

FORMAÇÃO DE EMULSÕES E SEU EFEITO NA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO EM QUIMIGAÇÃO¹

SCHMIDT, W.²; DOURADO NETO, D.³; BOTREL, T.A.⁴

RESUMO: Desde os primeiros trabalhos com quimigação, a pergunta que se faz é sobre a capacidade de retenção do produto pelas folhas, em função do grande volume de água aplicado. No entanto, desde a década de 70, tem-se obtido sucesso com a quimigação foliar de vários produtos. Fica, então, a pergunta de qual seria o fator de diferenciação entre aqueles produtos com sucesso na aplicação e os produtos com insucessos. Observou-se, desde o início, que os produtos dissolvidos ou formulados em óleo, sem a presença de um surfactante, mostravam maior efetividade, o que é característico de produtos lipofílicos. Estes, ao serem injetados na tubulação, formariam uma emulsão. Estudar os princípios de formação e o papel das emulsões na agricultura e, particularmente, a sua função no processo de quimigação, é o objetivo do presente trabalho.

Palavras-chave: formulações, surfactantes, velocidade da água.

EMULSION FORMATION AND ITS EFFECT ON THE APPLICATION UNIFORMITY IN CHEMIGATION

SUMMARY: The retention capacity of the products by the leaves, in spite of the large water volume applied is a matter that has questioned researchers since the first works on chemigation. Successful reports have been written for several foliar chemigated products since the 70's. But there is a question about which differentiating factor between the successful applications and the failures is. It has been observed that oil formulated or solved in oil products with no addition of surfactants show a better efficacy, which is a characteristic of lipophilic products. Those, when injected into the pipe, should form an emulsion. To study the principles of formation and the role of emulsions in agriculture and, particularly, its function in the chemigation process, is the objective of this paper.

Keywords: formulation, surfactant, water velocity.

¹ Parte da Dissertação apresentada a ESALQ/USP para obtenção do título de Mestre em Agronomia pelo primeiro autor.

² Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, Cx.P. 9, 13418-900, Piracicaba, SP. Tel. 019 3429 4190. E-mail: wulfschmidt@ig.com.br.

³ Professor do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP. Bolsista CNPq. E-mail: dourado@esalq.usp.br.

⁴ Professor do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP. Bolsista CNPq. E-mail: tabotrel@esalq.usp.br.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 03.03.04

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 29.12.04

INTRODUÇÃO

Desde o princípio da quimigação, o grande questionamento tem sido sobre o grande volume de água aplicado e a possibilidade da "lavagem" dos produtos, principalmente aqueles aplicados sobre as folhas (YOUNG, 1980).

Dourado Neto & Fancelli (2000), Fancelli & Dourado Neto (2000) e Vilela (2002) afirmam que a eficiência do controle químico é diretamente proporcional à quantidade do ingrediente ativo que atinge o alvo. A Figura 1 mostra a variação do índice de eficácia de aplicação (IEA%), diretamente relacionado à quantidade do ativo que atinge o alvo folha, em função da calda utilizada. Na prática, os valores médios de volume de calda são de 5 a 40 L ha⁻¹, para a aplicação aérea (os

valores menores para aplicações chamadas de ultra baixo volume - UBV), e de 100 a 2000 L ha⁻¹ para as aplicações tratorizadas, sendo os valores maiores para pomares e hortaliças. Já a aplicação via pivô é função do seu dimensionamento hidráulico, variando de 2,5 a 12 mm (25 a 120 mil L ha⁻¹).

Na zona 1, que vai do zero até o valor da calda crítica inferior (CCI), a quantidade de ingrediente ativo que atinge o alvo folha vai crescendo linearmente pelo volume de calda e pela recomendada do produto comercial, enquanto, acima do valor de calda crítica superior (CCS), há a limitação de área foliar para a retenção do ativo (ou índice de área foliar, se expresso por unidade de área do terreno explorada pela planta), com a consequente lavagem do produto das folhas pelo grande volume de água aplicado (zona 3). A zona 2

representa a faixa considerada ótima, em termos de eficiência de aplicação, em função do volume de calda aplicada. O índice de área foliar (IAF) é função da arquitetura da planta, do tipo da superfície da folha (pilosa, cerosa, glabra, e.g.), e do estádio de desenvolvimento da planta. Segundo esses autores, a planta não teria capacidade de reter volumes de calda acima de 2000 L.ha⁻¹. Com o mesmo princípio, Basanta (1999) propôs um modelo que estimasse a capacidade de retenção foliar na cultura de milho, no intuito de prover suporte à decisão do uso, ou não, da quimigação foliar.

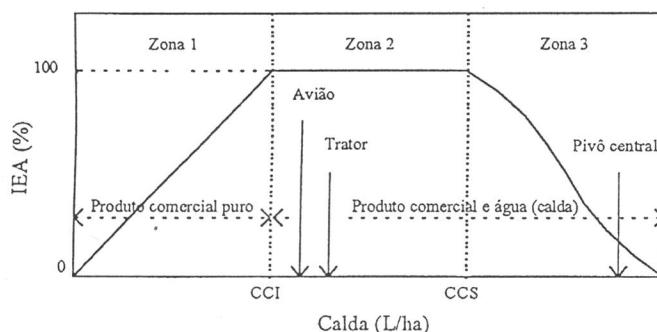


Figura 1 - Representação esquemática do índice de eficiência de aplicação (IEA, %) da calda utilizada (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Calda crítica inferior (CCI) e calda crítica superior (CCS).

Desde a década de 70, no entanto, tem-se obtido sucesso com a aplicação de produtos químicos via pivô central (JOHNSON et al., 1986; YOUNG, 1981), ficando a seguinte questão: qual seria o fator de diferenciação entre os produtos que mantinham eficácia comparável à aplicação convencional, com a quimigação aplicada via pivô, e os produtos que não atingiam níveis aceitáveis de controle?

Young (1980) foi o primeiro a discutir que as formulações à base de óleo, preferencialmente sem surfactante, teriam um desempenho melhor e mais consistente. Chalfant e Young (1981 e 1982) conduziram ensaios testando diversos inseticidas dissolvidos ou formulados em óleo, sem surfactante, sobre diversas pragas e culturas (cereais e hortaliças) e, usando um simulador de pivô, verificaram o efeito do volume de calda variando as lâminas aplicadas de 2,5 a 19,0 mm nos tratamentos testados. Concluíram que, na maioria dos casos, a lâmina de água aplicada não influenciou a efetividade dos produtos.

Stone, Stansell e Young (1994) coletaram a calda quimigada em diferentes alturas em uma lavoura de milho e avaliaram o teor de clorpirifós em cada nível. Os resultados mostram o efeito funil da cultura de milho, que nada mais é do que a tendência de a água retida pelas folhas escorrer até a bainha e daí pelo colmo até o

chão, e que, em função disso, o grande volume de água na quimigação favorece o contato do produto com todas as partes da planta, significando melhor cobertura. Cruz (1997), utilizando metodologia similar à de Stone et al. (1994) e avaliando a distribuição e a retenção de clorpirifós, produto nitidamente lipofílico (solubilidade em água igual a 1,2 ppm a 25 °C), aplicado via pivô central no dossel da cultura do milho, concluiu que o coeficiente de distribuição de Christiansen (CUC) para o inseticida foi muito próximo do obtido para a água, e que as concentrações inseticidas obtidas nas alturas de inserção da primeira espiga e abaixo das folhas foram, respectivamente, 58,5% e 76,0% menores que a concentração acima do dossel, indicando que houve retenção do inseticida pela parte superior das plantas.

Hills e Waller (1989) avaliaram a concentração de clorpirifós aplicado por quimigação nas folhas de milho em diferentes alturas e com diferentes tipos de óleos (Figura 2). Os resultados mostram que para qualquer altura do solo (mesmo na superfície), a concentração do ativo detectado por grama de material é sempre maior nas aplicações com óleo que nas aplicações em água. Resultado semelhante foi obtido por Waughope et al. (1991). Novamente esses resultados mostraram que há retenção de produto pelas folhas, apesar do grande volume de calda aplicado.

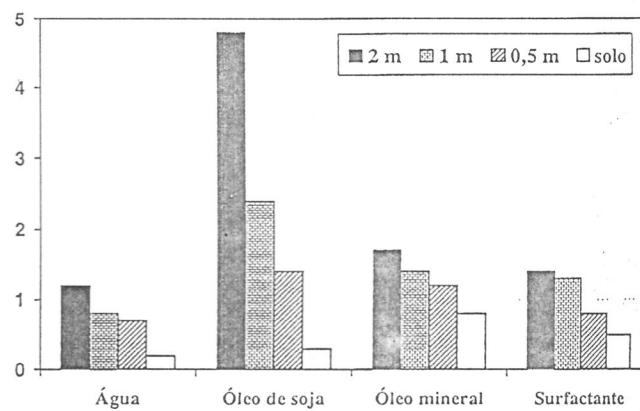


Figura 2 - Concentração média de clorpirifós (µg clorpirifós g material⁻¹) nas folhas de milho e na superfície do solo (HILLS; WALLER, 1989).

Como explicar a eficácia de aplicação obtida por Chalfant e Young (1982) e Young (1980), que mostraram a não interferência do volume de calda aplicada, e a retenção de ativo nas folhas, verificada por Cruz (1997), Hills e Waller (1989) e Stone; stansell e Young (1994), com a afirmação e o raciocínio de Dourado Neto e Fancelli (2000); Fancelli e Dourado Neto (2000) e Vilela (2002) quanto ao volume de calda aplicado?

Embora a cultura não tenha capacidade de retenção de um volume de calda muito grande, um volume

expressivo é interceptado, resultando em uma maior superfície molhada. Como em quimigação, os produtos aplicáveis são lipofílicos e a superfície das plantas e dos insetos também, isso explicaria o porquê das eficiências alcançadas em quimigação (SCHMIDT, 2003). Silva et al. (1994), estudando a interceptação da água (chuva ou irrigação) na cultura de milho, concluíram que essa pode chegar a 50% do total aplicado e sugerem que esse aspecto passe a ser considerado no planejamento e no manejo dos projetos de irrigação.

Apesar do volume de calda, o ingrediente ativo alcançou o alvo na dose certa, que é a premissa de toda tecnologia de aplicação. A argumentação utilizada de que a quimigação foliar seria limitada pelo volume de calda retido pela planta parece ser válida para água e produtos com característica hidrossolúvel, mas não para produtos lipofílicos (WAUCHOPE et al., 1991).

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2000), o que ocorre é que a irrigação e a quimigação foliar têm critérios de projeto hidráulico diferentes, pois apresentam lâminas desejáveis distintas. Esse raciocínio leva a duas possibilidades de solução para a questão: (i) hidráulica, basicamente com os sistemas de barras acopladas tipo NOTLIADA (PEREIRA, 2001; VILELA, 2002); AccuPulse® da Valmont; PASS (*University of Georgia*), e outras, que permitem aplicar volumes de calda variando de 200 a 4.000 L.ha⁻¹, semelhante, pois, a uma aplicação tratorizada; ou (ii) físico-química, trabalhando-se com aquelas moléculas que apresentem por si ou através de formulações específicas, características para a formação de uma emulsão estável no interior da tubulação, em suma, produtos lipofílicos.

O presente trabalho tem por objetivo rever os princípios de formação e o papel das emulsões na agricultura e, particularmente, a sua função no processo de quimigação.

FORMAÇÃO DE EMULSÕES

Producir uma emulsão é misturar duas fases pouco ou não solúveis entre si. Há várias maneiras de se produzi-la, porém a mais usual é aplicando energia mecânica (WALSTRA, 1983). Primeiro, a interface entre as fases é deformada em tal extensão que gotas são formadas. Essas gotas, ainda muito grandes, são posteriormente quebradas ou rompidas em tamanhos menores em função principalmente da força de cisalhamento existente entre a fase contínua e a dispersa. O fracionamento das gotas é uma fase crítica no processo de formação de emulsões.

Quanto menor o tamanho da gota a ser formada, maior será a agitação necessária. No caso da quimigação, essa energia mecânica é suprida pelo regime turbulento de escoamento existente no interior da tubulação.

Quando se adiciona um surfactante a uma determinada mistura, ele diminui a energia necessária para a formação da emulsão, daí ser chamado de emulsificante. Os surfactantes reduzem a tensão superficial do líquido (e.g. de 40 para 5 mN m⁻¹), facilitando a deformação e a ruptura. É múltiplo e complexo o papel do surfactante (emulsificante), mas essencial. Basicamente sua função na formulação é permitir que a fase dispersa se une à fase contínua de modo estável, o que é possível porque a maioria dos surfactantes apresenta um pólo hidrofóbico e outro hidrofílico. Para ser ativo, ele precisa ser transportado até a interface onde é adsorvido, formando uma película. Esse transporte também é acelerado pela agitação intensa. Uma grande interface é, então, formada e a fase contendo o surfactante é rapidamente exaurida durante o processo de emulsificação.

Uma outra etapa crítica é que as gotas podem coalescer logo após sua formação. O mecanismo de coalescência e o complexo sistema de formação de emulsões ainda não são bem conhecidos, de modo que não é possível prever com precisão se ocorrerá e de que modo (WALSTRA, 1983). O surfactante é de suprema importância, pois determina qual será a fase contínua, comumente aquela na qual ele é solúvel (Lei de Bancroft). A taxa de coalescência das gotas da fase dispersa é variável e depende de muitos fatores, mas principalmente da natureza e da concentração do surfactante. As gotas podem também flocular durante a emulsificação, mas os flóculos são, em sua maioria, rompidos novamente em curto espaço de tempo.

Sleicher (1962) afirma que a coalescência numa área turbulenta pode ser desconsiderada, se a fase dispersa representar menos que 0,5%, em volume, da fase contínua. Collins e Knudsen (1970), no entanto, não observaram o fenômeno da coalescência numa tubulação com fluxo em regime turbulento, para concentrações da fase dispersa acima de 10% em volume, com número de Reynolds variando entre 90.000 e 130.000.

USO DE EMULSÕES NA AGRICULTURA

Becher (1985) comenta que é crescente o uso de pesticidas e de outros produtos na moderna agricultura, os quais, na grande maioria, são utilizados em baixa dosagem (por unidade de área), necessitando de um veículo para serem distribuídos uniformemente nas lavouras. A tecnologia de formulações tem, por objetivo, facilitar a aplicação uniforme. Para tal, é imprescindível proporcionar uma adequada solubilização, suspensão ou emulsão do ingrediente ativo no veículo, em função do método de aplicação que se deseja utilizar. As formulações podem ser de vários tipos, porém a maioria envolve a formação e (ou) a estabilização de emulsões. A mais comum é a do tipo concentrado emulsionável

(CE), que é definida como "uma solução não aquosa de um emulsificante num pesticida, dissolvido em um solvente, se necessário, que, quando adicionado a um volume maior de água, forma uma emulsão estável de óleo em água com pouca ou nenhuma agitação mecânica" (BECHER, 1985).

Quando se adiciona óleo sem surfactante, como, por exemplo, o óleo de soja culinário, a uma formulação CE (concentrado emulsionável), dilui-se o surfactante existente na formulação (que é proporcional à quantidade de produto a ser emulsionado para um determinado volume de água) em uma quantidade muito maior de óleo. Assim, o surfactante presente não será suficiente para estabilizar a emulsão, quando ela for injetada em um volume de água muito maior (40.000 L ou 4 mm, no caso de quimigação, contra, no máximo, 2.000 L em aplicações convencionais). A fase contínua (água, nesse caso) rapidamente irá exaurir o surfactante presente na fase dispersa (produto mais óleo), enquanto o ingrediente ativo ficará em solução no óleo adicionado e essa solução, por sua vez, em emulsão na água do pivô.

Young et al. (1995), revendo o papel das formulações em quimigação, concluíram que, quanto menor a característica de formulação sólida (pó molhável, grânulos, ou suspensões), melhor o desempenho em quimigação. Isso significa que a formulação constituída do ingrediente ativo, solubilizado em óleo (sem surfactante), seria a ideal, seguida pelo concentrado emulsionável dissolvido em óleo (sem surfactante), concentrado emulsionável (CE), emulsão concentrada (EC), suspensão ou solução concentrada (SC), pó molhável (PM) e, por último, as formulações granuladas (WG, GD). As formulações cujo solvente é a água (solução aquosa e.g.) não seriam adequadas, pois isso seria um indicativo de que o produto em questão é hidrossolúvel e, portanto, inadequado a quimigação.

O primeiro trabalho comentando sobre a possibilidade de formulações à base de óleo, ou sobre a adição de óleo às formulações ser o fator diferencial entre os produtos efetivos e não-efetivos, via quimigação, é de Young (1980).

Young et al. (1995) apresentam uma revisão sobre o papel das formulações de pesticidas para quimigação. Iniciam comentando que as formulações devem prover que o pesticida chegue e se fixe ao alvo desejado pelo método de aplicação desejado, o que é óbvio, mas que, no contexto, significa que o volume de água utilizado na aplicação não é o fator determinante do sucesso da aplicação, segundo aos autores. Comentam, ainda, a deficiência no desenvolvimento de formulações específicas para aplicações em grandes volumes de água, uma vez que a lâmina mínima possível de ser aplicada pelo pivô é de 2,5 mm (25.000 L ha⁻¹), e que a diluição resultante, para os pesticidas solúveis em água, causa um decréscimo na sua efetividade.

Pelo que foi visto e apresentado, fica evidente que

o que se deseja na quimigação é a formação de uma emulsão a óleo em água estável na tubulação do sistema de irrigação, no momento de injeção da calda. No entanto, como o movimento da água na tubulação tem regime turbulento, não há a necessidade do surfactante (SILVEIRA, HILLS e YATES, 1987) que, como já foi dito, teria a função de reduzir a necessidade de agitação (energia mecânica), para a formação e a estabilização da emulsão.

Ao se dissolver um ingrediente ativo ou uma formulação tipo CE em óleo, sem a adição de um surfactante, é preciso definir o óleo a ser utilizado (COCHRAN, THREADGILL e LAW, 1987), uma vez que cada um apresenta as suas propriedades físico-químicas (densidade, viscosidade e tensão superficial por exemplo). A Figura 3 mostra a influência da temperatura na viscosidade e a tensão superficial de diferentes tipos de óleos.

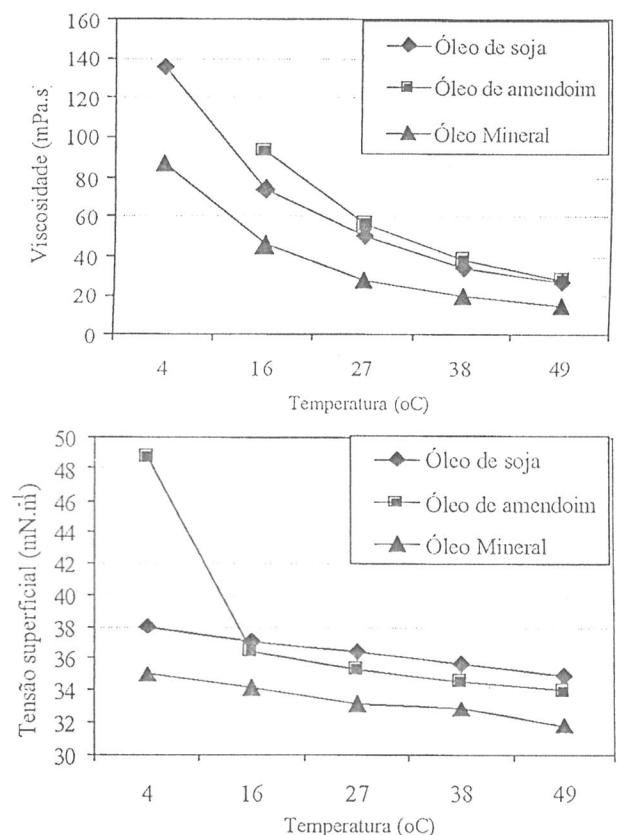


Figura 3 - Influência da temperatura na viscosidade e a tensão superficial de diferentes tipos de óleo (Adaptado de COCHRAN, THREADGILL e LAW, 1987).

As formulações industriais geralmente utilizam óleos minerais por serem de menor custo (BECHER, 1985). Porém a definição de uma solução utilizável pelo agricultor é dependente da disponibilidade, a baixo custo, de um óleo sem surfactante em sua composição. No Brasil, a resposta é rápida: óleo de soja (culinário), que,

contudo, apresenta um custo relativamente alto, se comparado aos óleos de uso agrícola existentes (que contém emulsificantes). Um modo de se baratear esse custo seria o uso, no lugar do óleo refinado de cozinha, de óleos degomados (COSTA; VIEIRA; VIANA, 1994; VIANA; COSTA, 1994), também chamados de brutos ou de primeira extração. Óleo degomado é aquele obtido na primeira etapa do processo de extração, do qual ainda não se retiraram os demais subprodutos, como, por exemplo, a lecitina e o beta-caroteno, no caso da soja.

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA EMULSÃO

Está diretamente relacionada à uniformidade de distribuição da água. Uma vez que esta esteja de acordo, a uniformidade está relacionada à estabilidade da emulsão formada na tubulação, que, por sua vez, se relaciona ao tamanho de gota formado no momento da injeção. O tamanho de gota formado é função da velocidade da água (função da vazão e da área da seção do tubo) no ponto de injeção, da orientação do ponto de injeção, no interior da tubulação, e do tipo de emissor.

Sumner; Bouse e Young (1991a), Sumner; Chalfant e Cochran (1991b) e Sumner e Cochran (1988) estudando a formação de gotas de óleo-pesticida na tubulação, com o auxílio de um simulador, concluíram que (i) o diâmetro mediano volumétrico (DMV) das gotas formadas diminuía à medida que a velocidade do fluxo de água aumentava e (ii) a distribuição de gotas na tubulação principal, com a velocidade de fluxo menor que 2 m s^{-1} , continha um percentual elevado de gotas com DMV maior que $415 \mu\text{m}$. Segundo Reese (1986), gotas de tamanho acima de $400 \mu\text{m}$ tendem a flutuar e a coalescer, fazendo que um volume maior do produto dissolvido em óleo saia nos primeiros aspersores, comprometendo a uniformidade de distribuição, mesmo sendo a distribuição de água uniforme. Esse fenômeno foi estudado e equacionado por Waller e Hills (1995) (Figura 4).

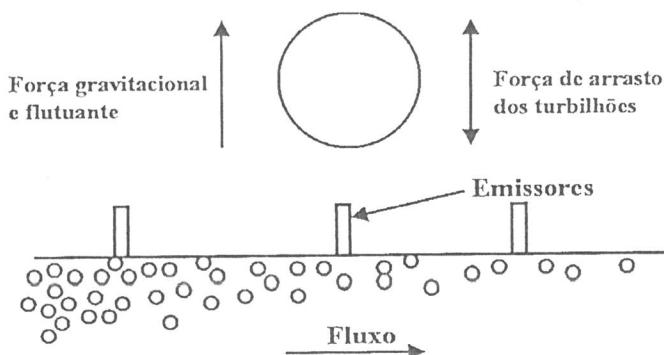


Figura 4 - Esquema do movimento ascendente das gotas grandes de óleo (maiores que $400 \mu\text{m}$) dentro da tubulação (REESE, 1986; WALLER e HILLS, 1995).

Outro ponto fundamental na determinação do tamanho da gota na emulsão formada dentro da tubulação é a posição do ponto de injeção. Groselle; Stansell e Young (1986) mediram a distribuição do tamanho das gotas formadas no ponto de injeção (variando a sua posição) e na saída dos emissores. O melhor resultado foi obtido quando o ponto de injeção foi posicionado no centro da tubulação e voltado para jusante – ponto D (veja Figura 5 e Tabela 1), dado corroborado por Sumner; Bouse e Young (1991a). Na prática, observa-se que a maioria dos equipamentos apresenta esse ponto tangente à tubulação (ponto B), onde a velocidade do fluxo é menor.

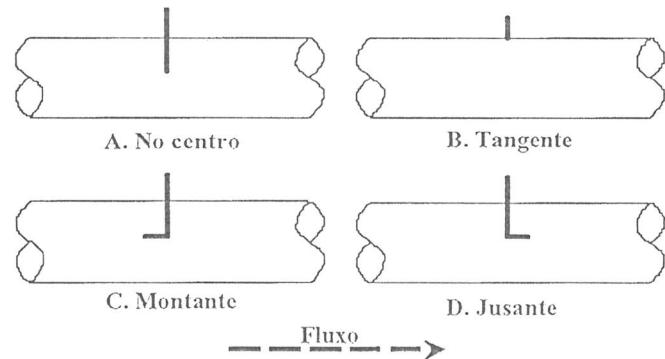


Figura 5 - Localização do tubo injetor no interior da tubulação principal (adaptado de GROSELLE; STANSELL e YOUNG, 1986).

O DMV das gotas obtidas no ponto de injeção por Groselle; Stansell e Young (1986) estava próximo de $50 \mu\text{m}$, enquanto, no emissor, ficava próximo a $19 \mu\text{m}$. A diferença de tamanho deveu-se à alta velocidade da água no emissor ($26,3 \text{ m s}^{-1}$, contra $2,96 \text{ m s}^{-1}$ no ponto de injeção) e à força de cisalhamento. Os autores concluíram que a posição do ponto de injeção e a velocidade do fluxo são fatores fundamentais para assegurar a formação de gotas no tamanho adequado para garantir uma boa emulsão e, consequentemente, boa uniformidade de distribuição. Embora não tenham trabalhado com diferentes tipos de emissores, alertam para a possibilidade de poder haver diferença no diâmetro da gota formada, em função do tipo e do diâmetro do bocal dos mesmos.

Sumner e Cochran (1988) afirmam que é preciso optar corretamente pelo emissor, associado à correta velocidade da água, para garantir uma uniformidade de aplicação consistente e efetiva. Cochran; Threadgill e Young (1985), usando um simulador de pivô semelhante ao utilizado por Groselle; Stansell e Young (1986) e analisando o efeito de diferentes diâmetros de bocais a diferentes pressões (mantendo a posição do ponto de injeção constante), concluíram que aumentar o diâmetro do bocal permite a passagem de gotas de óleo maiores. Entretanto, após um determinado diâmetro do mesmo, a crescente pressão de cisalhamento supera o efeito do aumento do diâmetro e o tamanho da gota de óleo diminui.

Tabela 1 - Tamanho médio das gotas no interior da tubulação, no ponto de injeção e nos emissores, em função da posição do ponto de injeção na tubulação (GROSELLE; STANSELL e YOUNG, 1986).

Posição do ponto de injeção	Tubulação principal (μm)	Emissores (μm)
Centro-jusante	56,2 a ⁽¹⁾	15,8 a
Centro-montante	49,3 b	15,9 a
Tangente	57,2 a	16,4 a
Centro	47,7 b	15,9 a

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan em nível de 95% de significância.

Sumner e Cochran (1988) afirmam que é preciso optar corretamente pelo emissor, associado à correta velocidade da água, para garantir uma uniformidade de aplicação consistente e efetiva. Cochran; Threadgill e Young (1985), usando um simulador de pivô semelhante ao utilizado por Groselle; Stansell e Young (1986) e analisando o efeito de diferentes diâmetros de bocais a diferentes pressões (mantendo a posição do ponto de injeção constante), concluíram que aumentar o diâmetro do bocal permite a passagem de gotas de óleo maiores. Entretanto, após um determinado diâmetro do mesmo, a crescente pressão de cisalhamento supera o efeito do aumento do diâmetro e o tamanho da gota de óleo diminui.

Koo (1990), trabalhando com diferentes tipos de emissores e diferentes concentrações e medindo o tamanho da gota produzido em um simulador de pivô, concluiu que o diâmetro do bocal não influí, uma vez que o coeficiente de descarga é função do diâmetro e da velocidade da água. Porém houve efeito significativo quanto ao tipo de emissor. Além disso, todos os resultados mostraram um perfil de distribuição de gotas concentrada em uma faixa menor que 20 μm, que é a faixa desejável.

Para assegurar a formação de uma emulsão estável e com distribuição uniforme ao longo da tubulação, fundamental para a efetividade dos produtos aplicados, é necessário que o produto a ser injetado tenha características nitidamente lipofílicas, característica que pode ser potencializada pela dissolução do produto formulado em um óleo sem surfactantes. Há necessidade, todavia, de maiores estudos nessa área, em condições brasileiras, pois cada tipo de óleo apresenta respostas diferentes em suas propriedades físico-químicas em relação à variação de temperatura, por exemplo. Outra área que necessita de estudo é a proporção de óleo – produto formulado a ser injetado no sistema. Viana (1994) cita proporção de 1:1, enquanto Young et al. (1984) trabalharam com proporções variando de 1:1 até 1:75, com diferentes óleos, mostrando que a proporção pode

variar, em função do óleo utilizado e das condições de aplicação. Na prática e de modo geral, tem-se recomendado a proporção de 1:1,5 (produto:óleo).

Definidos o óleo e a sua proporção, para se garantir a uniformidade de distribuição ao longo da tubulação preciso que haja uniformidade de distribuição de água que o DMV da gota de óleo formada no interior da mesma esteja entre 50 (GROSELLE, STANSELL e YOUNG 1986) e 70 μm (REESE, 1986) para que não se produza coalescência. Isso é obtido pelo posicionamento correto do ponto de injeção, no interior da tubulação, e pela velocidade da água, no ponto de injeção não inferior a 1 m s⁻¹. Assim, o diâmetro dos bocais e o tipo dos emissores irão fracionar a gota final, que irá atingir o alvo a um DMV próximo a 19 μm (GROSELLE, STANSELL e YOUNG 1986).

CONCLUSÃO

A formação de emulsões, no interior da tubulação de um sistema de irrigação, é fundamental para garantir a uniformidade e a consequente efetividade da quimigação como técnica de aplicação.

O posicionamento do ponto de injeção e velocidade da água no mesmo, assim como o tipo de emissor, definirão o diâmetro da gota formada no interior da tubulação, assegurando a uniformidade de aplicação e a estabilidade da emulsão formada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASANTA, M.V. Modelo para estimativa do volume máximo de calda visando aplicação foliar de produtos químicos na cultura de milho (*Zea mays* L.) 1999. 65p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BECHER, D.Z. Applications and agriculture. In: BECHER P. (Ed.). *Encyclopedia of emulsion technology*. New York: Marcel Dekker, 1985. v.2, cap.4, p.239-320.

CHALFANT, R.B.; YOUNG, J.R. Chemigation to manage insect pests of vegetables, peanuts and soybeans. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON CHEMIGATION, 1., 1981 Tifton. *Proceedings...* Tifton: University of Georgia, 1981 p.65-73.

CHALFANT, R.B.; YOUNG, J.R. Chemigation, the application of insecticides through overhead sprinkler irrigation systems, to manage insect pests infesting vegetable and agronomic crops. *Journal of Economic Entomology*, College Park, v.75, n.2, p.237-241, 1982

- COCHRAN, D.L.; THREADGILL, E.D.; YOUNG, J.R. **Effects of pressure and sprinkler orifice diameter on oil-formulated insecticide used in chemigation.** St. Joseph: ASAE, 1985. 14 p. (ASAE Paper, 85-2577)
- COCHRAN, D.L.; THREADGILL, E.D.; LAW, S.E. Physical properties of three oils and oil-insecticide formulations used in agriculture. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.5, p.1338-1342, 1987.
- COLLINS, S.B.; KNUDSEN, J.G. Drop size distributions produced by turbulent pipe flow of immiscible liquids. **AICHE Journal**, New York, v.16, n.6, p.1072-1080, 1970.
- COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. (Ed.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação.** Brasília: EMBRAPA, SPI, 1994. 315p.
- CRUZ, O.C. **Distribuição horizontal do inseticida clorpirifós aplicado via pivô central em cultura de milho (*Zea mays L.*) e sua retenção no dossel das plantas.** 1997. 54 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. **Produção de feijão.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 385p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- GROSELLE, D.E.; STANSELL, J.R.; YOUNG, J.R. Effects of injection parameters on the droplet size of oil formulated insecticides during chemigation. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.4, p. 1065-1069, 1986.
- HILLS, D.J.; WALLER, P.M. Lateral move chemigation of Lorsban- 4E on field corn. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.5, n.4, p.534-538, 1989.
- JOHNSON, A.W.; YOUNG, J.R.; THREADGILL, E.D.; DOWLER, C.C.; SUMNER, D.R. Chemigation for crop production management. **Plant Disease**, St. Paul, v.70, n.11, p.998-1004, 1986.
- KOO, Y.M. **Development of a wide flow range nozzle for agricultural chemical application.** 1990. 173p. Thesis (Ph.D.) - Kansas State University. Kansas, 1990.
- PEREIRA, A.S. **Desenvolvimento de um protótipo aplicador de produtos químicos para um sistema de irrigação pivô central.** 2001. 64p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- REESE, L.E. **Chemigation transport:** A computer model for transport of a non-soluble particle or droplet within discharging agricultural irrigation pipeline. 1986. 178p. Thesis (Ph.D.) - Michigan State University, East Lansing, 1986.
- SCHMIDT, W. **Uso de óleos sem surfactantes na aplicação de clorpirifós via insetigação na cultura do milho: resumo de três ensaios.** 2003. 83p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- SILVA, C.L.; RAMOS, M.M.; FERREIRA, P.A.; et al. **Medição e simulação da interceptação foliar de água na cultura do milho.** **Pesquisa Agropecuária Brasileira** Brasília, v.29, n.11, p.1735-1741, 1994.
- SILVEIRA, R.C.M.; HILLS, D.J.; YATES, W.E. Insecticid oil distribution patterns from a pesticide application **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.2, p.438-441, 1987.
- SLEICHER, C.A. Maximum stable drop diameter in turbulent flow. **AICHE Journal**, New York, v.8, n.4, p.471-477, 1962.
- STONE, K.C.; STANSELL, J.R.; YOUNG, J.R. Insecticid distribution through an irrigated corn canopy. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.37, n.1, p.135-138, 1994.
- SUMNER, H.R.; COCHRAN, D.L. **Collecting oil formulated pesticide droplets from chemigation sprinklers.** St. Joseph: ASAE, 1988. 13p. (ASAE Paper 88-2622).
- SUMNER, H.R.; BOUSE, L.F.; YOUNG, J.R. **Oil formulated pesticide droplet size distribution in chemigation.** St. Joseph: ASAE, 1991a. 12p. (ASAE Paper, 91-1056).
- SUMNER, H.R.; CHALFANT, R.B.; COCHRAN, D.L. **Influence of chemigation parameters on fall armyworm control in field corn.** **Florida Entomologist**, Gainesville, v.74, n.2, p.280-287, 1991b.
- VIANA, P.A. **Insetigação** In: COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F. VIANA, P.A. (Ed.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação.** Brasília: EMBRAPA/SPI, 1994. p.249-268.
- VIANA, P.A.; COSTA, E.F. Eficiência de inseticida misturados em óleo vegetal aplicados via irrigação por aspersão para o controle da lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda*, em milho. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Censo Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Relatório técnico anual 1992-1993.** Goiânia, 1994. p.139.

VILELA, L.A.A. **Metodologia para dimensionamento de um sistema de pulverização acoplável a pivô central.** 2002. 127p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

WALLER, P.M.; HILLS, D.J. Chemigation pipeline transport model for nonsoluble pesticide. I. Theory. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.6, p.1699-1709, 1995.

WALSTRA, P. Formation of emulsions. In: BECHER, P. (Ed.). **Encyclopedia of emulsion technology: basic theory.** New York: Marcel Dekker, 1983. cap.2, p.58-125.

WAUCHOPE, R.D.; YOUNG, J.R.; CHALFANT, R.B.; et al. Deposition, mobility and persistence of sprinkler irrigation applied chlorpyrifos on corn foliage and in soil. **Pesticide Science**, London, v.32, p.235-243, 1991.

YOUNG, J.R. Suppression of fall armyworm population by incorporation of insecticides into irrigation water. **Florida Entomologist**, Gainesville, v.63, n.4, p. 447-450, 1980.

YOUNG, J.R. Chemigation: insecticides applied in irrigation water for Control of the corn earworm and fall armyworm in sweet and field corn. In: **NATIONAL SYMPOSIUM ON CHEMIGATION**, 1., 1981, Tifton. **Proceedings...** Tifton: University of Georgia College of Agriculture, 1981. p.56-64.

YOUNG, J.R.; CHALFANT, R.B.; HERZOG, G.A. Role of formulations in the application of insecticides through irrigation systems. In: **NATIONAL ENTOMOLOGICAL SOCIETY MEETING**, 1984, San Antonio. **Proceedings...** San Antonio: [s.n.], 1984. p.2-12.

YOUNG, J.R.; DOWLER, C.C.; CHANDLER, L.D. et al.: A review of pesticide formulations for chemigation. In: HALL, F.R.; BERGER, P.D.; COLLINS, H.M.(Ed.). **Pesticide formulations an application systems.** Philadelphia: American Society Testing Materials, 1995. v.14, p.71-82. (ASTM. STP, 1234).

ISSN 0103-54

ENGENHARIA RURAL

UNIVERSIDADE FEDERATIVA DE SÃO PAULO
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Engenharia Rural

v.15, único, 2004