

# PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA ESTIMATIVA DE UNIFORMIDADE DE GOTAS DE HERBICIDAS APLICADOS POR PULVERIZAÇÃO AÉREA<sup>1</sup>

MARIA CONCEIÇÃO PERES YOUNG PESSOA<sup>2</sup> e ALDEMIR CHAIM<sup>3</sup>

**RESUMO** - O objetivo deste trabalho foi o de apresentar o algoritmo de um programa computacional baseado em um método numérico de estimativa de perdas de herbicidas aplicados por pulverização aérea. Este método apresenta como entrada de dados a frequência de tamanhos das gotas em papéis hidrossensíveis, observadas no graticulo de Porton acoplado ao microscópio. A partir desses valores calcula-se a distribuição acumulada do diâmetro médio do tamanho e do volume das gotas formadas pelo bico de pulverização utilizados na aplicação, conforme metodologia já conhecida. Os dados obtidos para estas curvas de distribuição permitem fazer uso do método numérico de interpolação linear para a obtenção do diâmetro mediano volumétrico e do diâmetro mediano numérico da gota. Estes valores são fundamentais para a determinação da uniformidade de gota. Este método numérico foi implementado em linguagem computacional, permitindo a comparação de valores observados com os encontrados pela interpolação, para papéis espalhados nas faixas de aplicação. É apresentado um exemplo de utilização do programa para placas de papel hidrossensível amostradas em experimento realizado em Pelotas, RS.

Termos para indexação: agrotóxicos, tecnologia de aplicação, avaliação de gota, papel hidrossensível, algoritmo, interpolação.

## COMPUTATIONAL PROGRAM TO ESTIMATIVE OF HERBICIDE DROPLET UNIFORMITY APPLIED BY AERIAL SPRAYING

**ABSTRACT**- The main objective of this work was to present an algorithm of the computational program based on a numeric method to estimate losses of herbicides caused by aerial spraying. This method has as input, the frequency of droplets sizes collected on water sensitive paper, observed on the Porton graticule coupled to the microscope. With this values the accumulated distribution of the mean diameter is computed for droplets size and for droplets volume, both formed by the spraying nozzle, following already known methodology. Data obtained for this two distribution curves make possible to use a numeric method of the linear interpolation in order to obtain the volume median diameter and the numeric median diameter. These two values are fundamental to the determination of the droplets uniformity. This method was implemented on computer language to enable users to compare observed values against estimated by interpolation techniques. An example of the program is presented for an hydro sensitive paper capture on the sampling carried out in Pelotas, RS, Brazil.

Index terms: pesticides, application techniques, droplet assessment, water sensitive paper, algorithm, interpolation.

## INTRODUÇÃO

O estudo de técnicas de aplicação aérea de agrotóxicos tem constatado altos índices de gotas que não atingem o alvo desejado (Silbergeld, 1985).

O desvio da trajetória inicial da gota é decorrente de fatores, tais como, características do tamanho da gota, turbulência desfavorável, evaporação, dissipação, dispersão, tipo de cobertura vegetal a ser pulverizada, densidade de plantio, direção do voo, faixa de aplicação, direção do vento, entre outros. 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). Em decorrência, torna-se fundamental estimar a quantidade de produto depositada efetivamente na

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 27 de julho de 1998.

<sup>2</sup> Matemática Aplicada, Dra, Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental (CNPMA), Caixa Postal 69, CEP 13820-000, Jaguariúna, SP. E-mail: young@cnpma.embrapa.br

<sup>3</sup> Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-CNPMA.

cultura e, conseqüentemente, avaliar a quantidade perdida de produto.

No caso particular de experimento realizado no Projeto Avaliação do impacto ambiental da aplicação aérea de herbicidas em agroecossistemas arroz irrigado, em área de arroz irrigado, localizada em Pelotas, RS, verificou-se que apesar da perda por deriva, a quantidade de produto que atinge o alvo mostrou-se suficiente para o controle com herbicida. Surgiu, assim, a necessidade de se estimar a quantidade de produto desperdiçada.

Vários fatores e parâmetros influem na aplicação aérea de produtos químicos por pulverização aérea, sendo os principais: o tamanho da gota produzida pelo bico de pulverização, a velocidade do vento, a direção do vôo, a taxa de evaporação das gotas, a umidade relativa do ar. Entretanto, o parâmetro de maior influência na aplicação do produto é o tamanho da gota, visto que a eficiência de aplicação do produto é verificada através da determinação da taxa de uniformidade de gotas. Esta taxa é encontrada pela razão entre o valor do diâmetro mediano volumétrico (VMD) e o valor do diâmetro mediano numérico (NMD).

O método utilizado para a obtenção desses valores foi descrito por Mathews (1982). Este método necessita que o usuário informe o número de gotas por classes de tamanho de gotas (em micrômetros). Geralmente este dado de entrada é obtido por microscópio com um graticulo acoplado à ocular. É um processo muito desgastante para o usuário, pois necessita que sejam classificadas um mínimo de 200 gotas, por placa amostrada, para garantir a confiabilidade do método de classificação.

Encontram-se disponíveis no mercado sistemas computacionais cujos programas estão baseados em técnicas de reconhecimento de padrões e de processamento digital de imagens para a realização deste trabalho. Na maioria deles, as imagens dos papéis ou folhas com as gotas amostradas são capturadas por câmera de vídeo CCD ou por "scanners" a fim de que as imagens sejam digitalizadas para posterior análise dos padrões de deposição.

Um desses sistemas foi desenvolvido por Franz (1993), onde a imagem é capturada por "scanner" com resolução de 63,5 micrômetros/pixel. Este pro-

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

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.

Assim, quando não se pode fazer uso desses recursos computacionais, o processo de contagem de gotas e as etapas envolvidas no método de determinação do VMD e do NMD tornam-se extremamente desmotivantes para os profissionais da área de tecnologia de aplicação, dada a grande quantidade de cálculos, e a necessidade de elaboração de gráficos das distribuições acumuladas de volume e número médios de gotas envolvidos, em amostragens realizadas em papéis hidrossensíveis espalhados na faixa de aplicação (Hill & Inaba, 1989). Este procedimento demanda tempo e está sujeito a erros do operador, visto que cada papel amostrado deve ser analisado e que a quantidade de papéis necessários para amostragens em campo aumenta em função da área a ser analisada.

Além disso, a determinação da quantidade de produto depositada é encontrada mediante análise de resíduos efetuada em cada amostra, o que encarece sobremaneira a determinação da quantidade de produto efetivamente depositada na faixa de aplicação.

Um método alternativo para uma estimativa da deposição do produto em cada placa de papel hidrossensível amostrada foi desenvolvido pela Embrapa-CNPMA. Este método estima o volume depositado através do conhecimento da frequência de distribuição de diâmetros de impressões cau-

sadas por gotas de pulverização em alvos de amostragem artificiais e da densidade de gotas/cm<sup>2</sup> de cada amostra.

A ausência de programas computacionais alternativos menos sofisticados e da disponibilidade de sistemas modulares, que permitissem ao usuário a aquisição de módulos computacionais específicos em função dos recursos que possuem para a aquisição dos dados, também diminuiriam o tempo utilizado no processo de cálculo da eficiência de aplicação do produto, além de estimular sua prática.

Desta forma, para viabilizar a rápida determinação dos valores de VMD e de NMD, e, conseqüentemente, a determinação da uniformidade de gotas amostradas, além de uma estimativa prévia do volume (L/ha) depositado nas áreas de aplicação e de deriva, foi elaborado um programa em linguagem computacional de fácil aquisição e executável em computadores de baixo custo. Através deste programa, facilitou-se o acesso a uma forma mais dinâmica, rápida e segura para a determinação da eficiência das aplicações realizadas em campo, aos profissionais da área de tecnologia de aplicação que não fazem uso de equipamentos mais sofisticados para a análise de gotas e estimativa de volume (L/ha).

O presente trabalho teve por objetivo apresentar o algoritmo do programa computacional elaborado para estimar VMD, NMD, uniformidade de gotas e volume depositado (L/ha), assim como apresentar os resultados obtidos com a sua utilização. Este algoritmo faz uso de modelos: heurístico, para o cálculo do fator de espalhamento, e numérico, por interpolação linear, para as estimativas de VMD e NMD.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho baseou-se em informações coletadas em amostragens realizadas em área de plantio de arroz irrigado em Pelotas, RS, trabalho este realizado em conjunto com a Embrapa-CPACT e com a Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

Neste experimento, foram utilizadas 99 placas com papéis hidrossensíveis. Destas, 90 placas foram colocadas no interior de uma área de 600 m x 50 m, a ser pulverizada por avião, considerada área-alvo. Os papéis foram dispostos na faixa central da área do experimento, em três linhas

marcadas a 250 m, 300 m, e 350 m no comprimento. Em cada linha foram distribuídos 30 papéis hidrossensíveis, colocados de 5 em 5 m. Fora da área de aplicação, mas na mesma direção das linhas anteriormente descritas, foi estabelecida a área de zona sujeita à deriva, em função das direções do vento no ambiente e do vôo da aeronave. Foram colocados três papéis hidrossensíveis a 10 m, 50 m e 100 m de distância, em cada uma das linhas na área de deriva, conforme o esquema apresentado na Fig. 1, totalizando 9 placas nesta área.

Quando em contato com esses papéis, as gotas do herbicida, em calda aquosa, utilizadas na pulverização, passaram a apresentar coloração azul, destacando-se na coloração amarelada própria do papel (Fig. 2).

O método tradicional (Matheus, 1982) para obtenção da taxa de uniformidade de gotas é descrito a seguir.

Os papéis foram, posteriormente, analisados em microscópio comum, contendo um graticulo ocular de classificação para o tamanho das gotas. O graticulo utilizado foi o de Porton N-G12. Este graticulo apresenta linhas paralelas a uma linha-base Z, que aumentam em progressão geométrica de  $\sqrt{2}$ . As marcas deixadas pelas gotas no papel foram, posteriormente, medidas, alinhando-se sua borda com a linha-base Z do graticulo e verificando a linha coincidente com a borda oposta da gota depositada. Se a

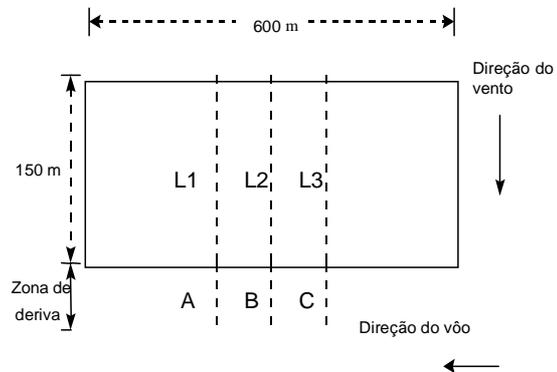


FIG. 1. Esquema de representação da área, com: L1, L2 e L3 = linhas com 30 papéis hidrossensíveis na área alvo; A, B e C = linhas com 3 papéis hidrossensíveis na zona de deriva.

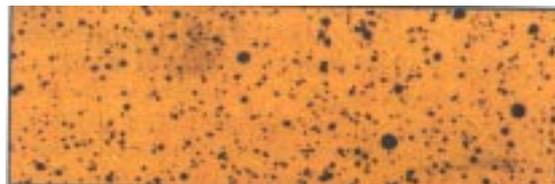


FIG. 2. Papel hidrossensível utilizado na amostragem.

medida da gota ficasse entre duas linhas do graticulo, ela era classificada pelo graticulo de maior valor.

As medições dos tamanhos de gotas foram feitas procurando-se analisar todas as gotas visualizadas no campo focal do microscópio, passando-se sucessivamente para novos campos até a medição de pelo menos 200 gotas (Rose, 1963) em cada papel hidrossensível colocado no microscópio. Caso a amostra possuísse quantidade inferior a 200 gotas, a medição era realizada em todas as manchas de gotas encontradas no papel.

Após a calibração do graticulo, foi encontrado o diâmetro de leitura (DL) da maior ou da menor gota. A partir do DL, são calculadas as faixas de classificação das gotas em progressão ascendente de  $\sqrt{2}$  se apresentado o menor valor, ou em progressão descendente de  $(\sqrt{2})^{-1}$  se apresentado o maior valor. Dessa forma, as classes, ou faixas, são igualmente espaçadas em uma escala logarítmica.

A fim de que fossem corrigidas alterações, causadas por fatores ambientais e pela forma de aplicação (características da calda, velocidade de impacto, tamanho da gota, características da superfície do alvo), ocorridas durante o percurso da gota até o solo, utilizou-se um fator de espalhamento em cada classe de DL.

O fator de espalhamento pode ser entendido como a razão entre o tamanho da mancha causada pelo choque do produto em contato com a superfície amostrada e o tamanho original da gota pulverizada. Assim sendo, a utilização do fator de espalhamento é fundamental para que sejam diminuídos os erros envolvidos no processo de cálculo da eficiência da aplicação do produto.

O valor utilizado para cada fator de espalhamento (FE) é tabelado para diferentes valores de diâmetros de gotas (em  $\mu\text{m}$ ) segundo Ciba-Geigy (19...). Quanto a valores não-disponíveis na tabela, o usuário utiliza geralmente, uma aproximação intuitiva, baseada nas informações dos pontos mais próximos ao valor de diâmetro desejado e nos seus respectivos fatores de espalhamentos.

Para facilitar o processo de obtenção do valor do fator de espalhamento para diferentes diâmetros de leitura (fe(DL)), necessários para as estimativas do VMD e do NMD, foi ajustado, neste trabalho, um modelo empírico aos diferentes tamanhos de gotas (em micrômetros) e seus respectivos fatores de espalhamentos, baseando-se em dados tabelados pela Ciba-Geigy (19...), utilizados pelos profissionais da área de tecnologia de aplicação, e em outros dados de experimentos semelhantes obtidos na Embrapa-CNPMA, em quatro repetições.

O modelo foi obtido por regressão linear, por meio de conversão de variáveis.

O DL foi corrigido mediante sua divisão pelo respectivo fator de espalhamento.

Para facilitar a contagem das gotas encontradas no papel, foram calculados os diâmetros médios (DM) das classes dos diâmetros corrigidos. Posteriormente, deu-se a contagem da quantidade de gotas em cada classe de DM. Rose (1963) assume que 200 gotas classificadas por placa de papel hidrossensível analisada é a quantidade indicada para assegurar a confiabilidade nos resultados alcançados pelas medições, dada a dificuldade operacional em classificar todas as gotas coletadas em todas as placas utilizadas na amostragem.

Uma vez que o bico de pulverização produz gotas de formato esférico, o volume de cada gota é dado por:

$$V_{\text{gota}} = \frac{4}{3} * \pi * r^3,$$

onde:

r = raio da gota;

$V_{\text{gota}}$  = volume da gota.

Como  $r = \frac{D}{2}$ , onde D= diâmetro da gota, o volume da gota pode ser apresentado por:

$$V_{\text{gota}} = \frac{1}{6} * \pi * D^3.$$

Assim, percebe-se que o volume da gota é determinado fundamentalmente pelo conhecimento do seu diâmetro.

Dessa forma, pode-se utilizar o DM, diâmetro médio das classes de gotas pré-determinadas, no cálculo do  $V_{\text{gota}}$  e representá-lo pelo valor que o diferencia das demais gotas, a saber, o  $DM^3$  (uma vez que  $\frac{1}{6} * \pi$  é constante).

A quantidade total de volume encontrada em cada classe foi determinada pela quantidade de gotas lidas na classe i, ( $N_i$ ), multiplicada pelo volume da gota média encontrada na classe ( $DM_i^3$ ).

A seguir, calcularam-se as distribuições acumuladas de número de gotas e de volume, que nesta metodologia tradicional necessitam de elaboração dos gráficos em papel log-probit para a obtenção do VMD e NMD, nos valores dos diâmetros médios (em micrômetros) correspondentes aos pontos onde são encontrados 50% dos valores acumulados de volume e número de gotas, respectivamente.

Verificou-se que a obtenção dos valores de VMD e NMD seria facilmente obtida numericamente utilizando-se o método numérico de interpolação polinomial nas colunas das percentagens acumuladas.

O método de interpolação polinomial utilizado (Dorn & McCracken, 1981) é descrito a seguir.

Seja um ponto qualquer identificado no plano cartesiano por suas coordenadas  $(X_{k1}, Y_{k2})$  com  $k1, k2 = 0, \dots, \infty$ . No método numérico de interpolação polinomial, para cada conjunto finito e discreto de pontos encontrados em um intervalo  $[a, b]$ , onde nem sempre possibilita-se ajustar uma função analítica apropriada  $y(x_k)$ , permite-se encontrar um valor aproximado de um ponto médio, com base no conhecimento dos valores encontrados nos pontos anterior e posterior a este ponto. Isto é, dados dois pontos distintos de uma função,  $(x_k, y_k)$  e  $(x_{k+1}, y_{k+1})$ , torna-se possível encontrar o valor desta função no ponto médio aos valores dados, usando-se interpolação polinomial. Quando se considera que o intervalo compreendido entre os dois pontos dados é facilmente representado por um segmento de reta, e não uma curva qualquer, trata-se de interpolação linear.

Assim, permite-se calcular  $y_{med}$ , em termos de  $x_{med}$  e dos valores de  $y_k, x_k$  e  $y_{k+1}, x_{k+1}$  dados.

Quando a interpolação linear é usada em uma tabela logarítmica, o erro de truncamento é máximo para  $x$  pequeno e diminui à medida que  $x$  se torna maior, o que é facilmente comprovado graficamente (Fig. 3).

Este resultado pode ser facilmente aplicado aos gráficos de VMD e NMD, cuja obtenção foi comentada anteriormente. Neste caso, tornou-se extremamente pertinente aos propósitos deste trabalho utilizar interpolação linear para a determinação do VMD e do NMD, visto que estes valores são encontrados aos 50% do valor acumulado de volume e de número de gotas respectivamente e que, portanto, localizam-se geralmente na faixa intermediária do

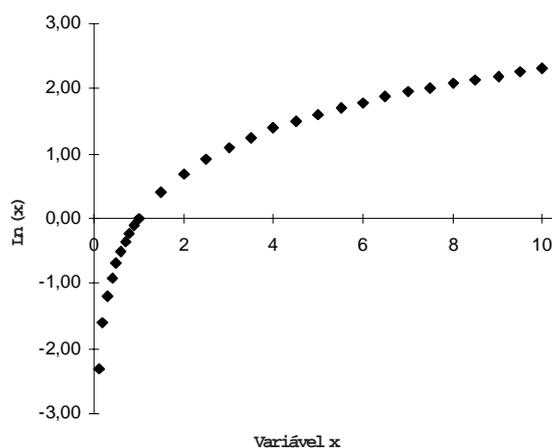


FIG. 3. Interpolação linear utilizada em tabela logarítmica.

gráfico log, onde as aparências das curvas acumuladas representadas pelos pontos dados tornam-se basicamente retas.

Sendo os valores de VMD e NMD afetados pela proporção de gotas grandes e pequenas, a razão entre esses valores forneceu uma estimativa do grau de uniformidade das gotas lançadas. Dessa forma, a uniformidade para a pulverização compreende valores onde a razão entre VMD e NMD são maiores e próximas de 1.

Quando as gotas são uniformemente distribuídas, permite-se calcular a densidade (número de gotas/cm<sup>2</sup>) teórica. Assim, o número médio de gotas caindo em 1cm<sup>2</sup> é

$$\text{densi}_{\text{media}} = \frac{60 * 100^3 * V_{\text{gota}}}{\pi * d}$$

onde:

$V_{\text{gota}}$  = volume em L/ha;

$d$  = diâmetro da gota ( $\mu\text{m}$ );

$\text{densi}_{\text{media}}$  = (gotas/cm<sup>2</sup>).

Em método desenvolvido na Embrapa-CNPMA, verificou-se que o volume pode ser estimado para cada placa amostrada, usando a seguinte fórmula:

$$V_{\text{gota}} = \pi * \text{densi} * \frac{1}{6 * 10^7} * \frac{\sum_{i=1}^n N_i DM_i^3}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

onde:

$V_{\text{gota}}$  = volume em L/ha;

$\text{densi}$  = densidade de gotas na placa (gotas/cm<sup>2</sup>);

$N_i$  = quantidade de gotas lidas na classe  $i$ , ( $DM_i^3$ );

$DM_i^3$  = volume da gota média encontrada na classe  $i$ .

Dessa forma, para a densidade de gotas/cm<sup>2</sup> encontrada em cada placa ( $\text{densi}$ ), fornecida pelo usuário, pode-se estimar o volume (L/ha) de produto em cada placa amostrada.

Nesta estimativa, desenvolvida pela Embrapa-CNPMA, o volume total depositado é dado pela média dos volumes registrados em cada placa amostrada, e não pelo volume mediano volumétrico (VMD). Dessa forma, o cálculo do volume torna-se mais preciso à medida que se possibilite calcular as frequências de gotas em um número maior de classes de diâmetro médio.

Uma vez que todos os métodos já adotados e os novos apresentados neste trabalho, utilizados para a obtenção do VMD, NMD, uniformidade de gotas e do volume (L/ha) encontravam-se bem definidos numericamente,

viabilizou-se sua implementação computacional do programa em linguagem Q-Basic 4.5, utilizada em microcomputador.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de obtenção do valor do fator de espalhamento para diferentes diâmetros de leitura (fe(DL)), necessário para as estimativas de VMD e de NMD, foi facilitado pelo ajuste de um modelo empírico aos diferentes tamanhos de gotas e seus respectivos fatores de espalhamento. O modelo, obtido por regressão linear com conversão de variáveis, é apresentado a seguir:

$fe(DL) = 0,8419 + 0,000152 * DL + 0,1758 * \ln(DL)$   
com:  $r^2 = 0,9947$ .

Os valores do fator de espalhamento encontrados pela função e do fator de espalhamento tabelado são apresentados na Fig. 4.

A interpolação linear foi usada para obtenção dos valores de VMD e de NMD, conforme comentada anteriormente nos métodos.

Um programa computacional, em linguagem Q-Basic 4.5, foi elaborado para testar a eficiência desse método numérico de obtenção do VMD e do NMD, assim como para estimar o volume (L/ha) segundo o método da Embrapa-CNPMA fazendo uso do modelo empírico para cálculo do fator de espalhamento. Este programa tem seu código fonte em 14 KB de memória computacional e em sua forma executável apresenta 61 KB de memória. Seu algoritmo é apresentado a seguir.

INÍCIO

FAÇA

{

*Informar quantidade de gotas (N) em cada classe de diâmetro de leitura (DL);*

*Calcular fator de espalhamento para cada diâmetro de leitura (fe(DL)), segundo modelo empírico apresentado;*

*Encontrar o diâmetro corrigido;*

*Calcular o diâmetro médio (DM);*

*Calcular  $\Sigma N$ ,  $\Sigma NDM^3$  para todas as classes de DM;*

*Obter as distribuições acumuladas de N e de DM<sup>3</sup>;*

*Realizar as interpolações lineares nos pontos que acumulam 50% nas duas distribuições a fim de encontrar o diâmetro mediano numérico (NMD\_PROG) e o diâmetro mediano volumétrico (VMD\_PROG);*

*Apresentar gráficos de VMD\_PROG, NMD\_PROG e de frequência de N;*

*Fornecer a densidade de gotas/cm<sup>2</sup>;*

*Estimar o volume em L/ha utilizando a fórmula matemática já discutida;*

*Calcular a uniformidade de gota (UNIF\_PROG) para a placa em análise;*

*Armazenar dados placa, VMD\_PROG, NMD\_PROG, UNIF\_PROG e volume da placa;*

}

ATÉ { ter lido a última placa com papel hidrossensível};

Calcular os valores médios das placas para: volume (L/ha), VMD\_PROG, NMD\_PROG e UNIF\_PROG.

Os dados relativos à quantidade de gotas (N) em cada classe de diâmetro de leitura (DL), amostrados no experimento realizado em área de arroz irrigado em Pelotas, RS, coletados em cada placa de papel hidrossensível, foram dados de entrada do programa.

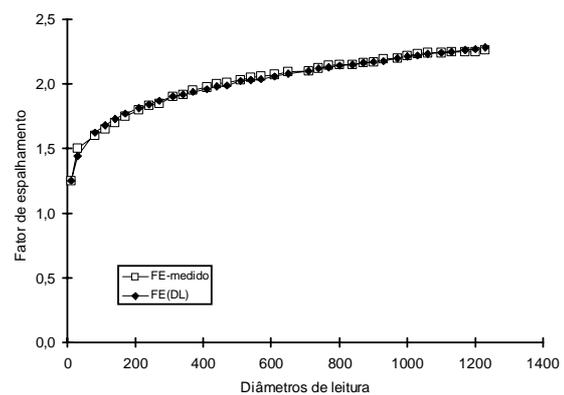


FIG. 4. Gráfico comparativo dos valores tabelados e encontrados pela função para o fator de espalhamento.

ma desenvolvido e os resultados obtidos pelo método tradicional de obtenção do VMD e NMD são calculados e apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. Em cada tabela, é fornecida, para cada uma das 30 placas amostradas na zona de pulverização e para as três linhas da zona de deriva, em cada uma das três linhas do experimento, a quantidade de gotas (N) encontradas para cada (DM), variando de 35 µm a 447 µm, assim como os VMD e NMD encontrados pelo gráfico em papel logprobit e o volume estimado.

Foram calculados os VMD\_PROG e o NMD\_PROG pelo programa computacional, assim como os valores relativos ao volume (em L/ha) em cada placa (VOL\_PROG). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

A fim de que seja verificada a variabilidade dos resultados estimados com relação aos resultados obtidos pelo método tradicional foram plotados os gráficos do VMD\_PROG X VMD\_MT e do NMD\_PROG X NMD\_MT (Figs. 5 e 6). Quanto mais linear apresentar-se esta relação, menor é a diferença encontrada entre os valores. Além disso, é possível identificar nos gráficos as áreas de concentrações dos diâmetros (em micrômetros) para as placas amostradas em cada linha do experimento.

Os valores médios de VMD\_PROG e NMD\_PROG encontrados nas linhas 1, 2 e 3 dentro e fora da zona de aplicação são apresentados na Tabela 5.

Os volumes em cada linha, na área alvo e na zona de deriva, foram calculados e apresentadas as médias de volumes que atingiram essas áreas, a saber:

**TABELA 1. Informações obtidas para a Linha 1 do experimento<sup>1</sup>.**

Método tradicional				Diâmetro médio								
NMD	VMD	Densi	Placa	35	50	71	96	134	179	236	326	447
Número de gotas em cada diâmetro												
69	144	86	1	6	39	63	40	28	26	3	0	0
82	203	36	2	8	32	40	30	28	29	16	8	0
78	145	68	3	16	33	36	48	36	26	6	0	0
98	200	56	4	6	12	31	43	40	29	16	8	0
80	199	140	5	7	15	53	32	26	19	18	5	0
98	200	88	6	5	9	42	44	53	30	15	10	0
98	190	78	7	3	6	30	14	27	18	7	4	0
80	240	127	8	10	19	15	19	22	10	4	6	0
120	201	63	9	0	6	31	35	38	38	38	10	0
88	192	84	10	8	18	15	29	20	18	15	3	0
88	200	88	11	6	18	17	28	17	16	13	4	0
90	202	84	12	6	16	18	29	18	18	14	5	0
88	187	160	13	12	18	39	55	29	35	28	3	0
105	250	90	14	5	9	36	33	38	48	10	10	4
94	190	80	15	6	12	38	39	40	27	14	5	0
86	185	129	16	10	19	38	48	28	30	20	3	0
85	220	81	17	8	36	40	40	22	35	20	10	1
107	205	86	18	3	8	27	57	43	20	61	4	0
76	220	88	19	10	19	15	22	10	10	8	2	1
118	205	66	20	6	8	30	42	32	41	46	3	3
125	198	110	21	4	5	10	20	60	40	28	6	1
71	260	40	22	7	18	38	29	15	10	5	2	2
67	162	70	23	13	40	55	25	30	27	12	1	0
118	218	90	24	3	12	29	35	50	47	28	10	3
140	240	78	25	0	4	28	32	32	44	42	18	4
87	360	8	26	0	1	7	7	0	2	2	0	1
0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	195	76	28	11	32	40	30	35	25	18	6	0
88	180	90	29	10	16	47	39	43	27	21	1	0
110	170	43	30	3	6	30	14	27	38	6	2	1
80	180	36	1A	10	32	52	40	35	27	21	1	0
94	158	16	2A	3	16	21	47	50	18	10	2	0
88	210	121	3A	13	16	41	50	36	28	22	5	2

<sup>1</sup> NMD: Diâmetro Mediano Numérico; VMD: Diâmetro Mediano Volumétrico; Densi: Densidade de gotas/cm<sup>2</sup>; Placa: Número identificador da placa de papel hidrossensível amostrada.

**TABELA 2. Informações obtidas para a Linha 2 do experimento<sup>1</sup>.**

NMD	Método tradicional			Diâmetro médio (DM)								
	VMD	Densi	Placa	35	50	71	96	134	179	236	326	447
				Número de gotas em cada diâmetro								
72	163	60	1	13	44	42	25	34	30	13	1	0
94	200	29	2	2	13	17	21	29	10	7	4	0
92	200	80	3	4	13	17	21	29	10	7	4	0
105	175	25	4	3	6	15	20	21	25	4	4	0
79	162	20	5	3	30	38	38	31	18	10	1	0
81	185	88	6	15	31	40	30	40	26	8	6	0
92	220	70	7	3	6	30	14	27	14	6	1	1
84	168	105	8	10	18	15	20	21	19	3	3	0
82	240	20	9	3	7	13	18	22	28	4	6	1
100	230	46	10	2	12	16	22	35	13	8	8	0
90	181	51	11	3	12	15	21	30	5	5	2	0
78	185	102	12	12	18	15	20	21	12	8	2	0
81	195	125	13	10	19	15	19	22	10	7	3	0
82	255	38	14	4	21	22	13	23	16	3	2	2
80	222	38	15	2	14	21	18	15	10	5	2	1
86	315	60	16	6	9	20	29	20	14	3	2	3
66	340	80	17	6	29	57	31	16	12	5	3	5
98	225	30	18	0	20	35	44	59	23	16	6	3
118	194	59	19	0	20	20	18	44	40	20	6	1
87	195	9	20	0	10	18	40	20	9	9	3	0
82	202	83	21	13	35	40	31	41	25	11	6	1
87	187	77	22	14	32	38	30	41	20	8	3	1
73	143	51	23	12	34	52	51	35	15	8	0	0
90	212	82	24	8	30	37	38	22	35	26	12	0
78	265	68	25	6	10	30	25	14	10	7	5	2
98	230	86	26	3	10	16	20	29	10	7	4	1
86	270	73	27	10	18	27	30	28	16	6	4	3
82	232	42	28	6	17	42	34	27	10	9	3	2
80	199	100	29	6	15	53	33	28	19	18	5	0
73	152	52	30	2	19	22	18	13	13	4	0	0
72	178	35	1B	3	46	47	37	33	19	13	2	0
89	133	20	2B	0	18	47	48	55	29	2	0	0
67	150	95	3B	7	36	61	29	30	22	2	2	0

<sup>1</sup> NMD: Diâmetro Mediano Numérico; VMD: Diâmetro Mediano Volumétrico; Densi: Densidade de gotas/cm<sup>2</sup>; Placa: Número identificador da placa de papel hidrossensível amostrada.

19,00 ± 9,09 L/ha na linha 1; 12,00 ± 6,08 L/ha na linha 2; 17,00 ± 10,65 L/ha na linha 3 para a área alvo; e 12,00 ± 14,17 L/ha para a linha 1; 5,00 ± 3,60 L/ha para a linha 2; e 6,00 ± 3,53 L/ha para a linha 3, na zona de deriva. Esses valores indicam que, em média, 16,00 ± 3,61 L/ha atingiu o alvo e 7,67 ± 3,79 L/ha

foi perdido para a zona de deriva, correspondendo a 53% de produto no alvo, 26% de produto recolhido na zona de deriva, e 21% de produto perdido por outros processos, provavelmente por evaporação.

Dessa forma, estima-se que cerca de 47% do produto lançado no experimento não atingiu o alvo.

**TABELA 3. Informações obtidas para a Linha 3 do experimento<sup>1</sup>.**

NMD	Método tradicional			Diâmetro médio (DM)								
	VMD	Densi	Placa	35	50	71	96	134	179	236	326	447
Número de gotas em cada classe de diâmetro												
69	140	48	1	12	40	51	41	32	17	5	0	0
81	142	30	2	7	24	42	35	40	25	4	0	0
98	180	90	3	5	16	35	31	28	40	16	4	0
76	180	48	4	11	26	54	40	34	23	10	2	1
87	170	100	5	11	17	15	20	23	18	4	3	0
103	196	90	6	9	15	36	33	43	40	23	8	0
74	230	65	7	3	16	38	29	15	11	5	3	1
90	199	89	8	7	18	15	31	20	18	15	4	0
75	225	102	9	10	30	41	25	28	20	8	6	1
87	180	50	10	4	16	15	22	30	6	5	2	0
76	192	140	11	8	33	63	54	29	23	25	4	0
103	233	172	12	11	26	34	21	39	32	25	10	3
80	194	92	13	7	12	50	30	25	18	16	4	0
94	198	84	14	6	10	40	42	40	30	15	8	0
78	195	88	15	10	40	50	45	38	26	12	7	0
87	195	99	16	6	23	45	48	37	28	20	7	0
80	195	100	17	6	35	48	48	34	26	18	6	0
81	318	44	18	0	19	30	42	20	12	5	4	4
82	209	60	19	14	34	35	38	42	22	11	6	1
67	241	70	20	13	45	53	38	32	13	4	3	2
72	175	68	21	3	30	48	37	32	14	3	2	1
77	190	131	22	18	26	47	42	36	22	7	4	1
102	255	33	23	3	4	17	20	43	8	4	3	2
114	237	121	24	13	14	29	27	58	37	28	22	0
92	213	99	25	7	26	34	21	36	22	18	4	2
82	230	98	26	9	20	49	48	49	14	10	3	3
96	168	90	27	2	18	40	32	52	30	6	3	1
91	200	57	28	3	16	48	43	46	26	16	8	0
91	205	60	29	4	17	45	40	42	25	18	9	0
86	188	51	30	3	20	49	50	28	24	32	0	0
86	190	43	1C	7	20	46	49	38	21	21	3	0
94	178	14	2C	0	9	30	51	36	18	18	2	0
75	175	76	3C	7	29	51	36	30	12	12	2	0

<sup>1</sup> NMD: Diâmetro Mediano Numérico; VMD: Diâmetro Mediano Volumétrico; Densi: Densidade de gotas/cm<sup>2</sup>; Placa: Número identificador da placa de papel hidrossensível amostrada.

Os valores de VMD\_MT e de NMD\_MT obtidos pelo método tradicional já foram apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Em média, o VMD total foi  $205 \pm 3$  micrômetros e o NMD total  $89 \pm 5$  micrômetros, ambos obtidos pelo programa para o experimento, ao passo que pelo método tradicional o valor de VMD total foi de  $203 \pm 3$ , e o NMD total foi de  $88 \pm 4$  micrômetros. As médias dos valores de uniformidades de gotas obtidas foram 2,34 para o programa, e 2,31 para o método tradicional.

Considerando-se os resultados obtidos, as diferenças observadas para os valores de VMD e de NMD encontrados pelo programa mostraram-se

acrescidas em 1% (em micrômetros) para o VMD, e em 0,9% (em micrômetros) para o NMD dos valores obtidos pelo método tradicional.

Em termos de tempo de obtenção dos resultados, verificou-se que as mesmas 99 placas de papéis hidrossensíveis amostradas, levaram três dias de trabalho (de 8 horas cada um) para que fossem determinados os valores da uniformidade de gotas pelo modo tradicional, enquanto que demandaram 5 minutos para a obtenção das mesmas informações com a utilização do programa. Dessa forma, o tempo para a obtenção dos resultados foi reduzido em 99,65%.

Além desta vantagem, o programa forneceu também uma estimativa prévia do volume (em litros/hectare)

**TABELA 4. Resultados obtidos pelo programa para VMD e NMD <sup>1</sup>.**

Placa	VMD_PROG			NMD_PROG			VOL_PROG		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
1	143	167	140	69	73	69	7,01	7,82	3,81
2	207	203	142	84	94	82	7,56	5,66	3,03
3	146	203	180	79	93	97	6,64	15,33	18,52
4	203	175	183	96	105	77	12,70	5,46	7,03
5	202	165	173	81	80	87	26,42	2,45	16,07
6	206	185	198	99	81	105	19,90	14,19	21,78
7	191	191	230	98	92	74	15,84	13,37	11,24
8	240	170	201	82	85	90	25,06	16,58	19,02
9	207	238	228	122	113	75	20,16	6,01	19,76
10	196	232	180	90	102	88	16,97	11,79	7,03
11	203	183	196	88	91	78	18,41	7,51	22,81
12	206	187	234	90	82	104	19,09	15,81	56,22
13	189	198	198	89	82	81	30,90	20,65	16,61
14	257	261	201	109	82	95	30,41	8,57	18,32
15	188	225	196	93	81	79	15,23	7,76	14,23
16	186	324	200	87	87	88	22,92	15,98	19,78
17	221	342	197	85	67	82	20,14	19,80	17,53
18	202	228	321	111	99	82	24,63	7,73	12,35
19	221	201	211	76	119	83	17,71	16,83	11,14
20	208	198	245	119	88	67	21,91	1,58	9,85
21	200	209	175	126	82	74	35,12	15,64	8,57
22	266	190	194	76	79	77	7,46	12,00	19,96
23	167	144	260	68	74	103	8,43	4,44	8,46
24	222	217	236	118	90	116	30,73	21,92	42,20
25	240	271	216	140	80	92	38,06	18,60	24,42
26	354	231	232	78	97	84	2,85	21,25	19,13
27	0	278	170	0	84	95	0	18,40	15,73
28	200	235	202	84	78	92	14,49	8,37	11,66
29	179	201	209	90	82	92	14,39	18,83	13,30
30	172	155	189	111	74	87	9,65	5,53	8,94
1	180	178	190	80	74	86	5,26	4,43	7,19
2	163	134	176	94	89	92	2,39	2,03	2,47
3	212	151	175	89	68	73	28,25	9,11	9,38

<sup>1</sup> L1= Linha 1; L2= Linha 2 ; L3= Linha 3; VMD\_PROG= VMD encontrado pelo programa ( em micrômetros); NMD\_PROG= NMD encontrado pelo programa (em micrômetros); VOL\_PROG= Volume estimado pelo programa (em litros/hectare).

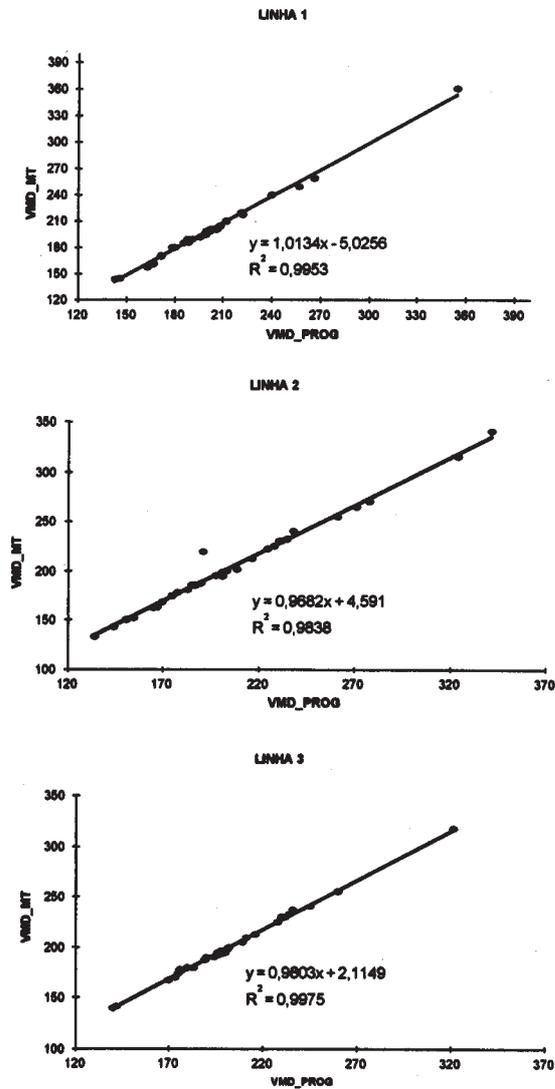


FIG. 5. Comparação entre os valores de diâmetro mediano volumétrico encontrados pelo programa (VMD\_PROG) e pelo método tradicional (VMD\_MIT).

depositado em cada placa amostrada, sem a necessidade da realização de análises de resíduos.

A partir deste programa, viabilizou-se um esforço conjunto da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa

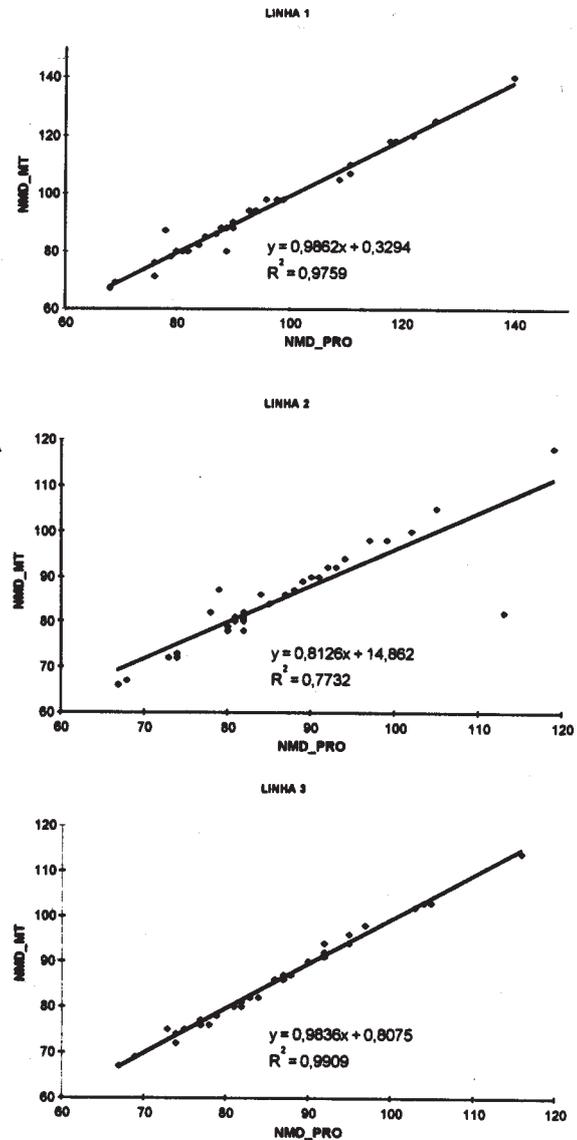


FIG. 6. Comparação entre os valores de diâmetro mediano numérico encontrados pelo programa (NMD\_PROG) e pelo método tradicional (NMD\_MIT).

de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental (CNPMA) e da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia em Informática para a Agricultura (CNPTIA), para o desenvolvimento de um sistema

**TABELA 5. Valores médios de VMD\_PROG e NMD\_PROG obtidos para as linhas 1, 2 e 3 do experimento, dentro e fora da zona de aplicação.**

Linha	VDM_PROG <sub>dentro</sub>	NMD_PROG <sub>dentro</sub>	VDM_PROG <sub>fora</sub>	NMD_PROG <sub>fora</sub>
1	208	94	185	88
2	214	87	154	77
3	205	87	180	84

que também automatize os processos de medição, de classificação e de determinação da densidade de gotas, mas a um custo acessível aos profissionais da área de tecnologia de aplicação. Este sistema incorporará também o algoritmo aqui apresentado, assim como fará uso de outras técnicas que permitam acompanhar a eficiência das aplicações de agrotóxicos por pulverização aérea.

### CONCLUSÕES

1. O programa computacional elaborado a partir do algoritmo apresentado calcula o diâmetro mediano volumétrico, o diâmetro mediano numérico e a uniformidade de gotas, e estima o volume (L/ha) depositado em pulverização aérea de calda aquosa.

2. A utilização do programa reduz em 99,65% o tempo gasto para a obtenção do diâmetro mediano volumétrico, do diâmetro mediano numérico e da uniformidade de gotas.

3. O programa estima o volume (L/ha), sem a necessidade de realização de análises de resíduos, fornecendo ao usuário o conhecimento da quantidade média de produto depositado na área de aplicação e na área de deriva.

4. Um modelo empírico ajusta o fator de espalhamento ao correspondente diâmetro de leitura com precisão de 99,47%.

5. O programa leva em consideração o fator de espalhamento das gotas nos cálculos.

6. Os valores de VMD e de NMD são encontrados pelo método numérico de interpolação linear, evitando a necessidade de elaboração de gráficos em papel log-probit.

7. O programa é um instrumento auxiliar, de baixo custo e grande portabilidade computacional, para os profissionais da área de tecnologia de aplicação que dispõem de equipamentos mais sofisticados para a análise de gotas.

### REFERÊNCIAS

- CIBA-GEIGY. **Water sensitive paper for monitoring spray distribution**. New York, [19...]. 15p. (Bulletin 332-W. AG 7.3).
- 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.
- DORN, W.S.; McCracken, D.D. **Cálculo numérico com estudos de casos em FORTRAN IV**. Rio de Janeiro: EDUSP, 1981. 568p.
- FRANZ, E. Spray coverage analysis using a hand-held scanner. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.36, n.5, p.1271-1278, 1993.
- 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**, London, v.281, p.163-179, 1977.
- HILL, B.D.; INABA, D.J. Use of water-sensitive paper to monitor the deposition of aerially applied insecticides. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.82, n.3, p.974-980, 1989.
- JIANG, G.; DERKSEN, R.C. Morphological image processing for spray deposit analysis. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.38, n.5, p.1581-1591, 1995.
- MATHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. London: Longman, 1982. 336p.
- ROSE, G.J. **Crop protection**. London: Leonard Hill, 1963. 490p.
- SILBERGELD, E. Environmental concerns of the risk management of application technology. In: HALL, F.R. **Improving agrochemical and fertilizer application technology**. Bethesda: ARI, 1985. p.63-69.