

Capítulo 8

Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos: Fatores que afetam a eficiência e o impacto ambiental

Aldemir Chaim

Sempre houve competição por alimentos entre outros seres vivos e o homem e, dessa forma, estes procuraram usar sua inteligência para obter um balanço favorável nessa luta. Uma de suas armas foi a utilização de produtos para controlar as pragas, doenças e ervas daninhas, para aumentar a produção de alimentos. Bohmont (1981) apresenta um resumo histórico do aparecimento dos agrotóxicos e, segundo o autor, angicamente os romanos já usavam

a fumaça proveniente da queima de enxofre para controlar pulgões que atacavam as plantações de trigo. Também é conhecido que usavam sal para controlar ervas daninhas.

Nos primórdios do século 19, os chineses já utilizavam arsênico misturado em água para controlar insetos. Descobriu-se, no início desse século, que produtos derivados de plantas, tais como a rotenona e a piretrina controlavam diferentes tipos de insetos. O Verde Paris, uma mistura de arsênico e cobre, foi descoberto em 1865 e, desde então, passou a ser muito utilizado no controle do besouro da batata do Colorado. Em 1882, descobriu-se que uma mistura de sulfato de cobre e cal – “mistura Bordeaux” – era um excelente fungicida para o controle de uma doença em videira denominada míldio (*Plasmopara viticola* – Berk & Curtis e Berl & Detoni). Essa mistura continua a ser utilizada até hoje, com grande sucesso, no controle de doenças em várias culturas.

Em 1890, um pó contendo mercúrio começou a ser utilizado para tratamento de sementes e, em 1915, foi desenvolvida uma formulação líquida para ser utilizada em controle de doenças fúngicas e tratamento de sementes. Os primeiros herbicidas surgiram por volta de 1900, mas o grande avanço no desenvolvimento dos agrotóxicos, de maneira geral, aconteceu por volta de 1940, com a redescoberta do DDT e toda a gama de organoclorados (ver Capítulo 1).

Akesson & Yates (1979) dividem o desenvolvimento do controle de pragas em três períodos. O primeiro refere-se à época anterior a 1867, em que se utilizavam produtos odoríficos ou irritantes, tais como excrementos e cinzas, mas também se começava a utilizar enxofre, rotenona, piretro, nicotina, óleos animais ou de petróleo. O segundo, compreendido entre 1867 a 1939, corresponde ao período da descoberta e refinamento da mistura Bordeaux, bem como de outras formulações cúpricas. Exatamente durante esse período, começou o desenvolvimento mais significativo nos equipamentos de aplicação desses produtos. O terceiro período inicia-se a partir de 1939, com a era dos organossintéticos. Segundo os autores cada período foi acompanhado por seus métodos específicos de aplicação.

Antes de 1868, as plantas eram esfregadas ou lavadas com panos ou escovas, embebidos com a mistura “tóxica”. Também se utilizavam

determinados tipos de regadores para aumentar a rapidez de aplicação e a uniformidade da distribuição do produto nas culturas. Nesse período, começaram a ser utilizados espanadores ou vassouras para arremessar líquidos sobre as plantas, num processo que atualmente é denominado de “benzedura”. Foram desenvolvidos alguns equipamentos contendo tanques sobre rodas, bombas manuais de recalque e alguns tipos de “espanadores” especiais para essas máquinas. Também começaram a ser utilizadas seringas para esguichar líquido sobre as plantas. Essas seringas foram aperfeiçoadas com a colocação de uma válvula que permitia o bombeamento intermitente do líquido.

O grande surto de desenvolvimento nos equipamentos de aplicação surgiu no segundo período, entre 1867 e 1900. Isso ocorreu, em parte, por causa do interesse dos agricultores em aumentar as produções e melhorar a qualidade dos produtos; e também das conseqüências da revolução industrial, que promoveu um grande êxodo rural e uma maior concentração de pessoas nas áreas urbanas, aumentando a demanda de produtos agrícolas, mas diminuindo a disponibilidade de mão-de-obra para trabalhar no campo. Isso forçou o desenvolvimento de novas tecnologias para aumento de produção, principalmente aquelas que permitiriam que poucos indivíduos cultivassem áreas extensas, favorecendo, portanto, a prática da monocultura.

As práticas de monocultura, em algumas regiões, facilitaram o aparecimento de pragas e doenças. Os problemas fitossanitários mais sérios dessa época foram: o míldio, doença fúngica em videiras que dizimou plantações na Europa; a invasão do besouro da batata, nos Estados Unidos; e a sarna da batatinha, na Inglaterra e Irlanda. Segundo Carvalho (1978), a sarna da batatinha praticamente dizimou a cultura da batata e isso trouxe, como conseqüência, graves problemas sociais e econômicos, inclusive a morte por fome e pobreza de aproximadamente 500 mil pessoas, além da migração de aproximadamente um milhão de indivíduos para outros países. Todos esses fatos contribuíram para acelerar o processo de transformação da agricultura e, durante o período entre 1867 e 1939, houve um grande avanço técnico na mecânica das bombas e, dessa forma, a energia na forma de pressão pôde ser utilizada em bicos de pulverização.

No início, um simples tubo fino ou um orifício produzia um jato fino de líquido que, com a fricção e resistência do ar, promovia a formação de grandes gotas. Mas o processo evoluiu e, de acordo com Akesson & Yates (1979), em 1896 já eram descritas três categorias de bicos utilizados na agricultura:

- Bicos com orifícios em forma elíptica ou retangular, que emitiam jatos em forma de leque.
- Bicos com obstruções colocadas imediatamente à frente do orifício de saída de líquido, que também produziam jatos em forma de leque (bicos de impacto).
- Bicos que promoviam a rotação do líquido imediatamente antes de sua emergência pelo orifício de saída, produzindo um jato com formato cônico e vazio (não eram produzidas gotas no interior do cone).

Esses bicos ainda são os mais utilizados na aplicação de agrotóxicos, mas, de 1896 até hoje, houve uma evolução fantástica nos processos de síntese química, com o aparecimento de milhares de novos produtos. A eficácia no controle dos problemas fitossanitários aumentou sensivelmente, e atualmente existem produtos tão poderosos que são necessários menos de 10 g de ingrediente ativo por hectare, para controlar com sucesso determinadas pragas. A eficácia do controle é obtida graças ao grande efeito tóxico dessas novas substâncias, o qual compensa a pobre e deficiente deposição obtida com as pulverizações. De certa forma, o método de aplicação empregado atualmente é o mesmo que se empregava no final do século passado, e objetiva estabelecer uma barreira tóxica na superfície do alvo, para impedir o ataque de pragas e doenças.

No caso das plantas, a intenção é molhar totalmente a sua superfície, de maneira que se forme uma película de material tóxico sobre ela. Para que esse molhamento seja obtido, são gastos grandes volumes de calda, que escorre e atinge o solo. A consequência disso é que, apesar de a eficácia dos produtos ser elevada, a eficiência da aplicação dos agrotóxicos atualmente é muito baixa, pois em alguns casos mais de 99,98% dos princípios ativos aplicados são desperdiçados (Graham-Bryce, 1977).

Existe uma tendência de se reduzir o volume de calda empregado e, para isso, é necessário o emprego de gotas com tamanhos adequados. Com exceção de poucos casos, o controle não tem sido tão eficiente como aquele conseguido com a pulverização de grandes volumes (Matthews, 1982).

Fatores que Afetam a Eficiência da Aplicação

As perdas que ocorrem durante as aplicações de agrotóxicos são originadas por um conjunto de causas. Nas pulverizações com altos volumes, muitas gotas caem entre as folhagens das plantas, especialmente nos espaços entre as linhas da cultura e entre as plantas, atingindo o solo. Uma grande quantidade de gotas atinge as folhas, coalescendo-se e formando gotas maiores, que não mais ficam retidas, escorrendo para as partes inferiores das plantas e caindo finalmente no solo (Coursee, 1960).

A pulverização com intenção de molhar totalmente as plantas é muito praticada atualmente, apesar de ter sido “inventada” no século passado. Na prática, o que acontece nesse tipo de aplicação é que, uma vez que se inicia o escorrimento, a retenção dos produtos químicos pelas folhas é menor do que se a pulverização fosse interrompida exatamente antes do início do escorrimento. Esse ponto dificilmente é conseguido, e a quantidade de produto químico retida nas folhas é proporcional à concentração da calda e independe do volume aplicado. Se o objetivo for reduzir o volume de aplicação, exigir-se-á uma produção e distribuição adequadas de gotas e, nesse caso, as perdas por evaporação e deriva podem ser acentuadas.

Atualmente, as recomendações contidas nos rótulos das embalagens dos agrotóxicos deixam a seleção do volume de aplicação a critério do aplicador. Algumas recomendações dão opções de 200 a mais de 1.000 L de calda por hectare. Na prática, o usuário utiliza um mesmo volume para uma grande variedade de pragas e para os vários estágios de crescimento da cultura. Quando a cultura se apresenta com as plantas pequenas, o volume aplicado pode ser

excessivo, e quando as plantas já estão desenvolvidas, o volume pode ser insuficiente para fornecer uma boa cobertura da cultura (Matthews, 1982).

O volume de aplicação depende do tipo de tratamento que se deseja executar, mas apresenta uma forte relação com o tamanho das gotas produzidas pelos bicos, os quais determinam a distribuição do agrotóxico no alvo. Pouca atenção tem sido dada ao tamanho das gotas e uma grande variedade de bicos tem sido utilizada ao longo dos anos. A maioria dos bicos produz um espectro de gotas de tamanhos variados e, em muitos casos, as gotas grandes se chocam contra as folhas mais externas das plantas e não conseguem penetrar para se depositar nas superfícies escondidas do vegetal. Essa deposição externa pode se dar em tal intensidade que acaba escorrendo para o solo, produzindo o que é denominado endoderiva. Entretanto, as gotas pequenas, que são mais adequadas para penetração entre as folhas da planta, podem ser levadas pelo vento para fora da área tratada, provocando a exoderiva. São, além disso, mais sensíveis à evaporação. O tamanho de gota ótimo é aquele que promove o máximo de deposição de produto no alvo, com um mínimo de contaminação do meio ambiente (Himel, 1969; Himel & Moore, 1969). A não utilização de gotas de tamanhos adequados tem proporcionado perdas e, em alguns casos, mais de um terço dos produtos aplicados podem estar sendo perdidos para o solo por meio da endoderiva. Uma outra parte significativa, constituída das gotas pequenas, pode estar sendo levada pelo vento para fora da área tratada, na exoderiva (Himel, 1974).

A contaminação do solo tem provocado grandes variações nas populações de organismos não-alvo, principalmente aqueles que degradam a matéria orgânica e melhoram a fertilidade. Muitas vezes, essas perdas são responsáveis por desequilíbrios favoráveis ao aparecimento de novas pragas e doenças. O solo contaminado pode ser levado pelas águas de chuva para rios, açudes e lagos, colocando em risco não só aquelas populações que vivem nesses sistemas, mas também as espécies que utilizam essa água para sua sobrevivência, como os animais e o próprio homem.

Para compensar as perdas que ocorrem durante as aplicações, as dosagens aplicadas são superestimadas. Por exemplo, Brown (1951)

já afirmava que para matar um determinado inseto era necessário apenas 0,0003 mg de um determinado produto; para controlar uma população de 1 milhão de indivíduos (população que promovia dano econômico na cultura), seriam necessários apenas 30 mg do mesmo produto. Apesar disso, nas aplicações efetuadas no campo eram utilizadas mais de três mil vezes a dose necessária, para obter um controle adequado.

Alvo Biológico

Para se utilizar os agrotóxicos mais eficientemente, os alvos precisam ser definidos em termos de espaço e de tempo, para se estabelecer qual a quantidade de produto necessária e sua disponibilidade para as pragas e doenças.

A definição do alvo biológico exige conhecimento da biologia da praga, de maneira que possa ser determinado em qual estágio ela é mais suscetível ao agrotóxico.

No caso dos insetos, muitas vezes apenas uma parte da população pode encontrar-se numa fase suscetível num determinado momento, pois apresentam vários estágios distintos durante o seu ciclo de vida, como, por exemplo, ovos, ninfas, larvas e pupas. As dificuldades na definição dos alvos levam ao uso de produtos químicos mais persistentes.

Dentro do conceito de proteção das culturas, deseja-se a redução da população da praga ou de um estágio de seu desenvolvimento que seja diretamente responsável pelos danos em determinadas culturas. A proteção da cultura será mais eficiente quando os agrotóxicos forem aplicados economicamente, dentro de uma escala determinada pela área ocupada pela praga e pela urgência com que a população deve ser controlada (Matthews, 1982).

Em muitos casos, o controle tem sido dirigido para o estágio larval dos insetos. Essa prática tem apresentado grande sucesso quando os tratamentos são suficientemente precoces para reduzir a quantidade das larvas de inseto que estão se alimentando. Se o tratamento é tardio, não só é necessária uma dose maior para controlar a

praga, como muito dano já pode ter sido causado. Entretanto, os tratamentos dirigidos aos estágios larvais têm pouco ou nenhum efeito sobre os ovos, pupas ou adultos, e pode ser necessária a repetição dos tratamentos, à medida que se desenvolvem outras larvas. Um exemplo clássico ocorre com a cochonilha *Orthesia*, onde a aplicação de um inseticida fosforado, pode resultar na mortalidade de 100% dos adultos. Entretanto, novos adultos podem ser subsequenteemente encontrados, porque esse tipo de praga deposita seus ovos em uma estrutura denominada “ovissaco”, a qual fica protegida da ação dos agrotóxicos e, assim, à medida que os ovos eclodem, surgem novos indivíduos. Nesse caso, o tratamento precisa ser repetido.

Num sistema de manejo de pragas, as informações biológicas devem ser expandidas em simples descrições do ciclo de vida e devem fornecer subsídios para a compreensão da ecologia da praga. É necessário conhecer também o movimento da praga dentro das áreas ecológicas e a relação dela com os diferentes hospedeiros.

Para determinadas espécies de pragas, o alvo pode variar de acordo com:

- Estratégia de controle adotada.
- Tipo e modo de ação do produto aplicado.
- Habitat da praga.
- Comportamento da praga.

Descrever cada fator independentemente é muito difícil, pois depende das próprias inter-relações existente entre eles.

O trips do amendoim, por exemplo, é uma praga que fica protegida entre os folíolos fechados da planta. Nesse caso, é necessário empregar um inseticida que apresente um forte efeito irritante, como os piretróides, para desalojar os insetos, forçando-os a caminhar sobre as regiões da planta pulverizada com agrotóxico. Entretanto, as cigarrinhas são pragas que têm o hábito de se movimentar muito pela planta, e isso, de certa forma, facilita o seu controle, mesmo com uma deposição irregular de agrotóxicos sobre as estruturas do vegetal. No caso das cochonilhas com carapaça, que são insetos imóveis, dificilmente sofreriam a ação dos inseticidas de contato. Entretanto, a carapaça que protege o inseto da ação do inseticida

também pode ser utilizada para matá-lo, pois uma fina camada de óleo emulsionável, aplicado sobre a superfície do vegetal, impede a entrada de ar para o interior dessa estrutura, provocando a asfixia do inseto.

No caso de controle das doenças, um patógeno típico de plantas apresenta basicamente quatro fases:

- Pré-penetração.
- Penetração.
- Pós-invasão.
- Multiplicação (esporulação e dispersão).

Idealmente, o controle deveria ser feito antes da penetração do hospedeiro na planta. É possível que os esporos possam atingir as plantas em uma série de períodos muito curtos, quando as condições favorecem a dispersão. A rápida penetração no hospedeiro limita o tempo disponível para a ação efetiva de fungicidas aplicados nas folhas, a menos que um fungicida sistêmico possa interromper o desenvolvimento da fase de invasão. Na maioria dos casos, o fungicida tem que ser aplicado em várias ocasiões, para limitar a dispersão da doença. Variações que ocorrem de área para área, de ano para ano, dificultam a organização de um plano das aplicações, de maneira que as pulverizações são feitas de forma preventivas para evitar a possibilidade de condições meteorológicas desfavoráveis durante a epidemia.

Quando é possível, os agricultores têm preferido o uso do tratamento profilático das sementes. Entretanto, esse tratamento só é efetivo durante a germinação e é muito dependente das condições de umidade do solo e do grau de cobertura das sementes.

Para o controle de ervas daninhas, os alvos para os herbicidas podem ser:

- Sementes e plântulas próximas do estágio da germinação.
- Raízes, rizomas e outros tecidos sob o solo.
- Troncos de árvores e arbustos.
- Folhagens.
- Brotações apicais.

A escolha da técnica de aplicação depende não só do alvo mas também da facilidade de penetração e translocação do herbicida nas plantas. Idealmente, um agricultor deve estar preparado para evitar a germinação das sementes das ervas daninhas, com um produto seletivo, de forma que a cultura possa se estabelecer livre de competição.

Alguns herbicidas de solo devem ser aplicados antes do plantio, e a distribuição desse produto em pré-plantio é muito importante. Isso ocorre quando uma pequena quantidade do produto, normalmente menos do que 5 kg, deve ser distribuído numa camada de 2 a 5 cm do solo, em um hectare (Matthews, 1982).

Os herbicidas de pós-emergência devem ser aplicados na superfície do solo, durante ou imediatamente após a germinação da cultura. Um cuidado muito grande deve ser tomado na aplicação dos herbicidas seletivos, pois a seletividade pode deixar de existir se for aplicada uma super dose. Nesse caso, o bico de pulverização deve ser cuidadosamente escolhido, para evitar que as gotas atinjam a cultura. Em muitos casos é necessário o uso de defletores ou protetores. Em outros casos, existem basicamente dois tipos de plantas e folhagens de erva daninha a serem consideradas em relação à deposição do herbicida: as folhas estreitas das monocotiledôneas, como os capins, e as folhas largas das dicotiledôneas. Portanto, existem diferenças consideráveis de detalhes de estruturas nas folhas que afetam a retenção das gotas.

Muitas vezes o modo de ação do herbicida facilita a aplicação, como no caso do glifosato, que aplicado sobre as folhas, se desloca para os rizomas e raízes, matando a planta.

Volume de aplicação

Volume alto, médio, baixo, muito baixo e ultrabaixo são termos utilizados para descrever a quantidade de líquido utilizado para aplicar um agrotóxico. Esses termos têm adquirido diferentes valores dependendo do porte da cultura.

Existe uma tendência de reduzir o volume de aplicação, tanto para aumentar o rendimento operacional das máquinas de aplicação

quanto para reduzir o consumo de água. A redução do volume de aplicação pode ser feita até um determinado limite. Esse limite tem sido definido como ultra baixo volume e é a quantidade mínima de calda por unidade de área capaz de produzir um controle econômico. Esse volume depende da natureza e do tamanho do alvo (Matthews, 1982). Na Tabela 1, são apresentadas as diferentes classes de volume de aplicação para diferentes tipos de alvos.

Tabela 1. Classificação dos volumes de aplicação, segundo Matthews (1982), considerando diferentes tipos de alvos (em litros por hectare).

Designação	Culturas rasteiras	Árvores e arbusto
Volume alto	>600	>1.000
Volume médio	200-600	500-1.000
Volume baixo	50-200	200-500
Volume muito baixo	5-50	50-200
Volume ultra baixo	<5	<50

Gotas produzidas durante a pulverização

São necessários poucos gramas de ingrediente ativo para controlar os problemas fitossanitários em uma determinada área. Na maioria dos casos, os ingredientes ativos não apresentam as características físicas necessárias para serem aplicados, diretamente, com os equipamentos comerciais. Assim, esses ingredientes ativos recebem a adição de uma série de adjuvantes, estabelecendo uma formulação. Numa questão puramente física e matemática, dispõe-se de um pequeno volume para ser espalhado em uma grande área. A grande maioria das formulações é desenvolvida para ser diluída novamente em água. Mesmo com diluição em água, o volume final ainda é insuficiente, para que o produto químico entre em contato com toda a área de superfície do alvo. É necessário, portanto, aumentar a superfície do líquido, para que ele possa ser espalhado, uniformemente na área alvo. A única maneira de se aumentar a superfície do

líquido, para que ele possa ser distribuído uniformemente numa grande área, é por meio da sua divisão, em partículas líquidas, denominadas gotas.

O número de gotas possíveis para um determinado volume de líquido é inversamente proporcional ao seu diâmetro, elevado ao cubo. De acordo com Matthews (1982), o número médio de gotas que cai por centímetro quadrado em uma superfície plana pode ser calculado por:

$$n = 60/\pi \cdot (100/d)^3 \cdot Q \quad (1)$$

Onde n = número médio de gotas que caem por cm^2 ; d = diâmetro da gota em μm e Q = litros por hectare.

De acordo com a fórmula apresentada, a densidade teórica de gotas, quando se pulveriza um litro por hectare, assumindo que a superfície é plana, é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2. Densidade teórica de gotas quando se pulveriza um litro/ha.

Diâmetro das gotas (μm) ⁽¹⁾	Número de gotas por cm^2
10	19.999
20	2.387
50	153
100	19
200	2,4
400	0,298
1000	0,019

⁽¹⁾ μm = micrômetro – (um milímetro contém 1000 μm).

As pulverizações produzem um grande número de gotas, isto é, esferas muito pequenas de líquido, tendo a maioria menos do que 0,5 mm de diâmetro. O tamanho das gotas é muito importante

quando se reduz o volume de aplicação, e as nuvens de gotas geradas pelos bicos de pulverização são classificadas de acordo com o diâmetro das partículas (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação das nuvens de gotas de acordo com o tamanho das partículas, segundo Matthews (1982).

Diâmetro mediano volumétrico (μm)	Classificação
<50	Aerossol
51-100	Neblina
101-200	Pulverização fina
201-400	Pulverização média
>400	Pulverização média

As pulverizações com aerossol são empregadas, principalmente, no controle de insetos voadores, como mosquitos e pernilongos. Uma faixa de tamanho das gotas aerossóis, compreendida entre 30 e 50 μm , bem como aquelas na faixa da neblina, são ideais para aplicações em folhagens, com volumes de calda muito baixos ou ultra baixos. Quando a deriva precisa ser evitada, a pulverização média ou grossa deve ser utilizada, independentemente do volume aplicado.

O parâmetro mais comum utilizado para expressar o tamanho das gotas é o diâmetro mediano volumétrico (vmd). Nesse caso, soma-se o volume de todas as gotas de uma amostra representativa, e o vmd é o diâmetro daquela gota que divide a amostra em duas partes iguais, de maneira que metade do volume é composto por gotas menores que o vmd, e a outra metade contém gotas maiores. Nesse caso, umas poucas gotas grandes podem ser responsáveis por uma grande proporção do volume total da amostra e isso aumenta o valor do vmd, que sozinho não serve para indicar a variação do tamanho das gotas. Assim, um outro parâmetro, o diâmetro mediano numérico (nmd), divide a amostra de gotas em duas partes iguais pelo número, sem referência aos seus volumes, de maneira que metade do número de

gotas é menor que o nmd e a outra metade é maior. Esse parâmetro enfatiza as gotas menores, as quais quase sempre estão em maior proporção numa amostra. Pelo fato de o vmd e o nmd serem afetados por proporções de gotas grandes e pequenas respectivamente, a relação entre os dois parâmetros é utilizada para expressar o grau de uniformidade dos tamanhos. Assim, quanto mais a relação vmd/nmd estiver próxima de 1, mais uniforme é o tamanho das gotas, ou seja, mais estreita é a faixa de tamanhos das gotas.

Relação entre o tamanho das gotas e o alvo de aplicação

Existe uma diversidade muito grande de alvos para as aplicações de agrotóxicos. Como os agrotóxicos são biologicamente muito ativos, a eficiência da aplicação pode ser melhorada se for selecionado um tamanho ótimo de gota, para aumentar a quantidade de produto que atinge o alvo e adere a ele. É necessário muita pesquisa para definir o tamanho ótimo de gota para cada tipo de alvo, entretanto Matthews (1982) apresenta uma tabela com algumas generalizações (Tabela 4).

Tabela 4. Tamanho ótimo de gotas para alguns tipos de alvo.

Alvo	Diâmetro das gotas (μm)
Insetos em vôo	10-50
Insetos em folhagem	30-50
Folhagens	10-100
Solos (para reduzir deriva)	250-500

A seleção do tamanho das gotas deve ser bastante criteriosa pois, por exemplo, imaginando-se que uma gota com diâmetro de 50 μm possui a dose letal de um determinado inseticida para um

determinado inseto, uma gota de 200 μm teria uma dose 64 vezes maior, pois deve ser considerado que o volume de uma esfera é dado por $V = 0,5236d^3$ onde V = volume da esfera e d = diâmetro. Dessa maneira, se as duas gotas fossem perdidas, a gota maior desperdiçaria 64 vezes mais produto que a gota menor.

Coleta das gotas pelos alvos

As gotas são coletadas na superfície dos insetos ou das plantas por sedimentação ou impacto, sendo este último mais importante para gotas aerossóis ($< 50 \mu\text{m}$). A deposição por impacto é proporcionada por uma interação complexa entre tamanho e velocidade das gotas e tamanho do alvo. Em geral, a eficiência da coleta aumenta, proporcionalmente, com o aumento da velocidade relativa e tamanho da gota, e diminui à medida que o alvo aumenta de tamanho. Uma gota de 10 μm , submetida à ação de um fluxo de ar constante, conseguiria desviar-se de uma laranja colocada na sua trajetória; entretanto, provavelmente não conseguiria se desviar de um fino fio de cabelo.

O impacto das gotas depende muito da posição das folhas em relação à trajetória das partículas líquidas. Uma grande parte das gotas são coletadas pelas folhas que estão balançando pela ação da turbulência do ar. Entretanto, se a velocidade do vento for muito grande – e isso ocorre em muitos casos, em pulverizações com equipamentos que produzem correntes de ar em alta velocidade – a folha pode assumir uma posição paralela ao jato de ar, de maneira a apresentar uma área mínima para interceptar as gotas.

A superfície dos alvos pode afetar sensivelmente a deposição, como no caso das superfícies pilosas ou serosas, que não conseguem reter as gotas. Nesse caso, é necessário adicionar algum produto que reduza a tensão superficial da calda de pulverização, para melhorar o molhamento ou espalhamento e adesão das gotas.

Densidade da deposição

Quando se pratica a pulverização com grandes volumes de calda, o ideal é promover uma cobertura completa das plantas, mas

isso raramente se consegue. Para se reduzir o volume de aplicação, existe a necessidade de se aplicar gotas separadas e, exceto em poucos casos, o controle não tem sido tão bom como o conseguido com a aplicação de grandes volumes. Quando gotas distintas são aplicadas, o aplicador necessita conhecer qual deve ser a densidade e a distribuição das gotas no alvo para obter um controle efetivo. Na aplicação de produtos sistêmicos, a distribuição de gotas não influencia o resultado do controle, porque o produto é redistribuído nas plantas. Entretanto, quando o produto tem ação de contato, a densidade e a distribuição afetam sensivelmente o resultado do controle.

Insetos que apresentam grande mobilidade, como as cigarrinhas e algumas espécies de lagartas, podem ser facilmente controladas sem uma cobertura completa dos alvos. Mas para insetos minadores de folhas e algumas espécies de cochonilhas, a cobertura tem que ser bastante uniforme. Alguns trabalhos têm demonstrado que é necessária a deposição de uma gota de diâmetro de 100 μm por milímetro quadrado de folha, para o controle de uma cochonilha de carapaça em citros (Matthews, 1982). O controle de doenças fúngicas sem uma cobertura completa pode parecer impossível, desde que a hifa do fungo penetre na folha no local da deposição do esporo. Entretanto, alguns pesquisadores têm informado que cada gota possui uma zona de influência fungicida, de maneira que se as gotas estiverem distribuídas dentro de distâncias adequadas, a proteção é muito boa.

Dinâmica das gotas

Efeito da evaporação – Um dos fatores que afetam a evaporação das gotas é sua área de contato com o ar. A área de superfície de um líquido aumenta em grandes proporções quando ele é quebrado em gotas.

A área de superfície de uma esfera é dada pela seguinte equação:

$$S = \pi \cdot d^2 \quad (2)$$

onde: S = área da superfície da esfera e d = diâmetro da esfera

O volume de uma esfera é dado por:

$$V = \pi \cdot d^3 \cdot 6^{-1} \quad (3)$$

Onde: V = volume e d = diâmetro

A relação superfície/volume é calculada por:

$$S/V = \pi \cdot d^2 (\pi \cdot d^3 \cdot 6^{-1})^{-1} = (d \cdot 6^{-1})^{-1} \quad (4)$$

Nesta última equação pode ser observado que, à medida que diminui o diâmetro das gotas, a relação superfície/volume aumenta sensivelmente. Como as pequenas gotas apresentam uma superfície muito grande, evaporam mais rapidamente que as gotas maiores. Na Tabela 5 são apresentados o tempo de vida e a distância de queda de gotas de diferentes tamanhos, e em diferentes condições de temperatura e umidade relativa. O tempo de vida é calculado pela seguinte fórmula:

$$t = d^2 \cdot (80 \cdot \Delta T)^{-1} \quad (5)$$

Onde: t = tempo de vida em segundos, ΔT = diferença de temperatura entre termômetros de bulbo seco e úmido.

A distância de queda é calculada pela seguinte fórmula:

$$D = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot d^4 \cdot (80 \cdot \Delta T)^{-1} \quad (6)$$

Onde: D = distância de queda em centímetros e d = diâmetro das gotas (μm)

Pode ser observado que, à medida que aumenta a diferença entre as temperaturas dos termômetros de bulbo seco e úmido (depressão psicrométrica), a taxa de evaporação aumenta consideravelmente.

A evaporação de gotas pode ser considerada como o principal fator determinante da eficiência da aplicação de agrotóxicos. Isto

Tabela 5. Tempo de vida e distância de queda de gotas, em ar parado, em diferentes condições de temperatura e umidade relativa.

Tamanho original da gota	T=20 °C		T=25 °C		T=30 °C	
	UR=80%		UR=72%		UR=50%	
(μm)	t=(s)	D=(m)	t=(s)	D=(m)	t=(s)	D=(m)
30	5	0,07	3	0,04	1	0,02
50	14	0,03	8	0,29	4	0,15
70	28	2,05	15	1,13	8	0,58
100	57	8,52	31	4,69	16	2,44
150	128	43,14	70	23,73	37	12,33
200	227	136,36	125	75,00	65	38,96
300	511	690,34	281	379,69	146	197,24
400	909	2.181,81	500	1.200,00	290	623,37

t= segundos e D= distância em metros.

ocorre, em parte, porque a eficiência da aplicação é inversamente relacionada ao tamanho das gotas, ou seja, a grande maioria das pesquisas tem apontado que a eficiência das aplicações aumenta à medida que se empregam gotas de tamanhos muito pequenos. Alguns pesquisadores têm afirmado que a eficiência é maior quando as gotas têm menos do que 100 μm de vmd, e não só no controle de pragas e doenças, mas também na aplicação de herbicidas. Na prática, quando são empregadas caldas diluídas em água, as pulverizações com gotas menores que 60 μm evaporam tão rapidamente, que seria impossível utilizá-las, sob determinadas condições micrometeorológicas.

Efeito do vento – Para se compreender a importância do vento na aplicação de agrotóxicos, é necessário conhecer o que é velocidade terminal de uma gota. Uma gota caindo livremente em ar parado aumenta a sua velocidade de queda, em virtude da força da gravidade, até o momento em que as forças geradas pelo arrasto aerodinâmico contrabalançam o efeito gravitacional, proporcionando uma velocidade de queda constante, denominada velocidade terminal (Quantick, 1985a). Essa velocidade terminal é importante porque, quanto menor

o tamanho da gota, mais tempo ela gastará para se depositar, ficando durante esse período sujeita à ação da evaporação e do arraste pelo vento para fora da área alvo.

A deriva perigosa é o movimento do produto químico para fora da área intencionada e é originada das gotas que, após serem emitidas pelo bico de pulverização, flutuam no vento por um determinado período. As gotas pequenas, que apresentam maior relação da superfície/peso e menor velocidade de queda, apresentam conseqüentemente, maior distância de deriva. Quantick (1985b) apresenta uma tabela indicando a distância de deriva de gotas de diferentes tamanhos (Tabela 6).

Tabela 6. Distância da deriva de gotas liberadas a 3 m de altura, em um vento de velocidade constante de 1,34 m por segundo, assumindo que não ocorra evaporação (Quantick, 1985b).

Diâmetro da gota (μm)	Distância da deriva (m)
500	2,1
200	4,9
100	15,25
30	152,50
15	610,00

O perigo da deriva é proporcionado pela possibilidade de que o produto químico aplicado possa atingir outras culturas. Brooks (1947) informou que houve morte de animais nos Estados Unidos, os quais se alimentaram de alfafa contaminada com um produto que havia sido aplicado em uma cultura de tomate existente nas proximidades. A extensão do perigo da deriva depende, evidentemente, da toxicidade do produto aplicado. Entretanto, a deriva causa perda do produto e reduz a eficiência da aplicação.

Existem técnicas de aplicação que se utilizam da deriva para melhorar a penetração de gotas nas culturas e florestas, ou para cobrir grandes áreas rapidamente, quando a precisão é de importância secundária. Normalmente, essas aplicações são feitas com gotas aerossóis ou pulverizações finas, e com caldas não voláteis, de maneira que as gotas possam flutuar por mais tempo no vento.

Eficiência de Técnicas de Aplicação Utilizadas no Brasil

O tipo da aplicação, o número de tratamentos, a formulação do agrotóxico, a dose aplicada, o tipo de equipamento, as características e a distribuição espacial dos bicos de pulverização, o diâmetro e a densidade de gotas, as condições micrometeorológicas são parcialmente interdependentes e devem ser selecionados para se conseguir os melhores efeitos biológicos, de acordo com os propósitos da aplicação (Fig. 1). Entretanto, a aplicação dos agrotóxicos praticada atualmente não difere essencialmente daquela praticada no século passado, e se caracteriza por um considerável desperdício de energia e de produto químico.

A seleção do volume de líquido, no qual um agrotóxico é aplicado, é deixado a critério do usuário; e algumas recomendações fornecem uma faixa muito larga, entre 200 a 1.000 L.ha⁻¹. Na prática, o mesmo volume é aplicado contra uma grande variedade de pragas e é determinado, normalmente, pela vazão dos bicos do pulverizador utilizado na aplicação. Alguns fabricantes de agrotóxicos indicam a concentração do produto na calda, mas quando isso é feito, é necessário também especificar o volume de calda que será gasto. Quando se usa grandes volumes de calda, o desejo é cobrir totalmente a área alvo e com grande rapidez. Pouca atenção é dada ao tamanho das gotas, por isso é que se utiliza uma grande variedade de bicos. A maioria dos bicos produz gotas dentro de um espectro muito amplo, onde as pequenas gotas são sujeitas a deriva e as grandes, principais componentes, são perdidas pela endoderiva.

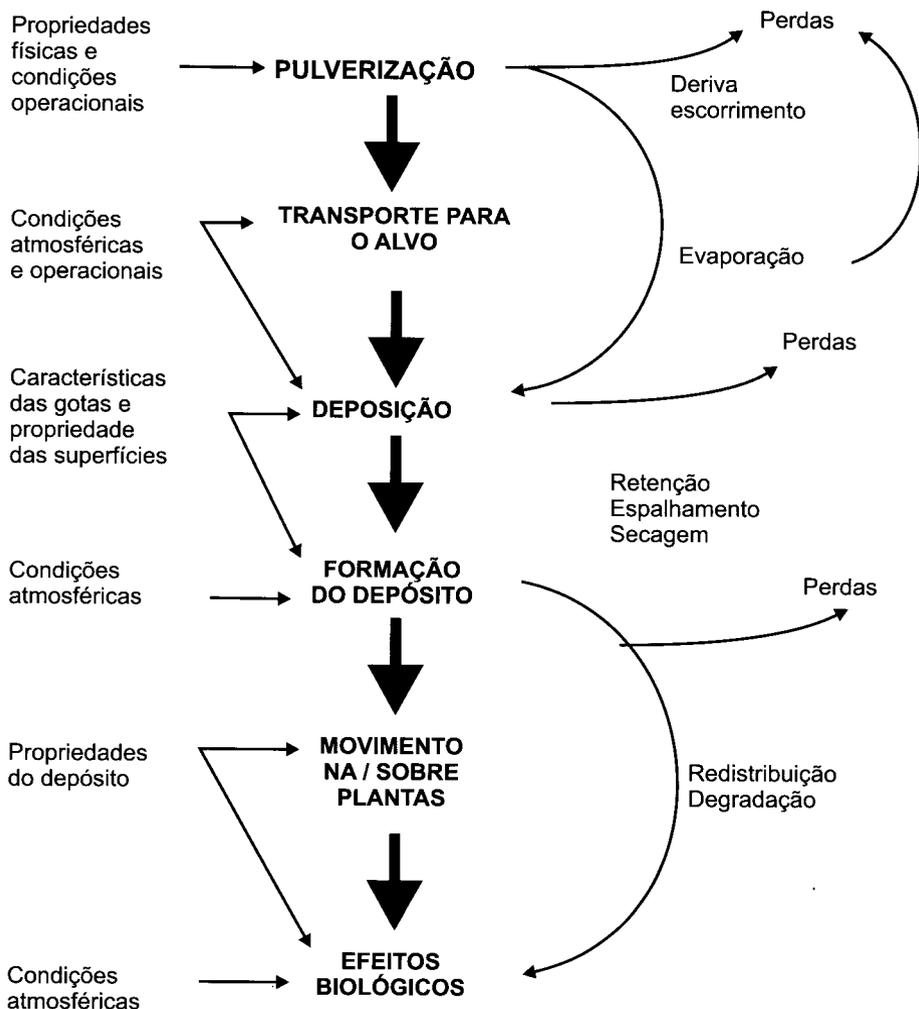


Fig. 1. Dinâmica do processo de pulverização foliar.

Tanto no Brasil como no exterior, não existem informações definitivas sobre os desperdícios que ocorrem durante as pulverizações de agrotóxicos. Algumas informações disponibilizadas na literatura internacional apontam que as aplicações de agrotóxicos são extremamente ineficientes, mas são fundamentadas apenas em fatos teóricos, ou seja, são baseadas nas doses teóricas de agrotóxicos

necessárias para controle de populações das pragas que produzem dano econômico. Chaim et al. (1999d) desenvolveram um método para quantificar os desperdícios que ocorrem durante as pulverizações em culturas rasteiras. Os resultados das perdas verificadas em culturas, como feijão e tomate, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Eficiência da pulverização na distribuição de agrotóxicos, nas culturas de feijão e tomate.

Cultura	Altura das plantas (cm)	Planta ⁽¹⁾	Solo ⁽¹⁾	Deriva ⁽¹⁾
Feijão	15	12	73	15
Feijão	35	44	41	15
Feijão	60	41	34	25
Tomate	40	36	28	35
Tomate	70	52	14	34

⁽¹⁾ Valores expressos em percentagem de ingrediente ativo, em relação ao total aplicado.

Por ser uma aplicação com pulverizador de barras, onde os bicos passam entre 40 e 50 cm sobre o topo das plantas, para a cultura do feijão podem apresentar-se como uma aberração. Entretanto as condições de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento, associados com a densidade foliar da cultura são provavelmente os fatores que mais contribuem nas perdas por deriva. Em razão das características intrínsecas do funcionamento dos bicos hidráulicos presentes na barra do pulverizador, o líquido ao sair pelo orifício produz um jato, com velocidade suficiente para o aparecimento de turbulências no ar, que auxilia a penetração das gotas na região interior das plantas. Entretanto, quando a cultura se apresenta no ápice do desenvolvimento vegetativo, as gotas que não conseguem penetrar na densa folhagem, e da mesma forma, a turbulência produz um efeito inverso, ou seja, o ar com movimento descendente inverte sua direção ao encontrar a densa camada de folhas. Dessa forma, as gotas ficam em suspensão sobre o topo da cobertura das plantas sob a ação da evaporação ou se deslocam horizontalmente e, as vezes,

com movimentação ascendente, com o vento predominante. Entretanto, quando essas culturas se apresentam com porte baixo e com pouca folhagem, as perdas para o solo ficam mais evidentes.

A distribuição dos agrotóxicos em culturas de porte arbustivo foi observada em diferentes estádios de crescimento da cultura do tomate estaqueado (Chaim et al., 1999a). De certa forma, a cultura do tomate estaqueado serve como exemplo de pulverizações onde se aplicam grandes volumes de calda. Os dados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Distribuição percentual de agrotóxico, estimada para a cultura de tomate cultivada nos campos experimentais de Jaguariúna.

Altura da plantas (cm)	Plantas	Solo	Deriva
50	24	39	37
110	35	20	45
160	41	29	30

A pulverização tradicional do tomateiro estaqueado é feita através de lança manual, onde as gotas são arremessadas unicamente pela força da pressão hidráulica presente no bico. Teoricamente, a cada passada do aplicador, as gotas deveriam atingir a lateral das plantas da linha mais próxima da pulverização e a outra lateral das plantas da linha adjacente. Entretanto, a força com que as gotas são arremessadas não é suficiente para que elas atinjam a linha de plantio adjacente e, assim, somente uma lateral das plantas recebe uma deposição mais expressiva. Para resolver o problema da penetração das gotas, a maioria dos agricultores eleva a pressão de pulverização, mas isso acrescenta uma série de efeitos colaterais, pois aumenta a exposição dos aplicadores, a perda por deriva e a evaporação.

Estudos com um novo método de determinação de volume depositado através de análise de gotas, desenvolvido por Chaim et al.

(1999b), testado em um experimento com pulverização aérea de herbicidas (Pessoa & Chaim, 1999), demonstraram perdas em torno de 50% do volume de calda aplicado.

A Embrapa (1999) desenvolveu um bocal eletrostático para pulverizadores motorizados costais, e Chaim et al. (1999c) realizaram testes comparando duas técnicas diferentes de pulverização na cultura do tomate estaqueado. Utilizou-se uma técnica tradicional lança manual e a alternativa em que as gotas com cargas elétricas são arremessadas com vento. Na aplicação convencional, foram aplicados $1.000 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de calda com concentração de 812 mg L^{-1} de cobre metálico ($812055 \text{ mg ha}^{-1}$ de cobre) e na pulverização alternativa foram aplicados respectivamente 20 L ha^{-1} de calda com 41255 mg L^{-1} de cobre (82590 mg ha^{-1} de cobre metálico). Os resíduos encontrados nas diferentes regiões das plantas são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Resíduos de agrotóxico verificados em diferentes regiões de plantas de tomate estaqueado, tratadas com dois tipos de pulverizadores.

Região da planta	Pulverizador tradicional ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	Pulverizador costal motorizado eletrostático ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
Inferior	0,11	1,61
Mediana	0,12	2,06
Superior	0,14	2,13
Resíduo médio	0,12	1,93

Observa-se que, ao se aplicar aproximadamente a mesma quantidade de ingrediente ativo, o pulverizador motorizado costal aplicando 20 L ha^{-1} proporcionou um resíduo médio nas plantas 19 vezes maior do que o pulverizador hidráulico convencional, que aplicou um volume 50 vezes superior (1.000 L ha^{-1}). Considera-se que, se o resíduo proporcionado pela aplicação convencional é suficiente para controlar o problema fitossanitário, a dose aplicada pelo

pulverizador motorizado costal com bocal eletrostático poderia ser reduzida 19 vezes. Isso evidencia a necessidade de se pesquisar novas técnicas de aplicação de agrotóxicos, pois poderia proporcionar uma sensível redução de uso de agrotóxicos.

Considerações Finais

O objetivo principal de uma pulverização é atingir o alvo com quantidade suficiente de ingrediente ativo, obtendo o máximo de eficiência sem contaminar as áreas adjacentes. Cabe aos técnicos identificar a presença de pragas, doenças e plantas daninhas, avaliar se estas estão presentes a ponto de causar danos econômicos e orientar quando há necessidade de intervenção com a pulverização. Existem circunstâncias em que o uso de agrotóxicos não é necessário, quando os métodos culturais e biológicos de controle são eficazes, ou quando a população da praga ainda não tenha atingido níveis que justifique o custo da aplicação do produto.

O uso incorreto de agrotóxicos, utilizados na tentativa de prevenir ou contornar os problemas fitossanitários das culturas, acaba causando sérios impactos ambientais. Entre eles, citam-se: intoxicações ou doenças graves causadas no homem, resistência da praga ao produto, contaminações de solo e água, morte de inimigos naturais, etc.

O manejo integrado de pragas (MIP) deve ser levado em consideração, sempre que disponível para a cultura (Fig. 2). Trata-se de uma filosofia de trabalho direcionada para fins de controle de pragas agrícolas, que leva em consideração em sua proposta a aplicação de métodos baseados no estudo das interações existentes entre a praga/planta hospedeira/meio ambiente. Nele, o homem torna-se capaz de acompanhar o nível populacional da praga e de sugerir ações de controle para reduzi-la a populações aceitáveis para a produção comercial do produto agrícola.

O MIP integra aspectos econômicos, sociais, ecológicos e culturais específicos para a região onde será utilizado e, assim, pode existir mais de uma proposta de MIP, inclusive para uma mesma região. Para fins de um controle ambiental mais seguro, orienta-se a escolha de propostas que tenham como eixo principal o controle biológico

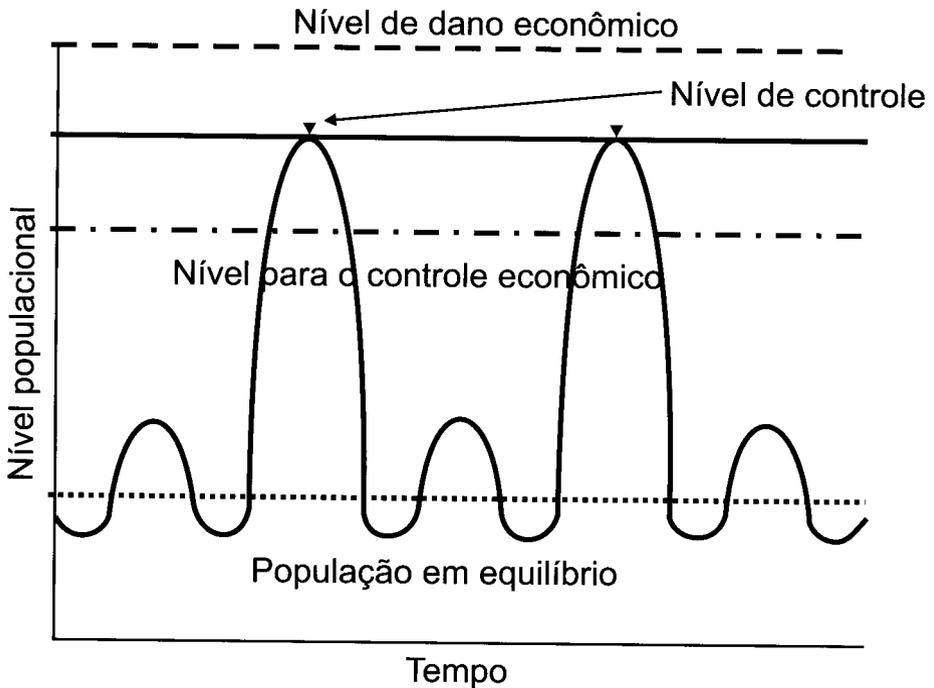


Fig. 2. Representação de um modelo de manejo integrado de pragas.

natural associado a outras técnicas, tais como o uso de armadilhas de feromônio e de agrotóxicos seletivos, além daquelas relacionadas à remoção de restos culturais e bordaduras.

No MIP, não basta só a presença da praga para que o controle químico seja iniciado, pois avalia-se também a ótica financeira. O monitoramento da população da praga, evidenciada pelos sintomas de ataque ou de alimentação deixados nas estruturas da planta, indica se é inevitável a sua redução imediata. Entretanto, são utilizados alguns indicadores que devem ser avaliados antes de se iniciar as pulverizações com agrotóxicos. O limiar econômico (LE) é a densidade populacional da praga que causaria a primeira perda estatística da produção. Outro índice considerado é o nível econômico de dano (NED), que expressa a densidade populacional da praga que causaria dano equivalente ao custo de uma operação de controle. Portanto, se aguardada a tomada de ação até que o NED seja

evidenciado, existirá o comprometimento financeiro de produção e os custos adicionais associados ao controle por agrotóxicos. Assim, por essa proposta, indica-se que a tomada de ação do MIP seja orientada pelo limiar econômico (LE).

As técnicas de aplicação de agrotóxicos atualmente empregadas são extremamente desperdiçadoras e é consequência da falta de conhecimentos básicos sobre a multidisciplinaridade e o funcionamento da cadeia dos processos envolvidos nesta ciência aplicada. Acrescenta-se ao problema, a falta de treinamento dos agrônomos, agricultores ou outros profissionais ligados a fitossanidade. A melhoria da eficiência da aplicação envolve uma seleção de equipamento de aplicação correto, com bico de pulverização que produza gotas adequadas ao alvo, volume de calda preparada na concentração que permita a deposição de um resíduo ótimo para o controle da praga, precauções com as condições meteorológicas, identificação e conhecimento da biologia do alvo da aplicação e principalmente, adoção de uma prática de manejo integrado do problema fitossanitário.

Referências

- AKENSSON, N. B.; YATES, W. E. **Pesticide application equipment and techniques**. Roma: FAO, 1979. 257 p. (FAO Agricultural Services Bulletin).
- BOHMONT, B. L. **The new pesticide user's guide**. Fort Collins: B. & K. Enterprises, 1981. 1 v.
- BROOKS, F. A. The drift of poisonous dusts applied by airplanes and land rigs. **Agricultural Engineering**, Peradeniya, v. 28, n. 6, p. 233-244, 1947.
- BROWN, A. W. A. **Insect control by chemicals**. New York: J. Wiley, 1951. 817 p.
- CARVALHO, P. C. T. Importância das doenças das plantas. In: GALLI, F. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1978. v. 1, p. 15-51.

CHAIM, A.; CASTRO, V. L. S. S.; CORRALES, F. M.; GALVÃO, J. A. H.; CABRAL, O. M. R.; NICOLELLA, G. Método para monitorar perdas de agrotóxicos na cultura de tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 741-747, 1999a.

CHAIM, A.; MAIA, A. H. N.; PESSOA, M. C. P. Y. Estimativa da deposição de agrotóxicos através da análise de gotas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 963-969, 1999b.

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; CASTRO V. L. S. S.; FERRACINI V. L.; GALVÃO J. A. H. Comparação de pulverizadores para tratamento da cultura do tomate estaqueado: avaliação da deposição e contaminação de aplicadores. **Pesticidas Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 9, p. 1-9, 1999c.

CHAIM, A.; VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, D. A.; MORSOLETO, R. V.; PIO, L. C. **Avaliação de perdas de pulverização em culturas de feijão e tomate**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999d. 29 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa, 2).

COURSEE, R. J. Some aspects of the application of insecticides. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 5, p. 327-352, 1960.

EMBRAPA (Brasília, DF). Aldemir Chaim. **Processo de indução eletrostática para geração de gotas com carga elétrica para bocais de pulverização de baixa pressão e grande volume de ar**. BR n.PI 9902918-9. 12 jul. 1999.

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

HIMEL, C. M. Analytical methodology in ULV. In: SYMPOSIUM FOR SPECIALISTS IN PESTICIDE APPLICATION BY ULV METHODS, 2., 1974, Cranfield. **Proceedings...** Brighton: British Crop Protection Council, 1974. p. 112-119. (BCPC Monographs, 11).

HIMEL, C. M. The optimum size for insecticide spray droplets. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 62, n. 4, p. 919-925, 1969.

HIMEL, C. M.; MOORE, A. D. Spray droplet size in control of spruce budworm, boll weevil, bollworm, and cabbage looper. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 62, n. 4, p. 916-918, 1969.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. New York: Longman, 1982. 336 p.

PESSOA, M. C. Y.; CHAIM, A. Programa computacional para estimativa de uniformidade de gotas de herbicidas aplicados por pulverização aérea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 45-56, 1999.

QUANTICK, H. R. **Aviation in crop protection, pollution and insect control**. London: Collins, 1985a. 447 p.

QUANTICK, H. R. **Handbook for agricultural pilots**. London: Collins, 1985b. 265 p.

