

# Método alternativo para estimar deposição de agrotóxico com uso de papel sensível à água

Aldemir Chaim

Aline de Holanda Nunes Maia

Maria Conceição P. Young Pessoa

Luiz Carlos Hermes

**Embrapa**

---

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**

**Presidente:** Fernando Henrique Cardoso

**Ministro da Agricultura e do Abastecimento:** Francisco Sérgio Turra

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**

**Presidente:** Alberto Duque Portugal

**Diretores:** Dante Daniel Giacomelli Scolari

José Roberto Rodrigues Peres

Elza Angela Battaglia Brito da Cunha

**Embrapa Meio Ambiente**

**Chefe Geral:** Bernardo van Raij

**Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento:** Deise M. Fontana Capalbo

**Chefe Adjunto Administrativo:** Vander Roberto Bisinoto

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

*Embrapa Meio Ambiente*

*Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

**MÉTODO ALTERNATIVO PARA ESTIMAR  
DEPOSIÇÃO DE AGROTÓXICO COM USO  
DE PAPEL SENSÍVEL À ÁGUA**

Aldemir Chaim  
Aline de Holanda Nunes Maia  
Maria Conceição P. Young Pessoa  
Luiz Carlos Hermes

*Jaguariúna, SP*

*1999*

**EMBRAPA MEIO AMBIENTE – Circular Técnica 1.**

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

**Embrapa Meio Ambiente**

Rodovia SP-340 - km 127,5 - Bairro Tanquinho Velho

Caixa Postal 69 13820-000 - Jaguariúna, SP

Fone: (019) 867-8700 Fax: (019) 867-8740

e-mail:edis@cnpma.embrapa.br

**Comitê de Publicações:** Aldemir Chaim

Célia M. M. de S. Silva

Franco Lucchini

Julio F. de Queiroz

Magda A. de Lima

Maria Cristina Tordin

**Revisão:** Lígia Abramides Testa

**Produção Gráfica:** Regina L. Siewert Rodrigues, Franco Ferreira de Moraes e Denise Moraes de Oliveira.

**Normalização:** Maria Amélia de Toledo Leme

**Tiragem:** 500 exemplares

CHAIM, A.; MAIA, A. H. N.; PESSOA, M.C.P.Y.; HERMES, L. C.

**Método alternativo para estimar deposição de agrotóxico com uso de papel sensível à água.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 34p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 1).

CDD 632.95

©EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 1999

# SUMÁRIO

Resumo.....	05
1. Introdução.....	06
2. Amostragem e Classificação de Gotas.....	08
2.1. Amostragem de Gotas .....	08
2.2 Calibração dos Fatores de Espalhamento .....	10
2.3 Medições com o Microscópio .....	12
2.4 Medições com uso de Computadores .....	16
3. Método matemático para quantificação da deposição de agrotóxicos .....	17
4. Considerações sobre o método matemático para determinação da deposição .....	26
5. Referências Bibliográficas .....	31
Anexo .....	34

# MÉTODO ALTERNATIVO PARA ESTIMAR DEPOSIÇÃO DE AGROTÓXICO COM USO DE PAPEL SENSÍVEL À ÁGUA

Aldemir Chaim<sup>1</sup>

Aline de Holanda Nunes Maia<sup>2</sup>

Maria Conceição P. Young Pessoa<sup>3</sup>

Luiz Carlos Hermes<sup>4</sup>

## RESUMO

Vários fatores contribuem para que a quantidade de defensivo que sai do bico dos pulverizadores não seja a mesma que atinge o alvo. A quantificação do material que alcança é feita com processos onerosos ou sofisticados. Neste trabalho, para estimar o volume de calda que atinge determinado alvo, descreve-se um método matemático que se utiliza da microscopia ótica para medição das gotas, permitindo a conversão do diâmetro das manchas ou impressões de gotículas de pulverização em volume/centímetro quadrado. Estima-se o volume das gotas que atingem determinada área, por meio da medição de suas manchas ou impressões criadas em alvos artificiais, cujos diâmetros são corrigidos por respectivos fatores de espalhamento. As gotas são classificadas em diferentes faixas

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Embrapa Meio Ambiente - Caixa Postal 69 CEP 13820-000 Jaguariúna (SP).

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma, M.Sc., Embrapa Meio Ambiente.

<sup>3</sup> Matemática Aplicada, PhD., Embrapa Meio Ambiente.

<sup>4</sup> Bioquímico, M.Sc., Embrapa Meio Ambiente.



de tamanho e o volume é calculado em função da sua densidade por centímetro quadrado. Apresentam-se resultados comparativos do método de análise matemática de deposição de gotas com um de análise química de traçador.

## 1. INTRODUÇÃO

Em qualquer aplicação de produtos químicos na agricultura, um requisito básico é que o material seja colocado exatamente no alvo desejado, evitando o escape para áreas vizinhas.

A combinação de fatores envolvendo o processo de aplicação e as condições edafoclimáticas contribui para que a quantidade do produto que sai do bico de pulverização do equipamento de aplicação não seja a mesma que atinge o alvo. Na década dos 60s, pesquisas indicavam que 45 a 70% dos produtos aplicados não atingiam o alvo intencionado e as derivas das aplicações alcançavam distâncias entre 10 e 1.000 metros do local da aplicação (Courshee, 1960). A Agência de Proteção Ambiental (EPA) norte-americana estimou que entre 10 e 60% dos produtos aplicados na agricultura derivam 300m ou mais, para fora da área tratada (Silbergeld, 1985). Esses materiais contaminam o ar, o solo, a água e os alimentos, podendo apresentar efeitos negativos para as pessoas, animais e plantas. Apesar dessas perdas, a quantidade de princípio ativo que ainda fica retida no alvo é suficiente para controlar o problema fitossanitário. Nesse sentido, Bals (1970) revelou um experimento em que um mesmo produto foi usado com um equipamento para aplicação UBV

(ultrabaixo-volume) - 0,5 L/ha - e o costal convencional - 500 L/ha. As duas aplicações proporcionaram ótimo controle da praga-alvo. Entretanto, uma análise química na superfície das plantas demonstrou que a UBV apresentou um resíduo 30 vezes maior que a aplicação convencional. Esse experimento revelou, portanto, que, melhorando o método de aplicação, a dose do produto poderia ser reduzida 30 vezes. Graham-Bryce (1977), numa revisão sobre agrotóxicos, observou que somente entre 0,02% e 30% dos ingredientes ativos aplicados são efetivamente utilizados, sendo o restante desperdiçado.

As doses dos produtos são muito maiores do que aquelas realmente necessárias para compensar uma série de perdas que ocorrem durante a aplicação. Nesse caso, a deriva e a evaporação de gotas são os principais fatores que afetam tais perdas (Combella, 1981). Em alguns aspectos, a deriva e o tamanho das gotas são fortemente afetados pelas características físico-químicas da calda e dos tipos de bicos de pulverização (Bode et al., 1976). Algumas pesquisas com gotas individualizadas e sob efeito de condições controladas demonstram também uma estreita relação entre o tamanho de gotas, características físicas da calda, temperatura e umidade relativa do ar e a taxa de evaporação (Amsden, 1962; Spillman, 1980).

Em vista do impacto que a deriva de alguns herbicidas provoca em culturas vizinhas e da preocupação pública com a contaminação do ar ou aquíferos superficiais, houve um grande estímulo para pesquisa nessa área, principalmente nos países desenvolvidos. Na maioria dos trabalhos realizados, não houve muita preocupação com a quantidade de princípio ativo que efetivamente atinge o alvo. Um dos poucos trabalhos nessa linha, realizado por Ware et al. (1970), apresenta resultados de 16 ensaios de quantificação da deposição de inseticidas em alfafa e



algodão, no Arizona, de 1961 a 1969. Com base nos dados experimentais, os autores concluem que a pulverização aérea de inseticidas deposita menos de 50% de produtos nessas culturas.

Os métodos para verificação de perdas e/ou eficiência da aplicação têm empregado análises químicas de traçadores ou dos próprios agrotóxicos utilizados nos tratamentos fitossanitários. Esses métodos são caros, na maioria das vezes, e pouco acessíveis às empresas de aplicação, ou ao restrito número de instituições de pesquisas que atuam na área de tecnologia de aplicação no País. Entretanto, um microscópio comum pode ser adotado para medir gotas de pulverização, e o volume de cada gota pode ser calculado.

Conhecendo-se o diâmetro e o número de gotas que cai sobre uma área conhecida, é possível estimar o volume de líquido total presente nessa superfície. Por outro lado, conhecendo-se a concentração da calda de agrotóxico aplicada em algum tipo de alvo específico, é também possível estimar o nível de resíduo presente na amostra.

## **2. AMOSTRAGEM E CLASSIFICAÇÃO DE GOTAS**

### **2.1. AMOSTRAGEM DE GOTAS**

As gotas são coletadas em alguns tipos de superfície especial, sobre a qual deixam marcas, crateras ou manchas, para, posteriormente, ser medidas. Uma superfície padrão para amostragem de gotas é obtida com a queima de duas tiras de magnésio metálico,

cada uma com 10 cm de comprimento, sob uma lâmina de microscópio. O magnésio metálico entra em combustão em presença de uma chama, emitindo fumaça branca, composta basicamente de óxido de magnésio. A lâmina de microscópio deve ser colocada num suporte, de maneira que a fumaça proporcione a deposição de uma camada delgada e uniforme desse óxido. Para facilitar o manuseio, somente uma faixa central da lâmina é coberta com ele. Gotas com diâmetro entre 20 e 200  $\mu\text{m}$  apresentam uma relação constante entre o diâmetro da cratera produzida no óxido de magnésio e o da esfera original da gota. As crateras formadas por gotas de água ou outros líquidos são, em média, 1,15 vez maiores que o diâmetro da esfera original das gotas (May, 1950). Gotas entre 15-20 e 10-15  $\mu\text{m}$  são, respectivamente, 0,8 e 0,75 vez o tamanho das crateras. Entretanto, Maksymiuk & Moore (1962) verificaram que o fator de espalhamento ( $f_e$ ) 1,15 (ou fator de conversão de 0,86), proporciona uma correlação linear para gotas esféricas e suas impressões na superfície do MgO entre 40 e 1.000  $\mu\text{m}$ . Esse fator foi utilizado por Higgins (1967) para determinação do fator de espalhamento do malatim técnico em papel kromekote, para gotas entre 30 e 650  $\mu\text{m}$ . O método do óxido de magnésio não é adequado para gotas menores do que 10  $\mu\text{m}$ , pois a velocidade terminal que elas adquirem é insuficiente para romper a tensão superficial do líquido; nesse caso, elas ricocheteiam com o impacto na superfície. Por outro lado, gotas maiores que 300  $\mu\text{m}$  podem danificar a delicada camada do material ou se arrebentarem com o impacto, originando gotas menores que podem mascarar o resultado da análise. Para amostrar gotas grandes, alguns pesquisadores têm utilizado um método que emprega lâminas recobertas com uma fina camada de caulim (Middleton & Lowe, 1967; Lake, 1970).

Em experimentos de campo, têm-se usado superfícies alternativas para amostragem de gotas, uma vez que o óxido de magnésio pode ser facilmente danificado. Superfícies como o papel kromekote (Higgins, 1967) ou papel fotográfico têm-se mostrado mais adequadas para a amostragem das gotas. Nesses casos, alguns corantes, como a croceína vermelha ou a negrosina, têm sido adicionados às caldas para visualização das manchas. Para evitar a contaminação de áreas não-alvo com corantes, desenvolveram-se métodos para impregnar papéis com corantes especiais que revelam as gotas que atingem sua superfície. Rose (1963) apresenta um método para amostragem de gotas de caldas cúpricas com papéis tratados com ferrocianeto de potássio, ou solução de bis-ciclo-hexanona-oxalil-dihidrazona - o cobre reage com essas substâncias promovendo o aparecimento de mancha marrom intenso. Turner & Huntington (1970) descrevem um método simples para obtenção de papéis sensíveis à água: esses substratos são impregnados com o corante azul-de-bromofenol que, em sua forma não ionizada, revela coloração amarela. Os papéis são tratados com uma solução contendo 1 g de azul-de-bromofenol dissolvido em 20 mL de acetona e diluído em 180 mL de tolueno. Quando atingem a superfície tratada, as gotas produzem manchas azuis, que apresentam um bom contraste com o fundo amarelo e podem ser facilmente medidas com microscópio. Esses papéis estão comercialmente disponíveis no mercado.

## **2.2. CALIBRAÇÃO DOS FATORES DE ESPALHAMENTO**

O fator de espalhamento -  $f_e$  - pode ser definido como a

relação entre o diâmetro da mancha ou cratera, originada pelo impacto da gota sobre a superfície de amostragem, e o diâmetro da sua esfera original. Esse fator é afetado pelo tamanho das gotas, velocidade de impacto, características físico-químicas da superfície do alvo e do líquido utilizado na pulverização. O fator de espalhamento deve ser então determinado em laboratório, para os diferentes tamanhos de gota. O óxido de magnésio pode ser utilizado como método padrão para calibração do fe para a superfície de amostragem escolhida. Outro método, que não é afetado por espalhamento e, por isso, denominado de "método absoluto", descrito por Matthews (1982), emprega uma mistura de vaselina sólida com óleo mineral leve (parafina medicinal). Aquece-se levemente a vaselina e mistura-se com o óleo na proporção de 1:2 partes. Uma camada de aproximadamente 2 mL dessa mistura é adicionada no fundo de um disco de Petri, que é mantido em local fresco para solidificação até a obtenção de uma consistência de graxa leve. Dependendo da temperatura ambiente, a proporção da mistura deve ser alterada para evitar um possível coalescimento de gotas. Nas amostragens, imediatamente após a coleta das gotas, a superfície deve ser coberta com uma fina camada de óleo para evitar sua evaporação.

As gotas utilizadas para estabelecimento dos fatores de espalhamento devem apresentar tamanhos uniformes. Estas podem ser obtidas pelo bico do tipo disco rotativo, pois, segundo Matthews (1982), tal dispositivo produz, basicamente, duas faixas de tamanho de gotas: uma correspondendo ao tamanho principal e a outra a gotas satélites. Estas são criadas quando as principais se libertam dos ligamentos líquidos formados durante o processo de pulverização. O diâmetro das gotas produzidas por bicos rotativos pode ser calculado com a seguinte equação:

$$d = K \frac{1}{w} \sqrt{\frac{\gamma}{D\rho}}$$

onde:

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

$w$  = velocidade angular (rad/s);

$D$  = diâmetro do disco (mm);

$\gamma$  = tensão superficial do líquido (mN/m);

$\rho$  = densidade do líquido ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Segundo Matthews (1982), a distância em que a gota é arremessada ( $S$ ) é aproximadamente proporcional à raiz quadrada do produto do seu diâmetro e do diâmetro do disco:

$$S = 1,3 * \sqrt{(d * D)}$$

onde:

$S$  = distancia de arremesso das gotas (cm),

$d$  = diâmetro das gotas ( $\mu\text{m}$ );

$D$  = diâmetro do disco do bico de pulverização (cm).

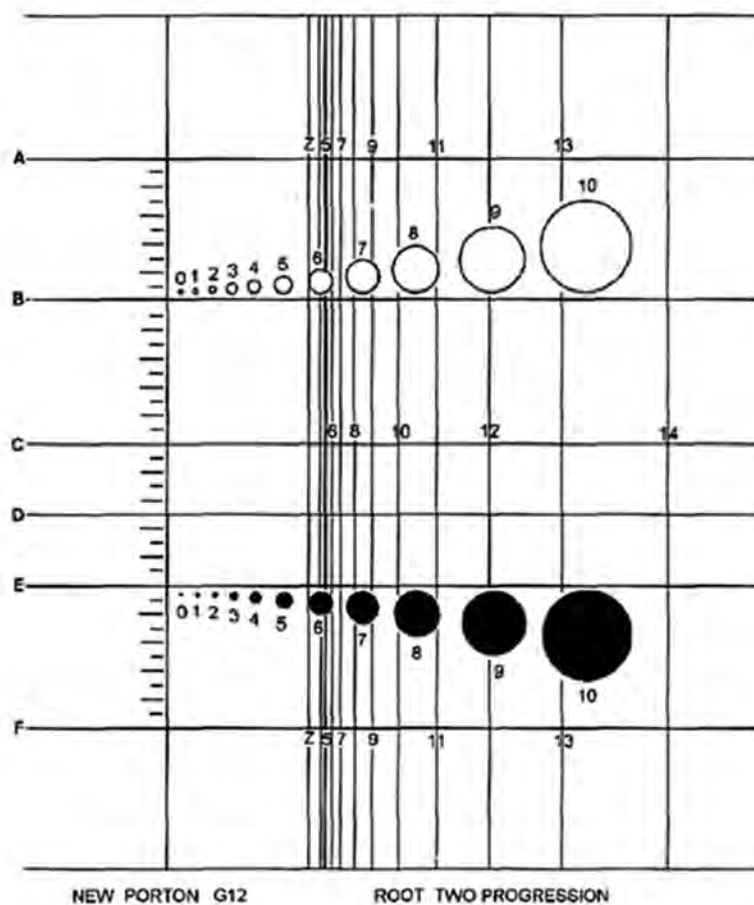
Por essa fórmula, por exemplo, uma gota de 250  $\mu\text{m}$  produzida por um disco de 9 cm é arremessada a uma distância de 61,7 cm. Conhecendo-se o comprimento do percurso de arremesso, é possível selecionar uma amostra de gotas com espectro de tamanho homogêneo, colocando os alvos a distâncias bem definidas do bico de pulverização.

## 2.3 MEDIÇÕES COM O MICROSCÓPIO

As marcas das gotas obtidas nas amostragens são examinadas por microscópios de luz incidente (superfícies opacas), ou luz



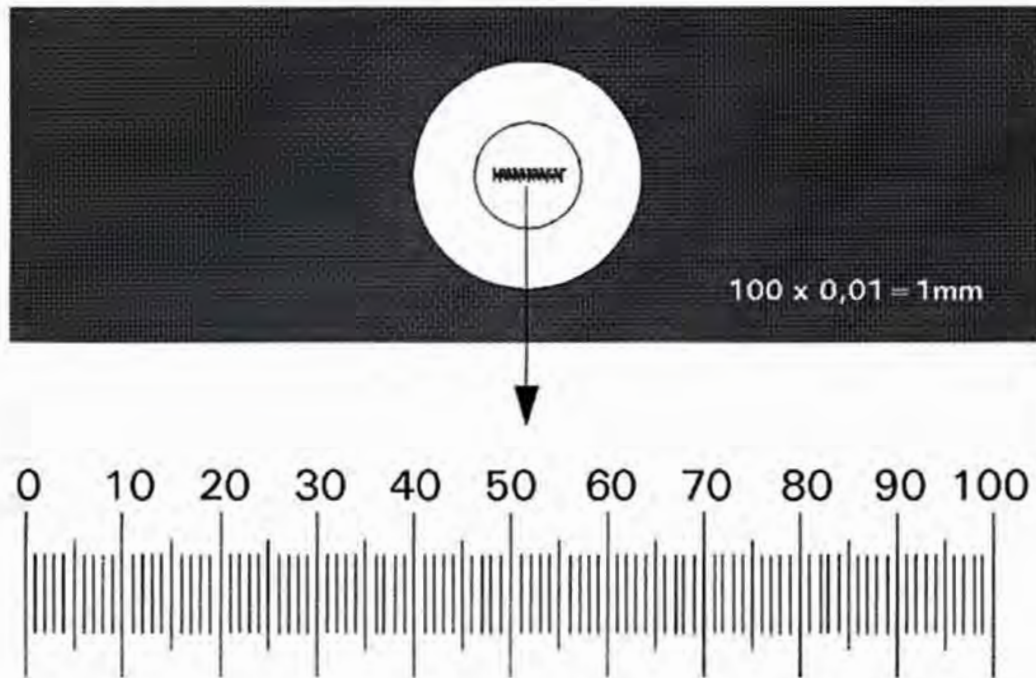
transmitida. O método mais simples de medir gotas é por meio de grátulas acopladas em ocular de microscópio. Uma das mais utilizadas é a grátula de Porton NG12, sobre a qual está gravada uma série de círculos e linhas denominados retículos. O diâmetro de cada círculo e o espaçamento dos retículos em relação à linha base Z aumentam em progressão de  $\sqrt{2} = 1,414213\dots$ , isto é, a distância 12 é 1,4142... vez maior que a distância 11, que é 1,4142... vez maior que a distância 10, e assim sucessivamente (Figura 1).



**Fig. 1.** Grátula de Porton NG 12

Para a análise das gotas, deve-se escolher uma objetiva que forneça o aumento adequado, devendo a grátula da objetiva ser calibrada com outra de escala padrão ou micrômetro, colocada sobre a

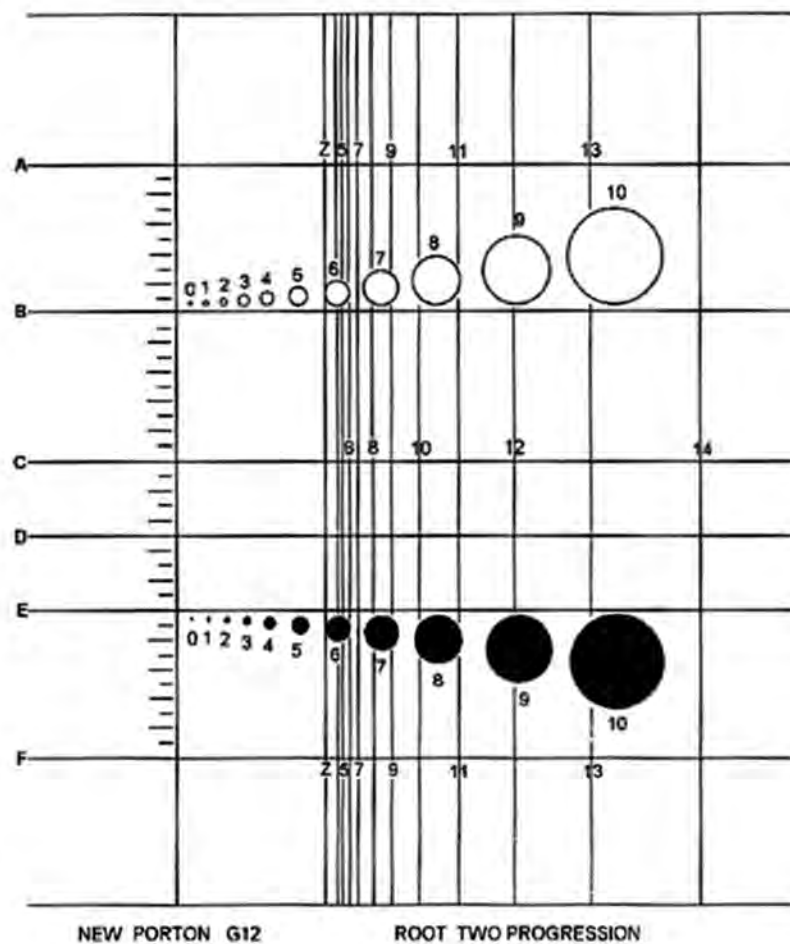
platina do microscópio (Figura 2).



**Fig 2.** Escala micrométrica ou graticula de platina, utilizada para calibração da graticula da ocular

A calibração é feita pela comparação dos caracteres da graticula da ocular com a escala-padrão. A imagem da graticula da platina deve ser alinhada com a da ocular, e os dois padrões, comparados. Em muitos casos, as linhas das duas escalas coincidem em dois ou mais pontos. A partir dos pontos coincidentes, estabelece-se a relação entre a graticula da ocular e o micrômetro da platina. No caso da graticula de Porton, por exemplo, alinha-se o retículo Z com o valor zero do micrômetro da platina e procuram-se as linhas coincidentes. Se, por exemplo, a coincidência ocorreu com o retículo nº 12 da ocular e o valor observado no micrômetro da platina for 400  $\mu\text{m}$ , basta dividir essa distância por  $\sqrt{2}$ , sucessivamente, para obter os valores dos retículos 9, 8, 7... ou multiplicar, para obter os valores dos retículos 13 e 14. Uma graticula da platina, com escala de 1 mm subdividida em 100,

fornece precisão de 0,01 mm (10  $\mu$ m), o que é razoável para a calibração da grátcula da ocular. Deve-se enfatizar que, a cada variação de combinação de lentes, ou ajustes grandes na distância focal, pela movimentação vertical da platina do microscópio, é necessário uma recalibração da grátcula da ocular (Figura 3).

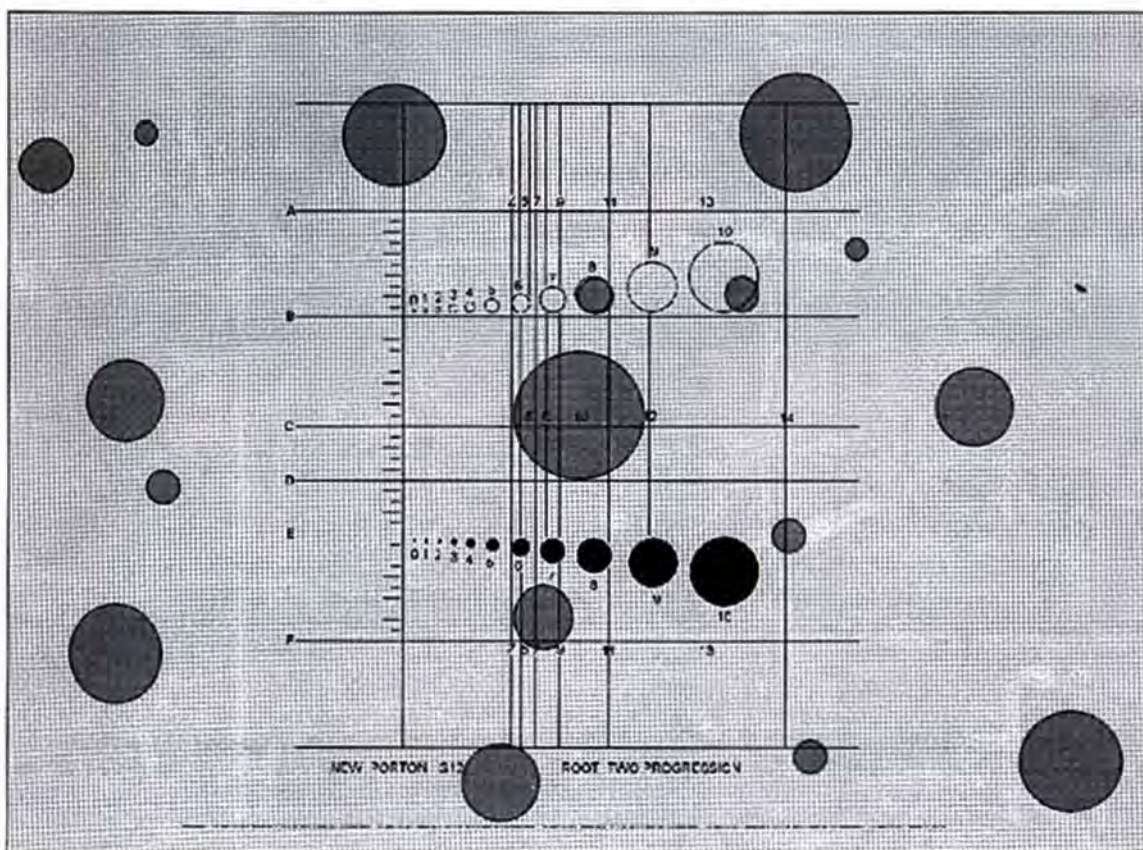


**Fig 3.** Calibração da grátcula com escala micrométrica

Depois de calibrar a grátcula, as marcas circulares obtidas com o depósito das gotas na superfície de amostragem são medidas, alinhando-se sua borda com a linha Z da grátcula e verificando o retículo coincidente com a borda oposta da gota depositada. Se a medida da gota fica entre dois retículos da grátcula, deve ser



classificada pelo retículo de maior valor (Figura 4).



**Fig. 4.** Graticula de Porton posicionada para medição de manchas de gotas, em que ocorrem duas situações diferentes: uma mancha está encaixada dentro do círculo número 8 e outras duas estão alinhadas com a linha Z, sendo a maior classificada dentro da faixa compreendida pelos retículos 11 e 12 e, a menor, na faixa entre 9 e 10.

As medições devem ser feitas procurando-se analisar todas as gotas visualizadas no campo do microscópio, passando-se sucessivamente para outros campos, até a medição de, pelo menos, 200 gotas na amostra (Rose, 1963). Quando a amostra não possuir as 200 gotas, a medição deve ser feita em todas as manchas da amostra.

## 2.4 MEDIÇÕES COM USO DE COMPUTADORES

Normalmente, esse sistema se utiliza de imagens de gotas

amostradas em cartões ou folhas de plantas, capturados por uma câmera de vídeo ou "scanners" de computadores. As imagens são digitalizadas e os padrões dos depósitos analisados por "softwares" específicos. Franz (1993) desenvolveu um sistema que utiliza "scanner" com resolução de 63,5 µm/pixel, obtendo medições precisas de manchas de gotas amostradas em papel Kromekote, dentro de uma faixa de tamanho entre 210 e 1.050 µm. Derksen & Jiang (1995) desenvolveram um sistema automático, computadorizado, para caracterização de depósitos de gotas de traçadores fluorescentes, em alvos artificiais ou folhas de plantas. Esse sistema foi fundamentado em um processamento morfológico de imagens de depósitos de gotas, descrito por Jiang & Derksen (1995). As imagens foram capturadas por uma câmera CCD monocromática, e o "software" utilizado permitiu medir manchas de gotas entre 5 e 1.000 µm.

### **3 MÉTODO MATEMÁTICO PARA QUANTIFICAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DE AGROTÓXICOS**

O método baseia-se, fundamentalmente, na transformação dos diâmetros de manchas ou crateras de gotas coletadas em superfícies especiais colocadas no campo. Usa-se a fórmula para cálculo de volume de esfera a partir do seu diâmetro:

$$V = \frac{\pi * d^3}{6} = 0,5236 * d^3$$

onde:  $V$  = volume e  $d$ , diâmetro da esfera.



A quantidade de calda de agrotóxico presente em determinada área pulverizada é igual ao somatório do volume das gotas depositadas. Entretanto, a pulverização produz nuvens de partículas líquidas com tamanhos que variam de 0,1 µm a 1.000 µm ou mais. Para facilitar a medição, as gotas são classificadas em faixas de tamanhos, conforme Tabela 1. As classes são prefixadas pelos retículos da gráticula de Porton. Assim, no caso do papel sensível, a classe 6 é constituída de manchas de gotas com diâmetros maiores que 50 µm e menores que 71 µm. Entretanto, esses valores são para as manchas que necessitam de uma correção para diâmetro real.

A Ciba Geigy (s.d.) apresentou gráficos com curvas de fatores de espalhamento para o papel sensível à água (Spread factor of water on water-sensitive paper measured by MgO and the silicon-oil method - pg 12). Para facilitar a utilização desses parâmetros, pesquisadores da Empresa Meio Ambiente desenvolveram um modelo matemático que permite a obtenção do fator de espalhamento para cada tamanho de gota amostrada no papel sensível à água fabricado pela Ciba Geigy:

$$fe(DL) = 0,74057 + 0,0001010399 * DL + 0,2024884 * \ln(DL)$$

onde: DL = diâmetro limite de cada classe de tamanho.

Os parâmetros de confiança desse modelo são:

$$R^2 = 0,999151;$$

$$CV = 0,320689;$$

$$Pr > F = 0,001.$$

Com essa fórmula, elaborou-se uma tabela (Anexo 1), na qual são fornecidos os fatores de espalhamento para impressões entre 10 e 1.200  $\mu\text{m}$  de diâmetro, classificados de 10 em 10  $\mu\text{m}$ . Entretanto, o modelo permite a obtenção de  $fe$  para qualquer tamanho de mancha. Por exemplo, o fator de espalhamento, para um diâmetro limite de 71  $\mu\text{m}$  da classe 6 da Tabela 1, pode ser calculado :

$$fe(71) = 0,74057 + 0,0001010399 * 71 + 0,2024884 * \ln(71) = 1,6108871$$

**Tabela 1.** Exemplo da planilha de cálculos utilizada para determinação do volume de calda por centímetro quadrado que atingiu os alvos artificiais utilizados no experimento

Papel sensível à água									
Classe nº	DL ( $\mu\text{m}$ )	fe	Dreal ( $\mu\text{m}$ )	dm ( $\mu\text{m}$ )	Vdm ( $\mu\text{L}$ )	N	N*Vdm ( $\mu\text{L}$ )		
2	18	1,32765547	14	16	0,00000204				
3	25	1,39488101	18	21	0,00000479				
4	35	1,46402314	24	28	0,00001176				
5	50	1,53776127	33	38	0,00002941	5	0,00014703		
6	71	1,61088706	44	52	0,00007254	25	0,00181345		
7	100	1,68316753	59	70	0,00017832	32	0,00570618		
8	141	1,75688310	80	95	0,00044418	58	0,02576262		
9	200	1,83362579	109	129	0,00111180	55	0,06114888		
10	283	1,91230180	148	174	0,00277196	41	0,11365022		
11	400	1,99418803	201	236	0,00690574	16	0,11049179		
12	566	2,08125036	272	320	0,01713920	8	0,13711360		
13	800	2,17495825	368	432	0,042224260				
14	1131	2,27851321	496						
<b>Totais</b>						<b>240</b>	<b>0,45583376</b>		
Volume da gota média da amostra ( $\mu\text{L}$ ) = $N^*Vdm/240$							0,00189931		
Volume estimado ( $\mu\text{m}/\text{cm}^2$ ) considerando a respectiva densidade de gotas (d)						(d) = 80	0,15194459		

continua

Lâmina recoberta com MgO							
Classe nº	DL ( $\mu\text{m}$ )	fe	Dreal ( $\mu\text{m}$ )	dm ( $\mu\text{m}$ )	Vdm ( $\mu\text{L}$ )	N	N*Vdm ( $\mu\text{L}$ )
2	18	1,15	16				
3	25	1,15	22	19	0,00000342		
4	35	1,15	30	26	0,00000930	8	0,00007436
5	50	1,15	43	37	0,00002643	22	0,00058143
6	71	1,15	62	53	0,00007624	37	0,00282080
7	100	1,15	87	74	0,00021518	50	0,01075904
8	141	1,15	123	105	0,00060237	53	0,03192582
9	200	1,15	174	148	0,00170639	50	0,08531949
10	283	1,15	246	210	0,00484905	20	0,09698097
11	400	1,15	348	297	0,01371126	3	0,04113377
12	566	1,15	492	420	0,03879239	3	0,11637716
13	800	1,15	696	594	0,10969004		
14	1131	1,15	983	840	0,30985745		
Totais						246	0,38597284
Volume médio das gotas = $N \cdot V_{dm}$ total/246 ( $\mu\text{L}$ )							0,00156900
Volume/cm <sup>2</sup> = Volume médio das gotas x d ( $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ )						d = 98	0,15376154

**DL:** diâmetro limite de cada classe ; **fe:** fator de espalhamento ; **Dreal:** diâmetro corrigido pelo fe para cada classe (diâmetro real); **dm:** diâmetro médio de cada classe [dm = (Dreal superior da classe + Dreal inferior da classe)/2];

$$V_{dm} = \frac{\pi \times dm^3}{6} \times 10^{-9}$$

**N:** número de gotas da amostra encontrado em cada classe ; **d:** densidade de gotas nas amostras ( $\text{n}^\circ/\text{cm}^2$ ).

Dessa forma, valores dos diâmetros limites de cada classe de gotas (DL) são divididos pelos fatores de espalhamento correspondentes (fe), obtendo-se o diâmetro real (Dreal).

Como as gotas são classificadas por faixas de tamanho (Figura 4), determina-se o diâmetro médio de cada classe, calculando-se a média entre os limites do Dreal superior e do inferior para cada classe. Por exemplo, no caso do papel sensível, o limite inferior da classe 3 DL = 18  $\mu\text{m}$  e o superior, DL = 25  $\mu\text{m}$  - corrigidos pelos respectivos fatores de espalhamento ficam:

$$\text{Dreal inferior} = 18/1,3209189004 = 14 \mu\text{m};$$

$$\text{Dreal superior} = 25/1,390748023 = 18 \mu\text{m};$$

$$\text{dm da classe n}^\circ 3 \text{ dm} = (14 + 18)/2 = 16 \mu\text{m}.$$

Calcula-se o volume de cada gota de diâmetro médio, aplicando-se a seguinte fórmula:

$$V_{dm} = \frac{\pi \times dm^3}{6} \mu\text{m}^3.$$

Para obter os valores diretamente em microlitros, multiplica-se o resultado por  $10^{-9}$ :

$$V_{dm} = \frac{\pi \times dm^3}{6} \times 10^{-9} \mu\text{L}$$

Os resultados dos volumes das gotas de diâmetro médio de cada classe são apresentados como  $V_{dm}$  na Tabela 1. Multiplica-se o número de gotas (N) encontrado em cada classe, pelo seu volume médio ( $V_{dm}$ ), obtendo-se os volumes parciais para cada classe de tamanho de gotas da amostra analisada. Esses volumes parciais são somados, resultando no volume total das gotas, o qual é dividido pelo número



total de gotas medidas, obtendo-se, assim, o volume médio das gotas da amostra. Multiplicando-se o volume médio pela densidade de gotas, obtém-se o volume médio por centímetro quadrado.

Para as lâminas recobertas com MgO, utiliza-se o fator de espalhamento constante de 1,15 (Tabela 1), para todas as classes de tamanho, porque, conforme Maksymiuk & Moore (1962), esse fator é constante para gotas entre 40 e 1.000  $\mu m$ . Na Tabela 2, encontram-se os resultados da determinação dos volumes, pelo método matemático, para os alvos de papel sensível à água e lâminas de microscópio recobertas com MgO, e pelo método de análise química do traçador.

**Tabela 2.** Volume de calda estimado pelo método matemático, volume de calda medido pelo analítico, diâmetro mediano volumétrico (VMD) e densidade de gotas, obtidos nas amostras

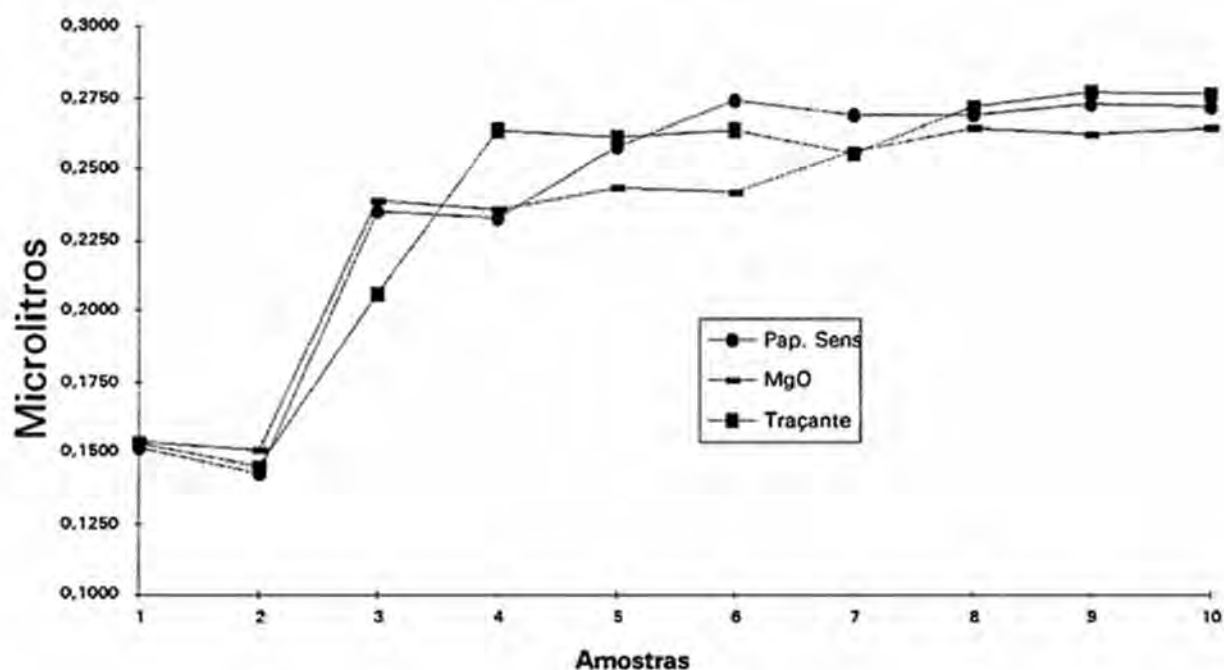
Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Vol/cm <sup>2</sup> no papel sensível ( $\mu\text{L}$ )	0,15	0,14	0,24	0,23	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,24
Vol/cm <sup>2</sup> na lâmina com MgO ( $\mu\text{L}$ )	0,15	0,15	0,24	0,24	0,24	0,24	0,26	0,26	0,26	0,26	0,23
Vol/cm <sup>2</sup> na análise química ( $\mu\text{L}$ )	0,15	0,15	0,21	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,28	0,24
Densidade de gotas no PS (n <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )	80	65	74	94	112	98	97	160	200	143	112
Densidade de gotas em lâminas de MgO (n <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )	98	63	91	110	112	142	108	134	214	183	126
VMD das gotas no papel sensível ( $\mu\text{m}$ )	185	193	202	206	201	212	211	176	154	169	191
VMD das gotas em MgO ( $\mu\text{m}$ )	187	238	220	222	180	183	183	174	186	187	196

O VMD foi determinado por um programa computacional com base num método numérico de interpolação desenvolvido por Pessoa & Chaim (1996).

Para avaliar o grau de concordância entre os resultados obtidos com os dois métodos, foram ajustadas regressões lineares, entre método matemático com papel sensível versus traçador e método matemático com MgO versus traçador.

A regressão ajustada entre o método matemático com papel sensível (PS) e análise do traçador (TR), resultou na seguinte equação:  $PS = 0,9998 TR$ , com erro padrão de 0,0158 e coeficiente de determinação  $r^2 = 0,9068$ . A regressão ajustada entre o método matemático com MgO e a análise do traçador (TR), resultou na seguinte equação:  $MgO = 0,9676 * TR$ , erro padrão de 0,0149 e coeficiente de determinação  $r^2 = 0,8502$ . As análises de regressão demonstraram que existe elevada concordância entre os dois métodos.

Pode-se observar - Figura 5 - que o volume que atingiu os primeiros pontos amostrais foi menor que no restante das amostras. Isso ocorreu, provavelmente, devido à diferença de velocidade de pulverização entre o início e o fim da aplicação.



**FIG. 5.** Resultados obtidos com o método matemático aplicado em amostragem de gotas com papel sensível à água e lâminas recobertas com MgO e o método de análise química do traçador.

#### **4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO MATEMÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DA DEPOSIÇÃO**

Se gotas de espectro uniforme forem coletadas pela superfície de matriz graxa, a aplicação do método matemático para determinação da deposição deve apresentar um resultado absoluto. Entretanto, se gotas de espectro variado forem coletadas em outros tipos de superfícies de amostragem e se a medição, a classificação e a contagem das impressões das gotas forem feitas manualmente, a precisão do método tende a diminuir. Nesse caso, o ideal seria medir individualmente todas as gotas de uma área conhecida da amostra e somar os seus volumes individuais.

No método testado, o uso da gráticula, que apresenta 14

subdivisões em progressão de  $\sqrt{2}$ , permite que as gotas de uma amostra sejam distribuídas em classes de tamanho, melhorando o rendimento da análise em termos de tempo. Entretanto, os cálculos são feitos com o volume médio da gota de cada classe, o que pode introduzir um pequeno erro no resultado final. De maneira geral, os principais fatores que podem interferir na precisão do método são:

a) erro humano na medição das impressões causadas pelas gotas, tanto pela dificuldade de julgamento na classificação como na definição dos contornos das impressões;

b) erro pelo uso de fatores de espalhamento para obtenção do tamanho original das gotas;

c) erro criado pela necessidade de classificar as gotas em poucas faixas de tamanho;

d) características das superfícies utilizadas para captura das gotas.

Além desses problemas, o processo de classificação é extremamente trabalhoso e o tempo médio gasto para classificar as gotas de cada amostra gira em torno de 30 minutos. A esse tempo, deve-se somar mais 10 minutos, para a determinação da densidade das gotas em cada amostra. Esses tempos são elevados em virtude do cuidado que se deve adotar para a medição de todas as gotas, de cada campo visual selecionado no microscópio. Johnstone & Huntington (1970), em teste de comparação de métodos de medição de gotas, obtiveram, com a gráticula de Porton, tempos médios de classificação em 10 classes de tamanhos de gotas, de 5,05 minutos para um operador A e 9,58 minutos para um operador B, em seis análises. Entretanto, o coeficiente de variação médio para as 10 classes do



operador A foi 21,36% e, para o B, 12,92%. Segundos os autores, é necessário estabelecer um balanço entre a precisão que se deseja e o tempo, quando se necessita efetuar várias análises, podendo os erros cometidos na própria amostragem limitar a precisão de alguns dados.

Os métodos de análise química também estão sujeitos a uma série de erros, principalmente na preparação dos padrões de calibração dos aparelhos e na extração do produto do substrato. Normalmente, os resultados finais das análises também são corrigidos por fatores de recuperação, que, por sua vez, variam com a concentração do produto analisado. Um fato muito importante que deve ser levado em consideração no método matemático é que as gotas pequenas, apesar de não acrescentarem valores expressivos aos volumes obtidos, têm importância fundamental no cálculo do volume médio da gota da amostra. Se o número de gotas pequenas é grande, há uma diminuição do valor do volume médio da gota da amostra; por outro lado, se esse número é pequeno, o volume médio da gota aumenta consideravelmente. Como a impressão provocada pelas gotas pequenas é pouco nítida, ou quase imperceptível no papel sensível à água, é necessário uma atenção muito grande para medir essas gotas, pois, se elas deixarem de ser medidas, o valor do volume médio pode aumentar consideravelmente, superestimando o valor final. Nesse caso, o tipo de iluminação proporcionada pelo microscópio tem uma importância muito grande e a iluminação incidente é a mais adequada para o papel sensível à água, pois aumenta a nitidez e o contraste das cores, facilitando a observação das pequenas manchas.

O tipo de iluminação do microscópio também é muito importante na análise das gotas coletadas em lâmina de microscópio coberta com MgO. Uma comparação prévia entre esses dois sistemas de

iluminação demonstrou que o julgamento do tamanho das crateras produzidas pelas gotas foi mais difícil sob iluminação transmitida (de baixo para cima) e os resultados das classificações foram diferentes. Sob esse tipo de iluminação, as crateras das gotas pequenas produzem um halo luminoso, proporcionando uma aparência de diâmetro maior. Por outro lado, gotas muito pequenas não conseguem penetrar totalmente na camada do MgO, o que dificulta a sua visualização. O sistema de iluminação incidente (de cima para baixo), entretanto, não só possibilitou melhor nitidez para a visualização das crateras como permitiu a observação de grande quantidade de leves depressões, mas de grandes diâmetros, provavelmente de gotas que ricochetearam sobre a camada do óxido. Esse fenômeno já foi descrito na literatura (Matthews, 1982) e pode ser considerado como uma falha do método MgO; por outro lado, não se sabe se isso também ocorre com o papel sensível à água, ou outros tipos de alvos artificiais. Além das características da superfície do alvo, esse fenômeno é dependente da tensão superficial do líquido, do tamanho e da força do impacto das gotas.

Saunders et al. (1976) fazem críticas e apresentam uma série de problemas encontrados durante as amostragens de gotas, com diferentes alvos artificiais, em um estudo para redução de deriva em pulverização aérea. Dependendo do ângulo de incidência com que as gotas caem, as impressões causadas nos alvos artificiais podem assumir formas irregulares, difíceis de medir. Assim, para se empregar o método matemático visando estimar a deposição, é recomendável a utilização de um número razoável de alvos artificiais na área desejada, para obtenção de amostras adequadas para a análise.

Nesse contexto, antes de se realizar um experimento de campo, é necessário fazer um planejamento estatístico com base em resultados de pré-ensaios, a fim de estabelecer o número de amostras necessárias para obtenção de um resultado confiável, mesmo com o descarte de determinada porcentagem de amostras não adequadas à análise.

Os fabricantes do papel sensível à água alertam que esse substrato apresenta limitações de captura de gotas com diâmetros abaixo de 30  $\mu\text{m}$ , sob determinadas condições de umidade relativa. Entretanto, essas gotas apresentam dificuldade de deposição em qualquer tipo de alvo com superfície plana, lisa e grande. Assim, se nos experimentos para estudo de deposição de gotas forem utilizados alvos artificiais laminares e lisos, a precisão do método analítico empregado não corrigirá a deficiência de captura dessas gotas.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AMSDEN, R.C. Reducing the evaporation of sprays. **Agricultural Aviation**, Washington, v.4, p.88-93, 1962.
- BALS, F.J. Some thoughts on the concept of ULD (Ultra Low Dosage) spraying. **EPPO Bulletin**, Paris, v.2, p.27-35, 1970.
- BODE, L.E.; BUTHER, B.J.; GOERING, C.E. Spray drift and recovery as affected by spray thickener, nozzle type and nozzle pressure. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 213-218, 1976.
- CIBA-GEIGY. **Water-sensitive paper for monitoring spray distribution**. 3. Ed. Basle: Ciba-Geigy Application Service, [s.d.]. 16p. (Bulletin 332-W).
- COMBELLACK, J.H. The problems involved in improving spraying efficiency. **Australian Weeds**, Victoria, v. 1, p. 13-19, 1981.
- COURSHEE, R.J. Some aspects of the application of insecticides. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 5, p. 327-352, 1960.
- DERKSEN, R.C.; JIANG, C. Automated detection of fluorescent spray deposits with a computer vision system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 6, p. 1647-1653, 1995
- FRANZ, E. Spray coverage analysis using a hand-held scanner. **Transactions of the 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 scopes for improvement. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Series B, London, v. 281, p.163-179, 1977.
- JIANG, G.; DERKSEN, R.C. Morphological image processing for spray deposit analysis. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n. 5, p. 1581-1591, 1995.
- JOHNSTONE, D.R.; HUNTINGTON, K.A. A comparison of visual microscopic methods of spray droplet size measurement using eyepieces employing the

- image shearing principle and the globe and circle eyepiece graticule. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.15, n.1, p. 1-10, 1970.
- HIGGINS, A. Spread factor for technical malation spray. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 60, n.1, p. 280-281, 1967.
- LAKE, R. J. Methods, apparatus: new product research, process development and design. Use of kaolin coated slides form collection of agricultural sprays. **Chemistry and Industry**, London ,p. 233-236, 1970.
- MAKSYMIUK, B.; MOORE, A.D. Spread factor variation for oil-base, aerial sprays. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.55, n.5, p. 695-699, 1962.
- MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. New York: Longman, 1982. 336p.
- MAY, K.R. The measurement of airborne droplets by magnesium oxide method. **Journal of Scientific Instruments**, London, v. 27, p.128-130, 1950.
- MIDDLETON, M. R.; LOWE, B. Kaolin coated targets for the collection of spray deposits. **Agricultural Aviation**, Washington, v. 9, p. 46-48, 1967.
- PESSOA, M. C. P. Y.; CHAIM, A.. Numeric model to estimate pesticide deposition and losses from aerial spraying. In: CONFERENCE ON ENVIRONMENTRICS IN BRAZIL, 7., 1996, São Paulo. **Abstracts...** São Paulo: USP, 1996. p. 19-21
- ROSE, G.J. **Crop protection**. London: Leonard Hill, 1963. 490 p.
- SAUNDERS, W.J.; TATE, R.J.; WARE, G.W. **Analysis of aerial sprays from conventional and drift reduction nozzles**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1976. 13p. (Paper, 76-1062).
- SILBERGELD, E. Environmental concerns of the risk management of application technology. In: HALL, F.R. **Improving agrochemical and fertiliser application technology**. Bethesda: A.R.I., 1985. p. 63-69.
- SPILLMAN, J.J. The efficiency of aerial spraying. **Aeronautical Journal**, London, v.84, p.60-69, 1980.



- TURNER, C. J.; HUNTINGTON, A.J. The use of a water sensitive dye for the detection and assessment of small spray droplets. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 15, n. 4, p. 385-387, 1970.
- WARE, G.W.; CAHILL, W.P.; GERHARDT, P.D.; WITT, J.M. Pesticide drift IV. On-target deposits from aerial application of insecticides. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 63, n. 8, p.1982-1983, 1970.



## ANEXO

Anexo 1. Fatores de espalhamento para gotas amostradas em papel sensível à água calculados pela equação de ajuste:

$$fe(DL) = 0,74057 + 0,0001010399 * DL + 0,2024884 * \ln(DL)$$

DL (µm)	Fe	DL (µm)	fe	DL (µm)	fe
10	1,207827	410	2,000198	810	2,178484
20	1,349192	420	2,006088	820	2,181979
30	1,432304	430	2,011863	830	2,185444
40	1,491567	440	2,017529	840	2,188879
50	1,537761	450	2,023090	850	2,192286
60	1,575690	460	2,028551	860	2,195665
70	1,607914	470	2,033916	870	2,199016
80	1,635963	480	2,039189	880	2,202341
90	1,660823	490	2,044375	890	2,205639
100	1,683168	500	2,049476	900	2,208912
110	1,703477	510	2,054496	910	2,212160
120	1,722106	520	2,059439	920	2,215383
130	1,739324	530	2,064306	930	2,218583
140	1,755341	540	2,069101	940	2,221759
150	1,770322	550	2,073827	950	2,224912
160	1,784400	560	2,078486	960	2,228043
170	1,797686	570	2,083081	970	2,231151
180	1,810271	580	2,087613	980	2,234239
190	1,822229	590	2,092084	990	2,237305
200	1,833626	600	2,096498	1000	2,240350
210	1,844516	610	2,100855	1010	2,243375
220	1,854946	620	2,105158	1020	2,246381
230	1,864957	630	2,109409	1030	2,249367
240	1,874585	640	2,113608	1040	2,252334
250	1,883862	650	2,117758	1050	2,255282
260	1,892814	660	2,121860	1060	2,258211
270	1,901466	670	2,125915	1070	2,261123
280	1,909841	680	2,129925	1080	2,264017
290	1,917957	690	2,133892	1090	2,266894
300	1,925832	700	2,137816	1100	2,269753
310	1,933482	710	2,141698	1110	2,272596
320	1,940921	720	2,145541	1120	2,275423
330	1,948162	730	2,149344	1130	2,278233
340	1,955217	740	2,153110	1140	2,281028
350	1,962098	750	2,156838	1150	2,283806
360	1,968812	760	2,160530	1160	2,286570
370	1,975371	770	2,164188	1170	2,289318
380	1,981781	780	2,167811	1180	2,292052
390	1,988051	790	2,171401	1190	2,294771
400	1,994188	800	2,174958	1200	2,297476