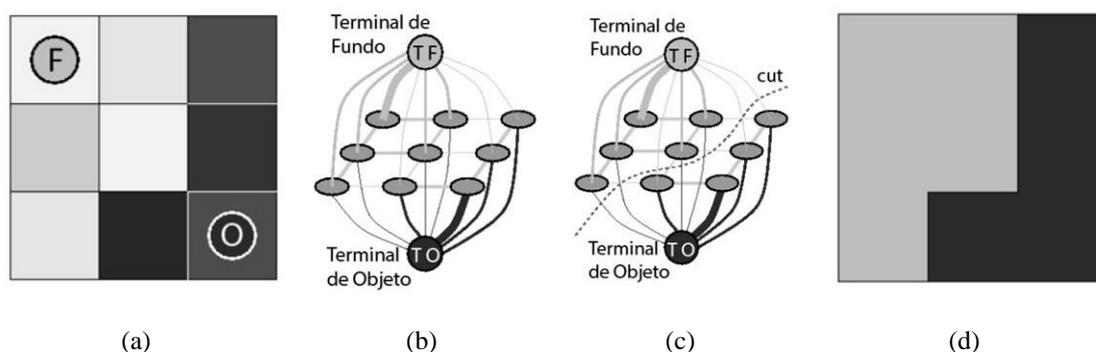


Figura 4: Exemplificação *Grabcut*
Fonte: Adaptado (GASPARI, 2015)

As imagens da Figura 4 representam: (a) imagem 3x3 pixels, em que *F* representa o fundo da folha e *O* o objeto folha; (b) representação da folha em grafo, selecionando os terminais de fundo e objeto; (c) algoritmo *Grabcut* percorrendo as arestas menos significativas; (d) resultado final da segmentação (GASPARI, 2015).

5.3 Filtro Mediano 5x5

Para eliminar ruídos da imagem, como nervuras presentes na folha, poeira e outras

imperfeições, aplica-se um filtro mediano de máscara 5x5. Tal escolha se deu devido a característica apresentada pelo filtro mediano 5x5, segundo Facon (2006), é um filtro do tipo passa-alta, sua filtragem provoca um realce em regiões diferentes da imagem, aumentando sua nitidez. Baseado na definição de Pavim e Roloff (2005), tal técnica melhora a qualidade das imagens aumentando seu contraste, observando a imagem como uma matriz bidimensional, a técnica será aplicada pixel a pixel, levando em consideração o pixel vizinho. O filtro mediano pode ser expresso pela Equação 3:

$$g(x, y) = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 W_k Z_k \quad (3)$$

onde W e Z são vetores de 5 dimensões produzidos dos coeficientes da máscara; e $g(x,y)$ é o resultado das máscaras aplicado à matriz de pixel da folha.

5.4 Conversão da Imagem em Escala de Cinza

Após aplicação do filtro, a imagem no modelo de cores RGB foi transformada em uma imagem em tons de cinza. No modelo RGB temos três canais de cores: vermelho, verde e azul, representados por sua intensidade. Imagens RGB consomem muito espaço de armazenamento, e seu processamento demanda muito tempo devido ao tratamento dos três canais distintos (MUNDADA; GOHOKAR, 2013). Devido a isso, a conversão da imagem em escala de cinza se faz necessária. Pode ser traduzida pela Equação 4:

$$M = \frac{R+G+B}{3} \quad (4)$$

onde RGB representa as cores vermelha (R), verde (G) e azul (B), e cada pixel possui um valor de luminância distinto; e M representa a média dos três valores, cujo resultado indica se o pixel está mais próximo do tom cinza ou branco.

5.5 Binarização da Imagem

Nesta etapa isolamos as gotas de pulverização da região do fundo, e para isso utilizamos o método de segmentação por *Threshold*. Neste momento, a imagem atual possui apenas um canal de cor (cinza). Este algoritmo de binarização admite que a

imagem possui duas classes de pixels, acima e abaixo do limiar. Valores acima do limiar mudam-se para branco e abaixo para preto (MACHADO et al., 2018). Para os testes utilizamos um limiar mínimo de 127 e máximo de 255. Baseado nos experimentos de outros autores da literatura, adotou-se o valor médio de limiar 127, visto que a escala termina em 255, e este limiar apresentou um *Threshold* aceitável para os experimentos. A função *Threshold* pode ser expressa pela Equação 5:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y > T) \\ 0 & \text{se } f(x, y \leq T) \end{cases} \quad (5)$$

5.6 Transformada *Watershed*

Como etapa final, foi realizada a contagem das gotículas de pulverização, sendo que para isso foi usada a transformada *Watershed*. De acordo com Franco, Martins e Carvalho (2016), este método é expressamente eficaz para identificar contornos não uniformes, como de gotículas. É uma técnica baseada em distância topográfica e imersão, onde a intensidade do cinza equivale a sua altitude. Esse método simula a inundação de uma região a partir dos mínimos locais, o que faz com que as bacias sejam gradativamente preenchidas. O encontro das águas das bacias indica que o topo daquela região fora encontrado, sinalizando que um local foi detectado e demarcado (MACHADO et al., 2018). A Figura 5 exemplifica o conceito básico da transformada *Watershed*:

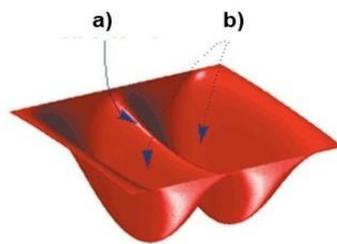


Figura 5: Transformada *Watershed*
Fonte: Adaptado (EDDINS, 2002)

onde (a) representa a região de encontro das bacias e (b) regiões de inundação.

6 Resultados Experimentais

Para legitimar e comprovar a eficiência do método proposto, inicialmente o mesmo foi testado com 10 folhas de culturas variadas, sendo 5 folhas pulverizadas do modo tradicional e 5 do modo eletrostático. A técnica apresentada de contagem de gotas

trata integralmente toda região da folha, buscando o máximo de precisão na contagem. As Figuras 6 e 7 apresentam o resultado de uma execução em ambos os métodos para demonstração do referido sistema.

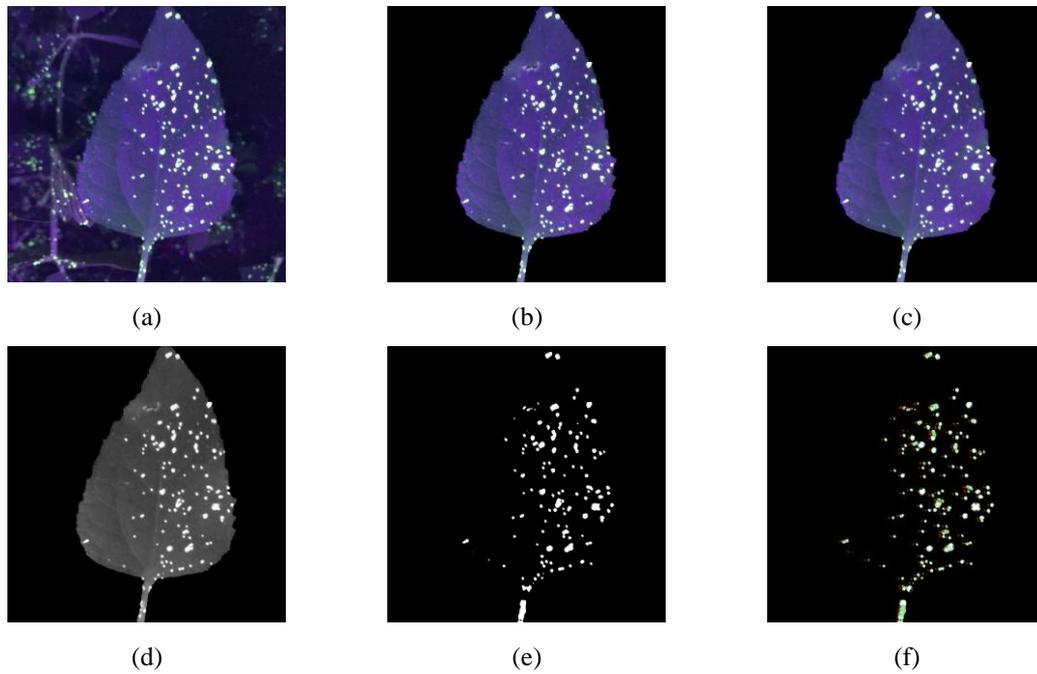


Figura 6: Demonstração método tradicional
Fonte: Próprio Autor

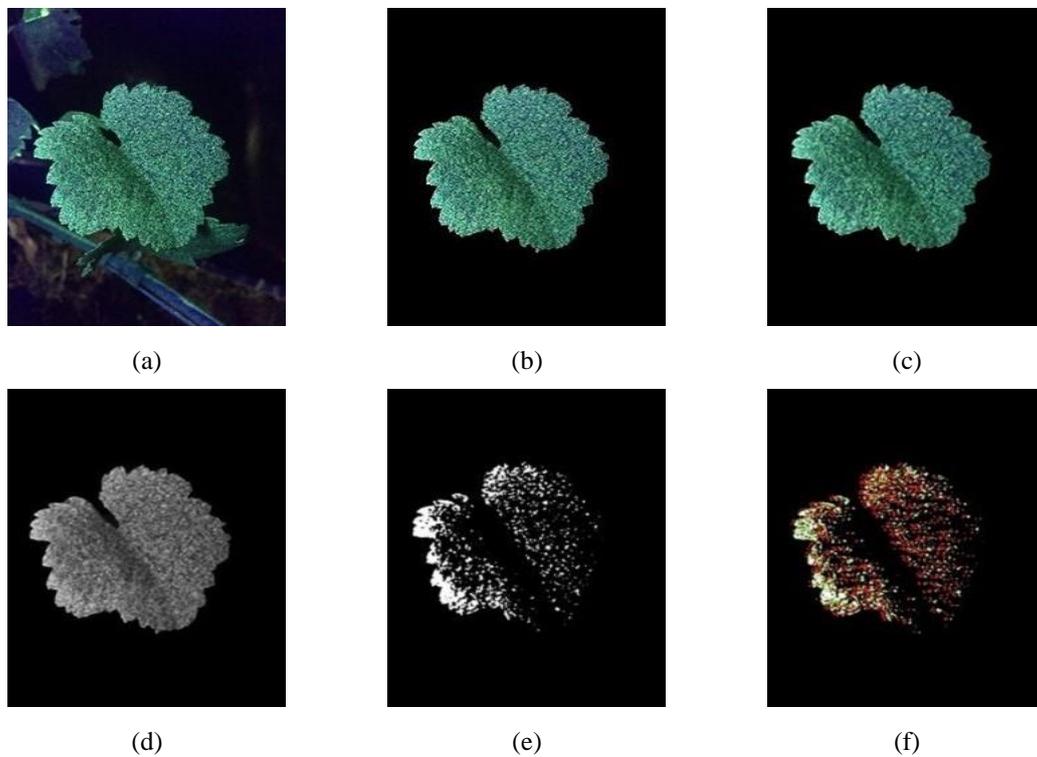


Figura 7: Demonstração método eletrostático
Fonte: Próprio Autor

As imagens nas Figuras 6 e 7 indicam: (a) representa a imagem original; (b) extração da folha por *Grabcut*; (c) aplicação do filtro mediano 5x5; (d) conversão da imagem em escala de cinza; (e) binarização; e (f) contagem das gotas por *Watershed*.

Nas Figuras 6 e 7 temos a execução e resultado final de cada método. No modo tradicional de pulverização (Figura 6) tivemos uma contagem final de 184 gotículas, e no modo eletrostático (Figura 7) 1308 gotículas. Ambos foram submetidos ao mesmo ciclo para obtenção dos resultados.

Em uma inspeção visual das imagens, observou-se que no método eletrostático a aplicação do filtro mediano 5x5 causou uma diminuição na quantidade de gotas que deveriam ser contadas, a técnica interpretou como informações indesejáveis uma quantidade significativa de gotas. A Figura 8 demonstra o comparativo de um teste com aplicação e não aplicação do filtro mediano.

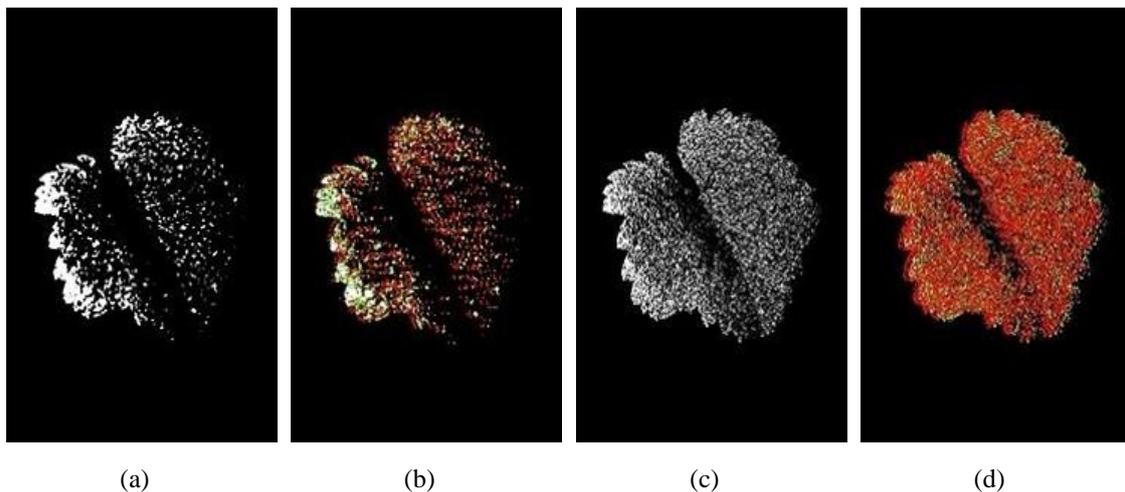


Figura 8: Comparativo
Fonte: Próprio Autor

As imagens na Figura 8 representam: (a) imagem binarizada **com** aplicação do filtro mediano; (b) contagem por *Watershed* **com** aplicação filtro mediano, total de 1308 gotículas; (c) imagem binarizada **sem** aplicação do filtro mediano; e (d) contagem por *Watershed* **sem** aplicação do filtro mediano, total de 5124 gotículas.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados de 5 imagens em totais de gotículas detectadas pelo sistema. Preliminarmente foi testado o método tradicional, onde empregamos o uso do filtro mediano. A fim de medir a acurácia do sistema, comparamos nossa contagem com a contagem manual de um engenheiro-agrônomo. A contagem do engenheiro-agrônomo foi realizada a partir da imagem binarizada, por meio da inspeção

manual da folha. O cálculo da precisão é expresso pela Equação 6:

$$P = \frac{N-|FA|}{N} \quad (6)$$

onde P representa o resultado da precisão; N a quantidade de gotas detectadas pelo sistema; e FA o número de falsos detectores.

Tabela 1: Demonstração resultados - Contagem de gotas tradicional

Imagens	Sistema	Eng-agrônomo	FA	N	(P) Acurácia (%)
Figura 01	184	159	25	184	86,41
Figura 02	146	124	22	146	84,93
Figura 03	108	123	15	108	86,11
Figura 04	17	15	2	17	88,24
Figura 05	7	7	0	7	100,00
Média	-	-	-	-	89,14

Fonte: Próprio Autor

De acordo com a Tabela 1, amostras com maiores quantidades de gotículas dificultam a contagem manual, diminuindo a precisão em relação ao sistema, enquanto amostras com baixas concentrações apontam uma justificada precisão ao sistema, pois a contagem torna-se mais acessível e acurada.

A Tabela 2 apresenta os resultados de 5 imagens, assim como a Tabela 1, em totais de gotículas detectadas pelo sistema. Nessa fase, o método proposto foi o eletrostático sem o emprego do filtro mediano. Para medir a acurácia do sistema comparamos nossa contagem com a contagem automática do software *ImageJ*.

ImageJ é um software de edição desenvolvido pela *National Institutes of Health (NIH)*, centro de pesquisa biomédica dos Estados Unidos. É um software de processamento digital de imagens amplamente utilizado pela academia devido sua fácil utilização, uso livre e confiabilidade. O autor Juliano:2013 utilizou essa ferramenta em sua dissertação de mestrado para obtenção do título de mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear.

Assim como o engenheiro-agrônomo, o software *ImageJ* realizou a contagem a partir da imagem binarizada, porém, utilizando uma função interna chamada *3D Object*

Counter, a qual foi ajustada para o mesmo valor máximo de cinza utilizado pelo sistema, 255. Para cálculo da precisão adotaram-se os mesmos parâmetros apresentados pela Equação 6.

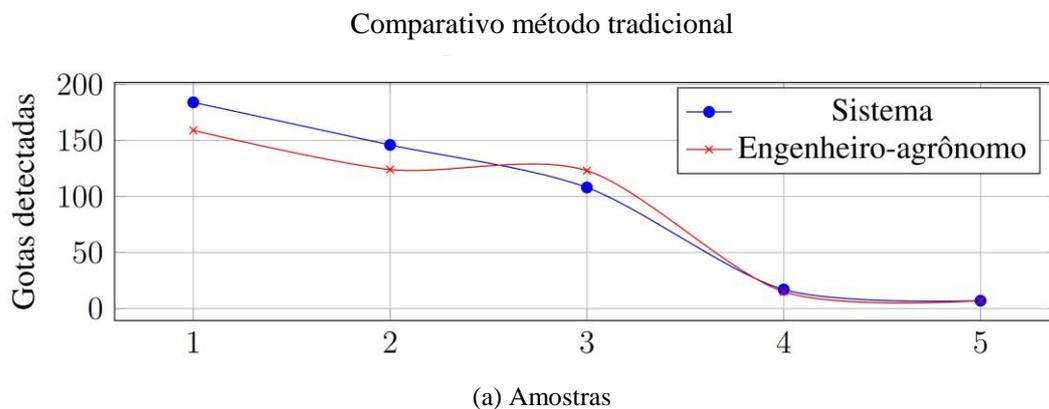
Tabela 2: Demonstração resultados - Contagem de gotas eletrostático

Imagens	Sistema	ImageJ	FA	N	(P) Acurácia (%)
Figura 01	5076	3981	1095	5076	78,43
Figura 02	5727	3783	1944	5727	66,06
Figura 03	4539	3799	740	4539	83,70
Figura 04	4255	3853	402	4255	90,55
Figura 05	2363	1979	384	2363	83,75
Média	-	-	-	-	80,50

Fonte: Próprio Autor

Conforme apresentado pela Tabela 2, o sistema demonstrou uma precisão de 80,50% comparado ao software *ImageJ*. Amostras com menores concentrações de gotas expressaram melhor conformidade ao sistema.

A Figura 9 apresenta a curva de desempenho do sistema comparado aos métodos definidos para conferência da acurácia: Figura 9 (a) contagem manual de um engenheiro-agrônomo para o método tradicional e Figura 9 (b) contagem automática do software *ImageJ* para o método eletrostático.



Comparativo método eletrostático

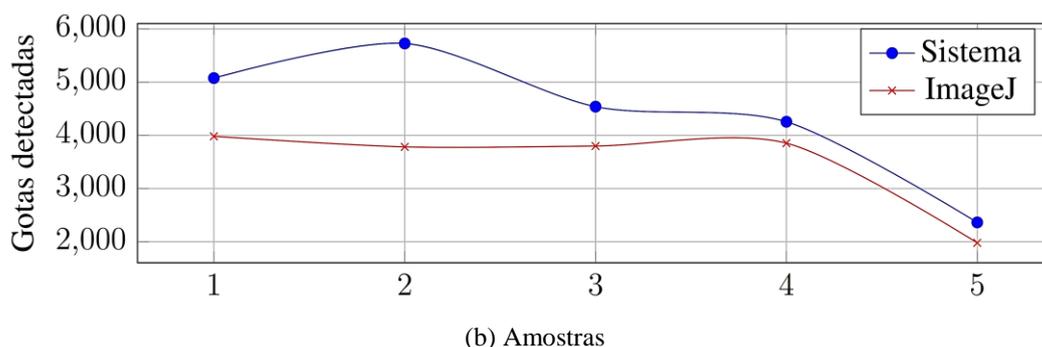


Figura 9: Curva comparativa
Fonte: Próprio Autor

Apoiando os resultados encontrados na Tabela 2, a Figura 9 expressa a acentuada semelhança apresentada pelo sistema em comparação com os mecanismos propostos, em especial quando o número de gotículas detectadas é baixo, aproximando as curvas e ampliando a precisão. Tal semelhança pode ser observada nas amostras 4 e 5, em ambas as imagens, onde o número de gotículas é menor.

Em um segundo experimento testou-se o sistema com um novo grupo de imagens, desta vez somente com imagens do método eletrostático. Os critérios de comparação foram os mesmos utilizados na Tabela 2. A Tabela 3 e a Figura 10 apresentam os resultados alcançados.

Tabela 3: Segundo experimento - Contagem de gotas eletrostático

Imagens	Sistema	ImageJ	FA	N	(P) Acurácia (%)
Figura 01	2089	2248	159	2089	92,39
Figura 02	1960	1656	304	1960	84,49
Figura 03	3159	2680	479	3159	84,84
Figura 04	1410	1131	279	1410	80,21
Figura 05	6638	6318	320	6638	95,18
Média	-	-	-	-	87,42

Fonte: Próprio Autor

Segundo comparativo método eletrostático

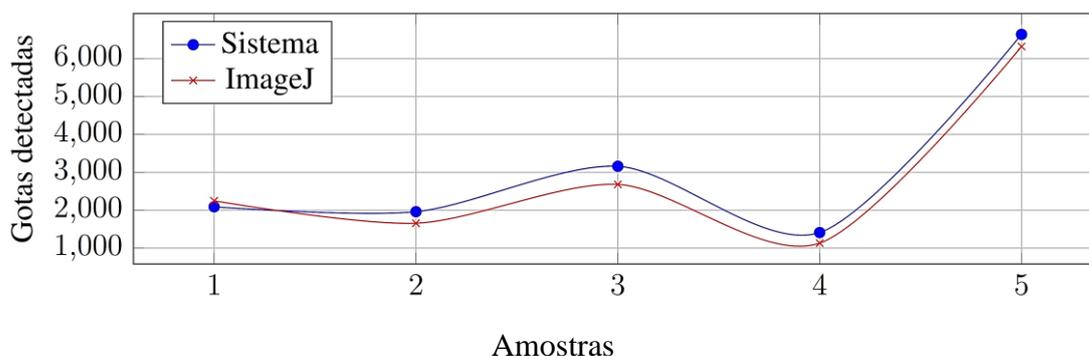


Figura 10: Curva comparativa
Fonte: Próprio Autor

A Tabela 3 mostra a análise comparativa entre os resultados obtidos pelo Sistema e o Software *ImageJ*, onde a precisão encontrada para essas amostras foi de 87,42%. A Figura 10 reforça a precisão encontrada pelos resultados calculados e apresentados na Tabela 3, onde as curvas entre os dois sistemas apresentaram forte semelhança, mantendo-se próximas, como demonstrando nas amostras 1, 4 e 5.

Cada folha pulverizada passou pelo processo de contagem por duas vezes, e em ambas as soluções foram iguais, apresentando o mesmo número de gotículas.

7 Trabalhos Futuros

Como prováveis trabalhos futuros, pode-se destacar:

- melhorar a acurácia da segmentação e contagem de gotas;
- substituir a segmentação semiautomática do *Grabcut* por uma segmentação automática;
- cálculo da densidade de cobertura, diâmetro mediano volumétrico e diâmetro relativo variado para melhor avaliação da pulverização;
- implementação de uma versão mobile do sistema proposto, o que permitirá um acesso mais prático e rápido ao usuário final;
- como apoio ao sistema anterior, criação de uma versão web para análise dos dados coletados e resultados, permitindo que as imagens sejam organizadas por data, plantações e culturas.

Considerações finais

Neste estudo foram explorados os métodos gerais de pulverização, avaliando a quantidade de deposição de gotículas em um grupo determinado de folhas pulverizadas. O sistema proposto mostrou-se rápido e eficaz para mensurar a cobertura de pesticida, analisando-se imagens digitais.

A precisão do sistema foi suficiente em ambos os métodos de pulverização, apresentando inicialmente uma acurácia de 89,14% para o método tradicional e 80,50% para o eletrostático. Em um segundo experimento, somente com imagens do método eletrostático, o sistema apresentou uma acurácia de 87,42%. Notou-se que a precisão do sistema mostrou-se melhor quando o número de gotas detectadas é baixo, devido a baixa

contrariedade na contagem. No método eletrostático foi necessário suprimir a utilização do filtro mediano 5x5, medida esta necessária devido à perda de informações significativas nos resultados dos testes.

O filtro mediano 5x5 foi utilizado para retirar imperfeições das folhas que poderiam prejudicar o resultado final. Em testes realizados com folhas pulverizadas do modo tradicional, o filtro mostrou-se eficiente para eliminar falhas como nervuras e poeiras presentes, contudo, no método eletrostático tal técnica não apresentou a mesma produtividade. A pulverização eletrostática apresenta alta concentração de gotículas em toda a região da folha, dessa forma, regiões de falha não aparecem na imagem. Assim, a utilização de um filtro para a busca de imperfeições se faz desnecessária. No modo tradicional a cobertura da folha é irregular e intervalada, permitindo a exposição de regiões de falha, fazendo necessário o uso de um filtro.

O sistema revelou elevada capacidade em eliminar a complexidade e dificuldade da contagem manual realizada pelo engenheiro-agrônomo no método tradicional, comprovado pela proximidade em seus resultados. Além disso, apresentou uma precisão contínua nos experimentos.

Embora o processo tenha apresentado resultados aceitáveis, conclui-se que o mesmo pode ser aprimorado aumentando o valor da acurácia, aprofundando o conhecimento em pesquisas e explorando outras técnicas; estendendo-se também ao cálculo da densidade de cobertura, diâmetro mediano volumétrico e diâmetro relativo variado, permitindo melhor detalhamento dos resultados e extração de informações fundamentais das gotas.

Referências

- AGRICULTURA, M. D. et al. **Brasil deve registrar recorde na produção e exportação de soja em 2018**. 2018. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/economia-e-financas/2018/03/brasil-deve-registrar-recorde-na-producao-e-exportacao-de-soja-em-2018>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- ANGELIN, A. F. et al. Voids identification in rubberized mortar digital images using K-Means and Watershed algorithms. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 455-464, 2017.
- BOHMONT, B. L.; OTHERS. **The standard pesticide user's guide**. [S.l.]: Regents/Prentice Hall, 1990.
- BON, H. D. et al. Pesticide risks from fruit and vegetable pest management by small farmers in sub-Saharan Africa. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, p. 723-736, 2014.

- CEPEA. **Exportação agro em 2017 é recorde e faturamento volta a crescer**. 2018. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/207086-exportacao-agro-em-2017-e-recorde-e-faturamento-volta-a-crescer.html#.W4866VBKjIU>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- CHAIM, A. História da pulverização. **Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna**, 1999.
- CUNHA, M.; CARVALHO, C.; MARCAL, A. R. S. Assessing the ability of image processing software to analyse spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets. **Biosystems engineering**, v. 111, p. 11-23, 2012.
- EDDINS, S. The watershed transform: strategies for image segmentation. **The Mathworks Journal, Matlab®, News and Notes**, p. 47-48, 2002.
- FACON, J. Técnicas de Processamento Digital de Imagens Aplicadas à Área da Saúde. **XIII Escola Regional de Informática da SBC-Paraná**, 2006.
- FERREIRA, L. T.; SANTOS, J. **Produção dos Cafés do Brasil equivale a 36% da produção mundial em 2018**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34724227/producao-dos-cafes-do-brasil-equivale-a-36-da-producao-mundial-em-2018>>. Acesso em: 5 jun. 2018.
- FRANCO, R. A. S.; MARTINS, P. S.; CARVALHO, M. A. G. Cytological low-quality image segmentation using nonlinear regression, K-means and watershed. **Václav Skala-UNION Agency**, 2016.
- GANG, X.; LIPING, C.; RUIRUI, Z. **An image processing system for evaluation of aerial application quality**. Proceedings of the 2016 International Conference on Intelligent Information Processing. [S.l.]: [s.n.]. 2016. p. 53.
- GASPARI, T. D. Desenvolvimento de um método semiautomático para geração de ground truths de vídeos. **Universidade Estadual Paulista (UNESP)**, 2015.
- HUDDAR, S. R. et al. **Novel algorithm for segmentation and automatic identification of pests on plants using image processing**. Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT), 2012 Third International Conference on. [S.l.]: [s.n.]. 2012. p. 1-5.
- IGNACIO, J. D. S. **Processamento e análise digital de imagens em estudos da cinética de recristalização de ligas Al-Mg-X**. Universidade de São Paulo. [S.l.]. 2013.
- KUCK, R.; NADRO, K. GrabCut Iterative image segmentation through minimum graph cuts. **CS 445 Computational Photography Final Project**, 2013.
- LIU, Y.; PAN, X.; LI, J. A 1961--2010 record of fertilizer use, pesticide application and cereal yields: a review. **Agronomy for sustainable development**, v. 35, p. 83-93, 2015.
- MACHADO, B. B. et al. **A smartphone application to measure the quality of pest control spraying machines via image analysis**. Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on Applied Computing. [S.l.]: [s.n.]. 2018. p. 956-963.
- MARÇAL, A. R. S.; CUNHA, M. Image processing of artificial targets for automatic evaluation of spray quality. **Transactions of the ASABE**, v. 51, p. 811-821, 2008.

- MARTINI, X.; KINCY, N.; NANSEN, C. Quantitative impact assessment of spray coverage and pest behavior on contact pesticide performance. **Pest management science**, v. 68, p. 1471-1477, 2012.
- MUNDADA, R. G.; GOHOKAR, V. V. Detection and classification of pests in greenhouse using image processing. **IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering**, v. 5, p. 57-63, 2013.
- PAVIM, A. X.; ROLOFF, M. L. Curso de processamento e análise de imagens. **5 ENECA. UFSC**. Florianópolis, 2005.
- PERNOMIAN, V. A.; DUARTE, F. V.; ISAAC, F. Sistema automático de pulverização utilizando técnicas de processamento digital de imagens. **Revista científica eletrônica de agronomia**, 2004.
- POPP, J.; PETO, K.; NAGY, J. Pesticide productivity and food security. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 33, p. 243-255, 2013.
- PRADO, S. D. S. Principais pragas do cafeeiro no contexto do manejo integrado de pragas. **Embrapa Meio Ambiente-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**.
- RENTON, M. et al. Herbicide resistance modelling: past, present and future. **Pest management science**, v. 70, p. 1394-1404, 2014.
- ROTHER, C.; KOLMOGOROV, V.; BLAKE, A. Grabcut: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts. **ACM transactions on graphics (TOG)**. [S.l.]: [s.n.]. 2004. p. 309-314.
- SPE. **Fotos e Vídeos de Instalações e Produtos**. 2018. Disponível em: <<http://www.eletrostatico.com.br/>>. Acesso em: 02 abr. 2018.
- VARGAS, L.; GLEBER, L. **Tecnologia de aplicação de defensivos**. 2005. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Ameixa/AmeixaEuropeia/tecnologia.htm>>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- VICENTE, M. **Tecnologia de pulverização eletrostática da Embrapa é finalista em prêmio internacional de inovação**. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18448974/>>. Acesso em: 1 abr. 2018.
-