

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

ALBERTO DA COSTA FARNESE

**PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE DE GOTAS PULVERIZADAS
EM PAPÉIS HIDROSSENSÍVEIS**

**Uberlândia – MG
Fevereiro – 2013**

ALBERTO DA COSTA FARNESE

**PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE DE GOTAS PULVERIZADAS
EM PAPÉIS HIDROSSENSÍVEIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. João Paulo Arantes
Rodrigues da Cunha

**Uberlândia – MG
Fevereiro – 2013**

ALBERTO DA COSTA FARNESE

**PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE DE GOTAS PULVERIZADAS
EM PAPÉIS HIDROSSENSÍVEIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 01/02/2013

Msc. Mariana Rodrigues Bueno
Membro da Banca

Eng. Agr. Guilherme Sousa Alves
Membro da Banca

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha
Orientador

RESUMO

A utilização de papéis hidrossensíveis é uma importante ferramenta para avaliar a qualidade da aplicação de produtos fitossanitários nas lavouras, contudo sua leitura manual é trabalhosa e morosa. Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar e comparar os resultados de quatro programas computacionais de análise de gotas em diferentes imagens digitalizadas de papéis hidrossensíveis. O ensaio foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e quatro tratamentos: 1 - BD 11001 (Gota fina e deslocamento lento); 2 - BD 11001 (Gota fina e deslocamento rápido); 3 - ADIA 11001 (Gota muito grossa e deslocamento lento); 4 - ADIA 11001 (Gota muito grossa e deslocamento rápido). Após a pulverização, os papéis hidrossensíveis foram coletados e digitalizados por meio de um scanner. Os papéis com quatro padrões de deposição, variando densidade e tamanho de gotas (50 a 2000 μm), foram analisados manualmente e por meio dos programas computacionais: CIR, e-Sprinkle, DepositScan e Conta-Gotas. Foram avaliados o diâmetro da mediana volumétrica e numérica e o número de gotas por centímetro quadrado. Para DMV o programa Conta-Gotas obteve resultados mais próximos da análise manual, enquanto que para o DMN foi o e-Sprinkle e para Gotas cm^{-2} foi o DepositScan. Desta forma, o uso dos programas computacionais reduziu drasticamente o tempo de análise dos papéis. Existe uma alta correlação entre os valores avaliados empregando os diferentes programas e a análise manual, contudo há grande diferença entre os valores de DMV, DMN e DG para um mesmo papel, motivo pelo qual não é recomendável comparar resultados obtidos com diferentes programas.

Palavras-chave: produtos fitossanitários, pulverizador, diâmetro de gota, tecnologia de aplicação.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	7
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5	CONCLUSÕES.....	17
	REFERÊNCIAS.....	18

1. INTRODUÇÃO

Os produtos fitossanitários têm sido utilizados com frequência nos tratos culturais das principais lavouras cultivadas a nível mundial. Contudo, sua aplicação de maneira incorreta pode acarretar danos à saúde do homem e ao ambiente, além de prejuízos econômicos (GIL; SINFORT, 2005). Para que exista eficácia de um tratamento, seja ele inseticida, herbicida ou fungicida, o produto aplicado precisa atingir o alvo no qual irá cumprir seu propósito, com o mínimo de perdas para o ambiente (BUENO et al., 2011; CUNHA et al., 2010).

Neste contexto, é preciso estabelecer formas de controle e avaliação das aplicações de fitossanitários, principalmente no que diz respeito às máquinas aplicadoras. A literatura apresenta várias formas de se avaliar uma aplicação a campo (HEWITT, 2010), sendo muito empregadas aquelas que utilizam papéis hidrossensíveis como alvos artificiais (ZHU et al., 2011). Tratam-se de superfícies originalmente amarelas que modificam sua coloração para azul quando entram em contato com gotas de água. Esta mudança de cor ocorre devido à reação da água com o indicador azul de bromofenol presente no papel.

Estes papéis podem ser colocados junto ao alvo de uma aplicação, indicando os locais atingidos pelas gotas pulverizadas por um sistema de aplicação de produto fitossanitário. Também pode indicar perdas, dependendo do seu posicionamento em relação à área alvo. Contudo, um dos aspectos negativos de sua utilização são as dificuldades e morosidades para analisá-los manualmente ou com auxílio de uma lupa. Outros pontos negativos, citados por Cunha et al. (2012), referem-se à falta de precisão em ambientes muito úmidos e a limitação para mensuração de gotas com diâmetro inferior a 50 μm .

Para facilitar a análise, existem no mercado programas computacionais que analisam algumas características da pulverização após a digitalização das imagens dos papéis hidrossensíveis. Estes programas foram desenvolvidos com a finalidade de agilizar e proporcionar maior precisão a esta etapa importante do processo de aplicação de agroquímicos.

Existem vários programas, desenvolvidos por diferentes empresas, disponíveis no mercado e que conferem distintos resultados para uma mesma amostra, conforme demonstrado por Cunha et al. (2012). Esses autores, comparando os resultados obtidos por sete programas, mostraram que há grandes diferenças nos resultados obtidos entre os distintos programas. Entretanto, neste trabalho não foram avaliados os programas mais empregados no Brasil.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar e comparar os resultados de quatro programas computacionais utilizados no Brasil para análise de gotas em imagens digitalizadas de papéis hidrossensíveis, bem como fazer uma correlação entre esses programas e compará-los com a análise manual.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nas décadas passadas, pouca atenção era dada à uniformidade de distribuição durante as aplicações de produtos fitossanitários, pois o que interessava era molhar bem a cultura, o que se conseguia mediante um volume de calda bastante alto (CARRERO, 1996). Entretanto, há uma tendência em reduzir o volume de calda para que se tenha uma redução dos custos e aumento da eficiência de pulverização (SILVA, 1999). Essa redução somente é possível quando se dispõe de pontas de pulverização que propiciem um espectro de gotas uniformes e de tamanho adequado (CUNHA; TEIXEIRA, 2001).

Por outro lado, a desuniformidade de aplicação de defensivos agrícolas é decorrente de fatores como: características do tamanho da gota, turbulência, evaporação, dispersão, tipo de cobertura vegetal a ser pulverizada, densidade de plantio, semeadura, direção do voo, faixa de aplicação, direção do vento. Dessa forma, verifica-se que a quantidade de produto que realmente atinge o alvo é muito menor do que a quantidade de produto aplicado (GRAHAM-BRYCE, 1977).

Há, portanto, uma eminente necessidade de aperfeiçoar tais técnicas de aplicação de defensivos agrícolas, já que, se usadas erroneamente, podem baixar a eficiência da operação, aumentar a pressão de seleção sobre os organismos e contaminar o ambiente. Assim, mecanismos que possam quantificar e qualificar as variáveis envolvidas na pulverização, com rapidez e exatidão, são cada vez mais necessários (GARCIA et al., 2004).

Pensando nisso, produtores e pesquisadores buscam novas tecnologias para aumentar e analisar a eficiência das pulverizações de defensivos agrícolas avaliando-se os valores do diâmetro mediano volumétrico (DMV), diâmetro mediano numérico (DMN) e densidade de gotas em papéis hidrossensíveis. Neste caso, um dos parâmetros que influenciam na aplicação do produto é o tamanho da gota, visto que a eficiência de aplicação do produto pode ser verificada através da determinação da taxa de uniformidade das gotas. Com base na densidade de gotas e no seu diâmetro médio, é possível, então, calcular o volume, em litros/hectare, que foi depositado em cada cartão, podendo-se avaliar a eficiência e a uniformidade daquela aplicação (ARAÚJO; ARAÚJO, 2012).

Antes da existência dos programas computacionais, era difícil a realização de pesquisas de pulverização em campo utilizando papéis hidrossensíveis, pois seriam trabalhosos os cálculos e a elaboração de gráficos de distribuições acumulados de volumes.

Encontram-se disponíveis no mercado sistemas computacionais cujos programas estão baseados em técnicas de reconhecimento de padrões e de processamento digital de imagens. Na maioria deles, as imagens dos papéis ou folhas com as gotas amostradas são capturadas por “scanners” a fim de que as imagens sejam digitalizadas para posterior análise dos padrões de deposição (CHAIM et al., 1999). Com isso, dentre os métodos modernos de análise, a espectrometria ocupa um lugar de destaque, devido à facilidade em determinar quantidades diminutas de substâncias (VOGEL, 1992).

Um desses sistemas foi desenvolvido por Franz (1993), onde a imagem é capturada por “scanner” com resolução de 63,5 micrômetros/pixel. Este programa obteve medições precisas para manchas de gotas amostradas em papel Kromekote dentro do intervalo de tamanho de gotas de 210 a 1050 micrômetros.

Outro sistema computacional, desenvolvido por Derksen e Jiang (1995), capturam imagens de gotas de traçantes fluorescentes em alvos artificiais ou folhas de plantas, por meio de uma câmera CCD monocromática. Este programa permitiu medir manchas de gotas no intervalo de 5 a 1000 micrômetros.

Segundo Araújo e Araújo (2012), o benefício do método idealizado reside no menor tempo necessário à análise, sua precisão e portabilidade do equipamento. No que se refere ao tempo, estima-se que, no método tradicional, para processar 50 cartões, conferir, tabular os resultados e obter os resultados finais, sejam necessários cerca de 3 (três) dias, utilizando duas pessoas. Já o novo método permite o processamento e análise dos mesmos 50 cartões em cerca de 30 minutos, em trabalho feito por apenas uma pessoa. O trabalho de Chaim et al. (2002), comprova a mesma eficiência de tempo utilizando os programas computacionais em relação ao processo manual.

Além disso, os equipamentos utilizados na nova técnica (computador, scanner e o software) são de custo mais baixo do que os equipamentos convencionais (lupa binocular e graticulo de Porton). Especialmente se os equipamentos forem portáteis, todo o conjunto pode ser facilmente transportado, permitindo seu uso "a campo". (ARAÚJO; ARAÚJO, 2012).

De acordo com Garcia et al. (2004), a informática pode ser considerada como mais um segmento incorporado à natureza multidisciplinar da pulverização, na busca da melhoria na qualidade das avaliações. Com ela busca-se obter rapidez, dinamismo e exatidão nas avaliações dos dados obtidos no processo de pulverização, daí a importância do desenvolvimento de softwares para análise dos papéis hidrossensíveis, utilizados como amostradores.

Embora esses equipamentos e sistemas computacionais encontrem-se disponíveis, muitas vezes não são de fácil acesso ao usuário em face dos custos envolvidos na sua aquisição e utilização. Além disso, o processo de captura das imagens tem que ser de boa resolução para considerar gotas muito pequenas (de 30 a 75 micrômetros). Geralmente, a maioria dos processos disponíveis capturam gotas de tamanhos superiores a 75 micrômetros (CHAIM et al., 1999).

A principal limitação do método, para todos os softwares existentes no mercado, consiste na impossibilidade de separar duas gotas que, tendo se depositado muito próximas uma da outra, tenham pontos de superposição, o que faz com que o sistema as considere como uma única gota, naturalmente de diâmetro maior (ARAÚJO; ARAÚJO, 2012). Segundo a pesquisa de Fox et al. (2003), os sistemas computacionais não são eficientes em medir com exatidão a densidade de gotas com cerca de 40% de cobertura.

De acordo com Miller et al. (1992), existem muitos fatores que podem interferir nas medições das gotas de pulverização em papel hidrossensível, uma delas é a umidade, pois em ambientes com grande capacidade pluviométrica pode danificar as amostras de papel hidrossensível e perder a sua capacidade de distinguir as gotas de pulverização.

Em suma, através do uso correto destes programas, o produtor pode utilizar como ferramenta para tomada de decisões e calibração de pulverização, bem como na escolha do melhor momento de aplicação. Isto aumentará a eficiência de aplicação e reduzirá o menor custo/benefício na produção. Dessa forma, irá garantir produções mais rentáveis com alta sustentabilidade ambiental e, sobretudo, lucratividade para o produtor.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Mecanização Agrícola, pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, no Campus Umuarama, Uberlândia-MG.

Inicialmente foram realizadas as aplicações para marcação dos papéis hidrossensíveis (26 x 76 mm) (Spraying Systems Inc., Wheaton, IL, USA). Elas foram realizadas utilizando um pulverizador costal pressurizado por CO₂, com uma barra munida de quatro bicos, espaçados de 0,5 m entre si e altura da barra em relação aos papéis de 0,5 m.

Empregaram-se pontas de pulverização hidráulicas, da empresa Magno Jet, de jato plano BD 11001 e jato plano com indução de ar ADIA 11001, fabricadas em cerâmica. A pressão utilizada foi de 207 kPa em ambas as pontas. Foram produzidos quatro padrões de deposição, de acordo com a Tabela 1, empregando gotas finas e muito grossas e velocidade de deslocamento lenta e rápida (correspondentes a aproximadamente 5 e 7 km h⁻¹, respectivamente). Cada condição de aplicação foi repetida 4 vezes, gerando 16 papéis hidrossensíveis.

Tabela 1 - Descrição dos padrões de deposição das gotas nos papéis hidrossensíveis e pontas utilizadas no ensaio.

Padrão de deposição	Ponta de pulverização	Classificação do tamanho de gota*	Deslocamento da Barra
1	BD 11001	Fina	Lento (5 km h ⁻¹)
2	BD 11001	Fina	Rápido (7 km h ⁻¹)
3	ADIA 11001	Muito Grossa	Lento (5 km h ⁻¹)
4	ADIA 11001	Muito Grossa	Rápido (7 km h ⁻¹)

* Classificação do tamanho de gota, segundo o fabricante.

Após a pulverização, os papéis hidrossensíveis foram coletados e digitalizados por meio de um scanner (HP, modelo Scanjet 2400), com resolução de 600 dpi não interpolados, com cores em 24 bits e formato BMP, e analisados por meio dos programas computacionais: CIR - Conteo y Tipificación de Impactos de Pulverización (Versão 1.5, T&C); e-Sprinkle - Sistema para Análise da Distribuição de Gotas Naturais e Artificiais (Versão 2005, Ablevision), DepositScan - Portable Scanning System for Spray Deposit Qualification

(USDA-ARS) e Conta-Gotas – Sistema para Análise de Eficiência em Pulverizações (Versão 1.1, UEPG). A área total dos papéis foi analisada pelos programas.

Para análise no DepositScan, as imagens foram transformadas previamente para 8 bits, em tons de cinza, por exigência do programa. Foram avaliados o diâmetro da mediana numérica (DMN), o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) ambos expressos em μm e a densidade de gotas (DG) dadas em gotas cm^{-2} . A versão utilizada do programa DepositScan não fornece o DMN.

Para efeito de comparação, os papéis também foram analisados de forma manual, seguindo metodologia adaptada de Marçal e Cunha (2008) e Cunha et al. (2012). Os papéis hidrossensíveis foram ampliados quatro vezes e impressos em papel ofício (216 x 330 mm) para posterior contagem dos impactos, com auxílio de uma lupa (40x). A mensuração dos impactos foi feita diretamente nas imagens digitalizadas por meio do programa Image Tool (Versão 3.0, UTHSCSA). Para isto, cada mancha foi selecionada, delimitada e medida individualmente pelo operador, reduzindo desta forma o problema da limiarização, empregada pelos programas avaliados. Conforme demonstrado por Garcia et al (2004), esta é a etapa mais crítica para a obtenção de um programa adequado à rotina de análise de gotas.

Neste estudo, foi empregada a Equação (1) para o fator de espalhamento, proposta por Chaim et al. (1999). Este fator pode ser definido como a relação entre o diâmetro da mancha, originada pelo impacto da gota sobre a superfície de amostragem, e o diâmetro da sua esfera original. Os programas CIR, e-Sprinkle, DepositScan e Conta-Gotas consideram um fator de espalhamento, específico para papel hidrossensível, internamente a sua rotina, sendo que somente no e-sprinkle este uso é optativo.

$$fe_{Dm} = 0,74057 + 0,0001010399 \times Dm + 0,02024884 \times \ln(Dm) \dots\dots\dots 1$$

fe = Fator de espalhamento..... (adm.)

Dm = Diâmetro da mancha no papel hidrossensível..... (μm)

O volume de cada gota foi calculado, então, empregando-se a Equação (2) e o diâmetro da gota corrigido em função do fator de espalhamento. De posse do volume de cada gota e com auxílio de uma planilha eletrônica, foram calculados o DMN e o DMV.

$$V_g = \frac{\pi Dg^3}{6} \dots\dots\dots 2$$

V_g = Volume de cada gota..... (μm^3)

Dg = Diâmetro da gota..... (μm)

Como análise complementar, quatro amostras de papel hidrossensível, retiradas da embalagem original recém aberta, foram imediatamente digitalizadas e analisadas por meio dos quatro programas, de forma semelhante aos demais papéis. Esta análise teve como objetivo verificar se ocorreria a leitura indevida de gotas em papéis não submetidos à pulverização.

As condições climáticas durante as aplicações foram monitoradas por meio de um termo-higro-anemômetro: temperatura média de 23,1°C; umidade relativa média de 63,4% e ausência de vento.

Os dados obtidos por cada programa foram comparados com a avaliação manual, por meio do teste t de Student para amostras emparelhadas, a 0,05 de significância ($p < 0,05$). Foram feitas comparações considerando a média geral de todos os papéis e cada padrão de deposição. Em seguida, foi realizada a análise das correlações entre os dados obtidos pelos programas e pela análise manual, por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os programas computacionais avaliados permitiram grande redução do tempo de análise dos papéis hidrossensíveis, sendo gasto nove minutos cada programa em comparação a dois dias da forma manual de avaliação. Na Tabela 2, estão apresentados os resultados de DMV, DMN e DG obtidos pelos diferentes métodos de análise.

Tabela 2 - Resultados obtidos nas análises dos papéis hidrossensíveis por meio de programas computacionais e análise manual, considerando quatro padrões de deposição.

Programas	DMV (μm)	DMN (μm)	DG (gotas cm^{-2})
Médias gerais (n = 16)			
CIR	237,05*	106,50*	140,00*
e-Sprinkle	514,91*	223,26 ^{ns}	13,46*
DepositScan	548,97*	-	30,99*
Conta Gotas	387,69 ^{ns}	111,56*	58,25 ^{ns}
Manual	409,42	193,51	47,55
Padrão de deposição = gotas finas e deslocamento lento (n = 4)			
CIR	141,49*	51,91*	359,25*
e-Sprinkle	282,70 ^{ns}	215,80*	20,63*
DepositScan	339,00*	-	80,54*
Conta Gotas	215,25 ^{ns}	105,75 ^{ns}	121,75 ^{ns}
Manual	264,93	86,35	142,42
Padrão de deposição = gotas muito grossas e deslocamento lento (n = 4)			
CIR	316,78*	113,31*	84,00*
e-Sprinkle	691,60*	200,85 ^{ns}	13,78 ^{ns}
DepositScan	745,33*	-	16,99 ^{ns}
Conta Gotas	482,00 ^{ns}	125,50*	40,25*
Manual	579,68	216,28	19,37
Padrão de deposição = gotas finas e deslocamento rápido (n = 4)			
CIR	146,42*	141,18*	56,75*
e-Sprinkle	242,30 ^{ns}	242,30 ^{ns}	11,65 ^{ns}
DepositScan	294,09*	-	12,19 ^{ns}
Conta Gotas	379,25*	109,25*	29,75*
Manual	244,44	229,65	14,80
Padrão de deposição = gotas muito grossas e deslocamento rápido (n = 4)			
CIR	343,52*	119,58*	60,00*
e-Sprinkle	843,05*	234,10 ^{ns}	7,78*
DepositScan	817,48*	-	14,23 ^{ns}
Conta Gotas	474,25 ^{ns}	105,75*	41,25*
Manual	548,62	241,78	13,60

DMV – diâmetro da mediana volumétrica; DMN – diâmetro da mediana numérica; DG – densidade de gotas. Médias seguidas por um * indicam diferença significativa em relação à análise manual pelo teste t, a 0,05 de significância. ^{ns} Não significativo.

De forma geral, percebe-se na Tabela 2 que há grande diferença entre os valores medidos para um mesmo papel hidrossensível. Para o DMV, o programa que forneceu os resultados mais próximos à leitura manual nos quatro padrões de deposição foi o Conta-Gotas, exceto quando se utilizou gotas finas e deslocamento rápido. Os programas CIR e DepositScan sempre forneceram valores inferiores e superiores, respectivamente, à leitura manual. O e-Sprinkle informou valores maiores de DMV em relação à análise manual quando foram utilizadas gotas grossas.

Para o DMN, o programa que mais se aproximou à leitura manual foi o e-Sprinkle, exceto quando se utilizou gotas finas e deslocamento lento, significando que não há tanta sensibilidade para avaliar muitas gotas finas em um papel hidrossensível. Novamente, o programa CIR forneceu sempre valores inferiores à leitura manual. Percebe-se o mesmo para o Conta-Gotas, exceto quando se usavam gotas finas e deslocamento lento.

Para a DG, considerando a média geral dos 16 papéis, o programa que forneceu os resultados mais próximos à leitura manual foi o Conta-Gotas. Contudo, fazendo-se a comparação por padrão de deposição, o DepositScan foi o que mais se aproximou da leitura manual, exceto para gotas finas e deslocamento lento. O CIR forneceu sempre a maior densidade de gotas. Observação semelhante também foi encontrada por Leiva e Araújo (2009). Os autores afirmam que tal fato provavelmente se deve a maior sensibilidade deste programa em efetuar a separação de gotas superpostas. Em geral, os programas apresentam rotinas computacionais que permitem separar gotas superpostas em função de seu formato esférico. Contudo, dada à velocidade de deslocamento do pulverizador, uma gota pode apresentar formato alongado, o que pode levar a erro no cômputo geral por parte do programa.

Há que se salientar também que a análise visual pode estar sujeita a erros de contagem e mensuração, principalmente dada a dificuldade do processo. Outra possível fonte de erro é a utilização de fatores de espalhamento distintos nas rotinas computacionais. Os programas CIR, e-Sprinkle e Conta-Gotas, por exemplo, não citam quais os fatores empregados. O programa DepositScan utiliza o fator proposto por Salyani e Fox (1994).

O CIR forneceu sempre a maior densidade de gotas. Observação semelhante também foi encontrada por Leiva e Araújo (2009). Os autores afirmam que tal fato provavelmente se deve a maior sensibilidade deste programa em efetuar a separação de gotas superpostas. Em geral, os programas apresentam rotinas computacionais que permitem separar gotas superpostas em função de seu formato esférico. Contudo, dada à velocidade de deslocamento do pulverizador, uma gota pode apresentar formato alongado, o que pode levar a erro no cômputo geral por parte do programa.

Garcia et al. (2004) mostraram que as análises executadas pelos programas computacionais, para quantificar e qualificar o processo de pulverização, também apresentaram resultados bem distintos, quando comparados aos métodos tradicionais de análise. Os autores atribuíram os erros principalmente aos filtros para separação da cor do fundo do papel (amarelo) da cor das gotas (azul). Parece simples a análise de imagens digitalizadas de papéis amarelos com manchas azuis causadas pelas gotas, porém, os autores identificaram aproximadamente 90 tonalidades de cores entre o amarelo e o azul. Para um exame de gotas cujo tamanho é da ordem de micra, a dificuldade se eleva.

Em relação à análise de correlação, na tabela 3, observa-se que esta foi estatisticamente significativa entre todos os sistemas de medição para a DG e para o DMV, sendo observado valor significativo para o DMN apenas nas comparações Manual x CIR e e-Sprinkle x Conta-Gotas. Nesta última, observa-se que houve uma correlação negativa, ou seja, quando se obtêm um valor maior de DMN no e-Sprinkle espera-se um menor valor no Conta-Gotas e vice-versa. Nas demais comparações, seja para DMV, DMN e DG, quando significativas, existe uma correlação positiva.

De acordo com a classificação de Davis (1971), valores de correlação superiores a 0,70 indicam uma alta correlação positiva, o que pode ser visto, de maneira geral, para os valores associados às três características avaliadas.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação entre medidas obtidas por análise manual e mediante utilização dos programas computacionais CIR, e-Sprinkle, DepositScan e Conta Gotas, para DMV, DMN e DG.

Correlação	Coeficiente de correlação de Person (r)		
	DMV	DMN	DG
Manual x CIR	0,8728*	0,9120*	0,9854*
Manual x e-Sprinkle	0,9396*	0,1236 ^{ns}	0,7389*
Manual x DepositScan	0,9380*	-	0,9504*
Manual x Conta Gotas	0,6709*	0,1866 ^{ns}	0,9704*
CIR x e-Sprinkle	0,8858*	0,1535 ^{ns}	0,7799*
CIR x DepositScan	0,9609*	-	0,9806*
CIR x Conta Gotas	0,7744*	0,2437 ^{ns}	0,9857*
e-Sprinkle x DepositScan	0,9613*	-	0,8582*
e-Sprinkle x Conta Gotas	0,6337*	-0,5656*	0,7786*
DepositScan x Conta Gotas	0,7096*	-	0,9702*

DMV – diâmetro da mediana volumétrica; DMN – diâmetro da mediana numérica; DG – densidade de gotas. * Significativo ao nível de 0,05 de significância. ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$). O programa DepositScan não fornece DMN.

Embora nem sempre haja uma concordância numérica entre os valores medidos, esta forte correlação permite aos usuários de papéis sensíveis estarem confiantes de que seus resultados são comparáveis para um mesmo ensaio, desde que tenham sido avaliados pelo mesmo programa, independente do sistema de medição empregado. Para efeito de comparação de tratamentos, todos os programas permitiriam obter conclusões semelhantes baseadas em tamanho e densidade de gotas. Resultados semelhantes, comparando os programas USDA, DropletScan e Swath Kit, também foram encontrados por Hoffmann e Hewitt (2005). Os autores encontraram boa correlação entre os dados fornecidos pelos três programas, mesmo com a utilização de diferentes fatores de espalhamento.

Segundo Cunha et al. (2012), o teste t de Student e a correlação de Pearson (r) devem ser avaliados com cautela, pois os resultados estatísticos são de difícil interpretação. Neste contexto, as amostras avaliadas emparelhadas pelo teste t são insuficientes para tornar os resultados robustos e confiáveis, assim, o método de Pearson não demonstra acordo entre os programas, tendo a mesma observação neste trabalho para o DMN.

Com relação à análise dos papéis recém-retirados da embalagem original, foram obtidas 0; 0; 0,37 e 155 gotas cm^{-2} , respectivamente para os programas CIR, e-sprinkle, DepositScan e Conta Gotas. Isso demonstra que há alguma incompatibilidade no programa Conta Gotas, na versão utilizada, para leitura de papéis sem marcação de impactos de gotas. Diante disso, o programa Conta-Gotas mostrou-se o menos confiável em virtude de fornecer um número elevado de gotas. cm^{-2} em papéis que não foram expostos à pulverização.

Para Cunha et al. (2012) estas análises não foi desenhado para determinar o melhor e o pior software, cada um dos programas têm um papel fundamental na medição de parâmetros de pulverização. No entanto, é fundamental que os operadores estejam cientes que não existe o melhor programa e pode selecionar aquele que melhor se adapta as suas necessidades.

5. CONCLUSÕES

Existe uma forte correlação entre os valores medidos empregando os diferentes programas computacionais e o método manual para o diâmetro da mediana volumétrica e a densidade de gotas, o que permite maior confiança na comparação de tratamentos de um ensaio avaliado pelo mesmo programa, independente de qual seja o mesmo.

Não é recomendável comparar resultados obtidos com diferentes programas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. C.; ARAÚJO, R. M. **Análise de deposição de gotas por digitalização de Imagens**. Revisado em março 2012. Disponível em: <www.agronautas.com/artigos-tecnicos/geral/analise-de-deposicao-por-digitalizacao-de-imagens-agroscan.html>. Acesso em: 08 ago. 2012.
- BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Estudo do espectro de gotas produzidas nas pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 54, n. 3, p. 225-234, 2011.
- CARRERO, J. M. **Maquinaria para tratamientos fitosanitarios: métodos y aparatos para aplicación de plaguicidas**. Madrid: Mundi-Prensa Libros S.A., 1996. 159 p.
- CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; NETO, J. C.; HERMES, L. C. Comparison of microscopic method and computational program for pesticide deposition evaluation of spraying. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 493-496, abr. 2002.
- CHAIM, A.; MAIA, A. H. N.; PESSOA, M. C. P. Y. Estimativa de deposição de agrotóxicos por análise de gotas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 963-969, 1999.
- CUNHA, M.; CARVALHO, C.; MARÇAL, A. R. S. Assessing the ability of image processing software to analyse spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets. **Biosystems Engineering**, Porto, v. 111, n. 1, p. 11-23, 2012.
- CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, L. L.; BOLLER, W.; RODRIGUES, J. F. Aplicação aérea e terrestre de fungicida para o controle de doenças do milho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 366-372, 2010.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M. Características técnicas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 344-348, 2001.
- DAVIS, J. A. **Elementary survey analysis**. Englewood: Prentice-Hall, 1971. 206 p.
- DERKSEN, R. C.; JIANG, C. Automated detection of fluorescent spray deposits with a computer vision system. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 6, p. 1647-1653, 1995.
- FOX R. D.; DERKSEN, R. C.; COOPER, J. A.; KRAUSE, C. R.; OZKAN, H. E. **Visual and image system measurement of spray deposits using water-sensitive paper**. Revisado em março de 2003. Disponível em: <http://m.utoledo.edu/nsm/psrc/growers/pdf/Full-Imaging_water-sensitive_p.pdf>. Acesso em: 10 de jul. 2012.
- FRANZ, E. Spray coverage analysis using a hand-held scanner. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 36, n. 5, p. 1271-1278, 1993.

GARCIA, L. C.; RAMOS, H. H.; JUSTINO, A. Avaliação de softwares para análise de parâmetros da pulverização realizada sobre papéis hidrossensíveis. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v. 2, n. 1, p. 19-28, 2004.

GIL, Y; SINFORT, C. Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, n. 28, p. 5183-5193, 2005.

GRAHAM-BRYCE, I. J. Crop-protection: a consideration of effectiveness and disadvantages of current methods and scops for improvement. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B**, v. 281, p. 163-179, 1977.

HEWITT, A. J. Tracer and collector systems for field deposition research. **Aspects of Applied Biology**, v. 99, n. 1, p. 283-289, 2010.

HOFFMANN, W. C.; HEWITT, A. J. Comparison of three imaging systems for water-sensitive papers. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 21, n. 6, p. 961-964, 2005.

LEIVA, P. D.; ARAUJO, E. C. **Comparación de programas de computación para recuento y tipificación de impactos de aspersion sobre tarjetas sensibles**. Pergamino: INTA, 2009. 7 p.

MARÇAL, A. R. S.; CUNHA, M. Image processing of artificial targets for automatic evaluation of spray quality. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 3, p. 811-821, 2008.

MILLER, D. R.; YENDOL, W. E.; MCMANUS, M. L. On the field sampling of pesticide spray distributions using Teflon spheres and flat cards. **J. Environmental Science and Health**, EUA, 21 nov. 1992. Pesticides, food contaminants, and Agricultural Wastes. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03601239209372774>>. Acesso em: 01 out. 2012.

SALYANI, M.; FOX, R. D. Performance of image analysis for assessment of simulated spray droplet distribution. **Transactions of the ASAE**, v. 37, n. 4, p. 1083-1089, 1994.

SILVA, O. C. Tecnologia de aplicação de fungicidas. In: _____. **Principais doenças fúngicas do feijoeiro**. Ponta Grossa: UEPG, 1999. p. 127-137.

VOGEL, A. I. **Análise química quantitativa**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. 712 p.

ZHU, H.; SALYANI, M.; FOX, R. D. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 76, n. 1, p. 38-43, 2011.