

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA E POTENCIAL DE DERIVA DE CALDAS CONTENDO SURFATANTES EM PULVERIZAÇÕES AGRÍCOLAS¹

RONE BATISTA DE OLIVEIRA² & ULISSES ROCHA ANTUNIASSI³

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de surfatantes nas propriedades físicas e químicas, no espectro de gotas e no potencial de deriva em caldas de pulverizações agrícolas. Os surfatantes comerciais utilizados e suas respectivas concentrações foram: Haiten (0,1% v v⁻¹) e Antideriva e Intec (0,05% e 0,1% v v⁻¹). Analisaram-se as propriedades físicas e químicas das soluções tais como a tensão superficial, viscosidade, densidade e condutividade elétrica. O espectro de gotas foi determinado de forma direta em analisador de tamanho de partículas por difração de raios laser, onde foi avaliado o diâmetro mediano volumétrico (DMV), o percentual de gotas menores que 50 e 100 µm (V50 e V100) e a amplitude relativa (AR). Para a avaliação do potencial de deriva realizou-se ensaios em túnel de vento com uma ponta Teejet XR 8003 VK na pressão de 200 kPa (gotas médias), aplicando caldas contendo corante Azul Brilhante (0,6% m v⁻¹) em mistura com os surfatantes. A deriva foi coletada por meio de fios de polietileno posicionados transversalmente ao fluxo de ar a diferentes distâncias da ponta e alturas do piso do túnel. A solução de lavagem de cada fio foi processada por meio de espectrofotometria para quantificação dos depósitos. Os resultados mostraram que a adição de surfatantes alterou as propriedades físicas e químicas das soluções aquosas em diferentes magnitudes, dependendo do surfatante. Os surfatantes modificaram o espectro de gotas e o potencial de deriva, indicando que quanto maior o DMV e menor o V100, menores foram os percentuais de deriva.

Palavras-chave: Adjuvantes, tamanho de gotas, túnel de vento, correlação.

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor intitulada: Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas.

² Professor do Instituto de Ciências Exatas, Universidade Paranense-Unipar, Campus I - Sede, Rua Mascaranhas Moraes, Centro, CEP: 78.048-223, Umuarama-PR. ronebatista@hotmail.com

³ Professor do Departamento de Engenharia Rural, FCA-UNESP, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, Caixa Postal 237 - CEP 18610-307, Fazenda Lageado, Botucatu-SP, ulisses@fca.unesp.br

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION AND DRIFT POTENTIAL OF SPRAY SOLUTIONS WITH SURFACTANTS ON AGRICULTURAL SPRAYING

SUMMARY: *The aim of this work was to evaluate the effect of the addition of different surfactants in physical and chemical properties of spray solutions, droplets spectra and drift potential on agricultural spraying. The surfactants and concentrations ($v\ v^{-1}$) were: Haiten (0.1%), Antideriva and Intec (0.05% and 0.1%). The following characteristics were analyzed: surface tension, viscosity, density and electric conductivity. The droplet size spectrum was determined by a laser particle analyzer (Mastersizer S®, version 2.15) including measurements of volume medium diameter (VMD), the percent of droplets below 50 and 100 μm (V50 e V100) and index span. In order to estimate the drift potential, a series of wind tunnel tests were performed with a Teejet XR 8003 flat fan nozzle at 200 kPa (medium droplets) used to apply the spray solutions containing water, the adjuvants and a food color dye (Brilliant blue FD & C n° 1) at 0,6% $m\ v^{-1}$. The drift was collected on nylon strips transversally fixed along the tunnel at different distances from the nozzle and different high from the bottom part of the tunnel. Drift deposits were evaluated by spectrophotometry. The results showed that the addition of adjuvants changed physical and chemical properties of spray solutions in different magnitudes according to the surfactant. Surfactants changed the droplet spectrum and drift potential, indicating that higher VMD and smaller V100 induced higher percentage of drift.*

Keywords: *Adjuvants, droplets size, wind tunnel, correlation.*

1 INTRODUÇÃO

Os adjuvantes são produtos que adicionados aos agroquímicos aumentam o desempenho da solução (STICKER, 1992). Definição mais recente de Hazen (2000) descreve os adjuvantes como materiais adicionados ao tanque de mistura com o objetivo de modificar a ação química e as propriedades físicas da calda.

Dentre os adjuvantes, os surfatantes são os mais amplamente utilizados e provavelmente os mais importantes de todos os adjuvantes (MILLER; WESTRA, 1998). O nome é derivado de agentes ativadores de superfície porque estes componentes facilitam ou melhoram a emulsificação, dispersão, molhamento e adesão das moléculas do agrotóxico na mistura no tanque, bem como reduzem a tensão superficial da água (KIRKWOOD et al., 1999).

Os surfatantes são produtos que modificam as forças interfaciais, com orientação das suas moléculas entre as interfaces, promovendo ajustamento mais íntimo de duas substâncias (DURIGAN, 1993). O efeito de surfatantes na tensão superficial em soluções aquosas em superfícies naturais e artificiais foi estudado por Iost e Raetano (2010). Os autores concluíram que os surfatantes organossilicones foram mais eficientes na redução da tensão superficial e proporcionaram maior molhamento de superfícies natural e artificial em relação aos demais surfatantes.

Segundo Miller e Butler Ellis (2000), mudanças nas propriedades do líquido pulverizado podem influenciar tanto o processo de formação das gotas como o comportamento destas em contato com o alvo, alterando o potencial risco de deriva da aplicação. Ainda, segundo Stock e Briggs (2000), as propriedades físicas e químicas dos adjuvantes determinam suas funções, impactos sobre as atividades biológicas e, são dependentes da proporção relativa de cada componente na mistura, incluindo a água.

O grau de pulverização está diretamente ligado à viscosidade e escoamento da solução (CHORILLI et al., 2007). O efeito da viscosidade na formação das gotas de líquidos com diferentes propriedades físicas tem sido reportado há algum tempo por alguns autores (LEFEBVRE, 1989; HEWITT et al., 1993). Esses autores relataram que um aumento na taxa de viscosidade, frequentemente causa um aumento no tamanho das gotas e na amplitude do espectro das gotas com maior percentual para gotas maiores.

Dentre os efeitos dos adjuvantes, destaca-se a redução da tensão superficial das gotas pulverizadas, causando o seu achatamento, o que aumenta a sua superfície de contato com o alvo biológico e melhora a cobertura deste. A tensão superficial refere-se às forças que existem na interface de líquidos não miscíveis, impedindo que eles se misturem (AZEVEDO, 2001).

A tensão superficial é uma importante propriedade porque uma boa retenção ou adesividade dos agrotóxicos na superfície foliar é consequência de uma boa molhabilidade (TANG; DONG, 2008). Esta ocorre em função da maior área de contato obtida pela redução da tensão superficial, que é a força interna do líquido que mantém suas moléculas unidas, que por sua vez é influenciado pela presença de surfatantes na calda (ANTUNIASSI, 2009).

Os túneis de vento têm se tornado ferramentas importantes para estudos de deriva, visando minimizar a contaminação ambiental causada pelo uso de agrotóxicos. Moreira Júnior e Antuniassi (2010) construíram um túnel de vento de dimensões reduzidas e de baixo custo para realizar estimativas de deriva. Os resultados dos ensaios de validação da determinação de deriva mostraram que o túnel de vento conseguiu medir variações de intensidade de depósito para as diferentes caldas avaliadas, demonstrando-se adequado para ensaios de avaliação do potencial de risco de deriva.

Segundo Kirk (2003), o espectro de gotas tem sido reconhecido como a mais importante variável a ser controlada como medida de redução da deriva nas aplicações, principalmente em aplicações aéreas e

de acordo com Butler Ellis et al. (1997), os adjuvantes podem ter um efeito significativo sobre o espectro de gotas em pulverizações agrícolas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de surfatantes nas propriedades físicas e químicas, no espectro de gotas e no potencial de deriva em caldas de pulverizações agrícolas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Máquinas de Pulverização do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP, Botucatu-SP.

No experimento avaliaram-se as propriedades físicas e químicas, o espectro de gotas e o potencial de deriva proporcionado pelos surfatantes em diferentes concentrações. Para caracterizar melhor os diferentes surfatantes utilizados, optou-se em apresentá-los conforme suas composições e funções descritas nos rótulos ou bulas dos fabricantes (Tabela 1). Apesar de não possuir registro como adjuvante pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), o produto Antideriva foi incluído neste trabalho em função de sua ampla aceitação de mercado.

Tabela 1 - Descrição dos adjuvantes utilizados no experimento, conforme informações das bulas e rótulos dos produtos pelos fabricantes

Nome Comercial ^{1/}	Composição	Função	Formulação
Antideriva ^{2/}	Nonil Fenol Etoxilado	Redutor de Deriva	Concentrado Solúvel
Haiten	Polioxietileno aquil fenol éter 200 g L ⁻¹	Espalhante Adesivo	Solução Aquosa Concentrada
In-Tec	Nonil fenol etoxilado 124,4 g L ⁻¹	Espalhante adesivo	Concentrado Solúvel

^{1/} A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor; ^{2/} composição segundo Iost (2008).

As propriedades físicas e químicas avaliadas das soluções aquosas foram: viscosidade, densidade, tensão superficial e condutividade elétrica. Todas as determinações foram realizadas a partir de soluções preparadas em béqueres de 1 litro a temperatura ambiente sempre no mesmo dia da utilização.

A densidade das soluções foi determinada por meio da massa de 1 litro da solução depositada em um balão volumétrico, em balança de precisão 0,01 gramas.

A viscosidade das soluções foi medida por um viscosímetro (Brookfield, modelo LVDV-III+). O instrumento é equipado com cilindros de diâmetros diferentes (*spindles*), adequados conforme a viscosi-

dade do fluido. Para esse trabalho foi utilizado um cilindro de diâmetro externo de 100 mm (*Spindle* de referência S-28) e utilizada a rotação de 60 RPM, conforme a recomendação do fabricante.

A tensão superficial das soluções foi determinada pelo método gravimétrico por meio de medição das massas de conjuntos de 25 gotas por repetição (quatro repetições), utilizando-se uma balança analítica com precisão de 0,1 mg, num tempo médio aproximado de 27 segundos. As gotas foram depositadas em um béquer sobre a balança, obtidas com auxílio de uma seringa de 5 mL e um capilar (utilizado em cromatografia), que possibilitou trabalhar com a solução no plano horizontal e a uma velocidade constante predeterminada, proporcionando maior uniformidade das gotas formadas. Para todos os tratamentos o capilar encontrava-se a uma altura de 5 cm acima da superfície do béquer. Os dados de peso das gotas foram convertidos para tensão superficial, considerando uma média do peso de gotas da água destilada como 76 mN m^{-1} , conforme metodologia desenvolvida por Costa (1997).

A condutividade elétrica foi medida por meio de um condutivímetro portátil da marca Digimed, modelo DM3. O equipamento foi previamente calibrado por meio de soluções-padrão.

As análises do espectro de gotas foram realizadas, utilizando um analisador de gotas em tempo real, com base na técnica da difração de raios laser (Mastersizer S®, versão 2.15). Para realização das análises foram formulados dois litros de solução para cada tratamento nas mesmas concentrações usadas no ensaio de caracterização das propriedades físicas e químicas (Tabela 2). As soluções foram preparadas minutos antes de serem analisadas, tendo como solução padrão a água destilada, sendo aplicadas com uma ponta XR8003 VK na pressão de 200 kPa gerando um padrão de gotas médias e nas mesmas condições de aplicações para todos os tratamentos.

Na análise do espectro de gotas as variáveis obtidas foram: $DV_{0,1}$ (diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor), $DV_{0,9}$ (diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor), $DV_{0,5}$ (diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor), o percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 50 e 100 μm (V_{50} e V_{100}) e a amplitude relativa (AR) calculada pela seguinte equação: $AR = DV_{0,9} - DV_{0,1} / DV_{0,5}$.

O potencial de deriva dos diferentes surfatantes e concentrações foi avaliado por meio de ensaios em um túnel de vento projetado e desenvolvido por Moreira Júnior (2009), o qual possui circuito aberto e seção de teste fechada com comprimento total de 4,8 m, tendo uma seção de testes quadrada de 0,56 m x 0,56 m e área útil de $0,31 \text{ m}^2$ e 2,5 m de comprimento útil, feito em madeira, produzindo um fluxo laminar de ar uniforme de $2,0 \text{ m s}^{-1}$ por um ventilador com motor de 180 Watts de potência.

Foram utilizados um tanque de aço inox com capacidade de 15 L para armazenamento e pressurização da caldas por um cilindro de gás comprimido (CO_2), um bico com válvula anti-gotejo e uma ponta de pulverização XR8003 VK nova submetida a pressão de 200 kPa (gotas médias). Para todas as soluções

utilizou-se o corante Azul Brillhante na concentração de 0,6% (m v^{-1}). Para a coleta dos depósitos de soluções foi utilizado fios de polietileno com 2,0 mm de diâmetro e 0,56 m de comprimento útil (largura do túnel de vento), os quais foram posicionados horizontalmente e perpendicularmente ao comprimento do túnel através de furos na parede deste e fixados por presilhas colocadas na parte externa. Os fios foram posicionados nas distâncias de 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 m em relação à ponta de pulverização, referenciando-se no comprimento do túnel. Em todas as distâncias os fios foram fixados nas alturas de 0,10 e 0,20 m com relação ao piso do túnel. A metodologia de coleta e análises das soluções oriundas do túnel de vento foram as mesmas descritas por Moreira Júnior e Antuniassi (2010).

As condições climáticas foram monitoradas e anotadas em cada ensaio e realizados somente com temperatura menor que 30° C e umidade relativa maior que 50%, visando a padronização dos ensaios no experimento.

O trabalho foi constituído de seis tratamentos com três repetições (Tabela 2). Estas concentrações utilizadas representam situações reais de uso em campo. Para todos os dados verificou-se a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($P < 0,05$) e a homogeneidade de variância pelo teste de Levene para que possa ser aplicada a análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo Intervalo de confiança e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram realizadas correlações de Pearson ($P < 0,05$) para verificar as associações entre a deriva e as demais variáveis. Para todas as análises estatísticas foi utilizado o programa STATISTICA (STAT SOFT, 2007).

Tabela 2 - Tratamentos constituídos pelos diferentes adjuvantes e concentrações

Tratamentos	Concentração (v v^{-1})
T1 - Água destilada	100,00%
T2 - Antideriva	0,05%
T3 - Antideriva	0,10%
T4 - Haiten	0,10%
T5 - Intec	0,05%
T6 - Intec	0,10%

^{1/} A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor; ^{2/} composição segundo Iost (2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentados os valores das propriedades físicas e químicas avaliadas no experimento. Observa-se que todos os tratamentos reduziram significativamente a tensão superficial, quando comparados com a água (76 mN m^{-1}). Os surfatantes apresentaram-se semelhantes na redução da tensão superficial sem diferença significativa (valores $< 35 \text{ mN m}^{-1}$).

Quanto a densidade, a adição de surfatantes reduziu a densidade das soluções, com algumas diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, os valores encontrados foram todos próximos à densidade da água ($1,0 \text{ g cm}^{-3}$). Diferenças não significativas nos valores de densidade para diferentes adjuvantes e concentrações foram encontradas por Cunha e Alves (2009). Assim como neste trabalho, as alterações de valores de densidade ocorreram nas duas últimas casas decimais, concordando com Matuo et al. (1989), os quais descrevem que as concentrações empregadas nos adjuvantes são pequenas, onde a dose não influencia a densidade das soluções.

O Haiten (0,1%) e o Intec (0,05%) apresentaram os maiores valores de viscosidade com diferenças significativas para os demais surfatantes. Segundo Reichard e Zhu (1996), os adjuvantes que aumentam a viscosidade são adicionados às caldas para aumentar o DMV e, conseqüentemente, reduzir a deriva e muitos pesquisadores têm investigado os efeitos de sua adição.

Para a condutividade elétrica, todos os tratamentos apresentam valores maiores que a água destilada e deionizada utilizada para a confecção das soluções, apresentando diferenças significativas entre os surfatantes e concentrações. Os surfatantes Antideriva e Intec apresentaram valores semelhantes com aumento da condutividade elétrica em função da concentração. Entretanto, todos os valores obtidos para a condutividade elétrica foram baixos, não sendo possível encontrar estudos em revisão bibliográfica que possa fundamentar qualquer discussão sobre a eventual significância prática dessas diferenças, notadamente quanto à influência na eficiência da aplicação dos produtos fitossanitários.

Tabela 3 - Propriedades físicas e químicas das soluções aquosas dos surfatantes

Tratamentos ^{1/}	TS (mN m^{-1})	DS (g cm^{-3})	VS (mPa s)	CE (μS)
T1 - Água destilada	72,60 a	0,9998 a	0,9989 d	1,06 e
T2 - Antideriva 0,05%	33,82 b	0,9925 c	1,0416 b	10,61 c
T3 - Antideriva 0,10%	31,08 b	0,9925 c	1,0460 b	20,47 b
T4 - Haiten 0,10%	32,04 b	0,9974 b	1,0780 a	2,34 d
T5 - Intec 0,05%	32,70 b	0,9918 d	1,0740 a	10,67 c
T6 - Intec 0,10%	32,22 b	0,9913 d	1,0103 c	21,37 b

^{1/} A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor. TS - Tensão Superficial, DS - Densidade, VS - Viscosidade, CE - Condutividade Elétrica.

Os resultados das variáveis avaliadas no espectro de gotas estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que somente o Haiten (0,1%) proporcionou alteração significativa no DMV em comparação com água destilada. Em geral, o DMV é dependente da concentração dos surfatantes, ou seja, os surfatantes apresentaram tendência de reduzir os valores de DMV com o aumento da concentração na calda.

Para o V100, o surfatante Haiten 0,1% apresentou o menor valor (10,26%) com diferenças significativas para os demais tratamentos. Quanto ao V50 e a AR, os surfatantes não apresentaram diferenças significativas entre si. Para o V50, os valores apresentaram alta variabilidade, enquanto que AR indicou que os surfatantes se apresentaram semelhantes quanto ao grau de homogeneidade do espectro de gotas.

Tabela 4 - Propriedades físicas e químicas das soluções aquosas dos surfatantes e água destilada.

Tratamentos	DMV (μm)	V50 (%)	V100 (%)	AR
T1 - Água destilada	186,17 b	2,59 a	17,39 a	1,71 a
T4 - Antideriva 0,05%	191,28 b	2,23 a	16,20 a	1,67 a
T5 - Antideriva 0,1%	190,73 b	2,53 a	16,61 a	1,70 a
T7 - Haiten 0,1%	218,52 a	1,93 a	10,26 b	1,56 a
T8 - Intec 0,05%	199,10 b	2,09 a	15,16 a	1,64 a
T9 - Intec 0,1%	187,33 b	2,76 a	17,28 a	1,66 a

TS - Tensão Superficial, DS - Densidade, VS - Viscosidade, CE - Condutividade Elétrica.

O percentual de deriva total observada pelos adjuvantes, obtido da soma de depósitos de todos os oito fios coletores de dentro do túnel de vento, está apresentado na Figura 1. Em geral, os surfatantes apresentam uma tendência de aumento do percentual de deriva em relação a solução padrão (água destilada). Os surfatantes Haiten (0,1%) e Intec (0,05%) apresentaram os menores percentuais de deriva sem diferenças significativas entre si. Para o surfatante Intec o aumento da concentração (0,05% para 0,1%) proporcionou incremento significativo de 13,61% de potencial de deriva.

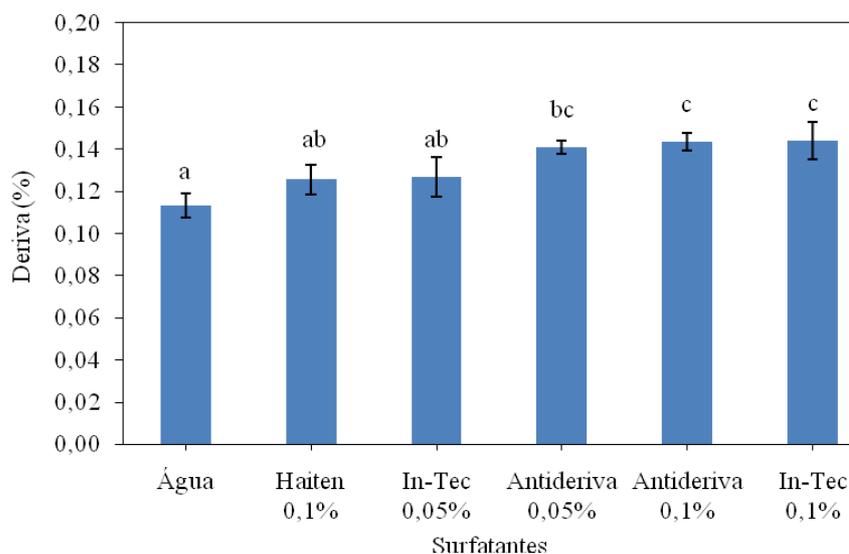


Figura 1 - Percentual de Deriva (médias \pm IC_{5%}) proporcionada pelos surfatantes em diferentes concentrações. As médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

As correlações significativas ($P < 0,05$) entre a deriva e as propriedades físicas e químicas das soluções com os surfatantes em diferentes concentrações estão apresentadas na Figura 2. As correlações foram positivas entre a deriva e o V50 ($r = 0,83$) e o V100 ($r = 0,65$). Relações inversas foram obtidas entre a deriva e a viscosidade ($r = -0,78$) e entre a deriva e o DMV ($r = -0,62$), indicando que soluções que apresentaram maiores valores de viscosidade e DMV proporcionaram menores percentuais de deriva.

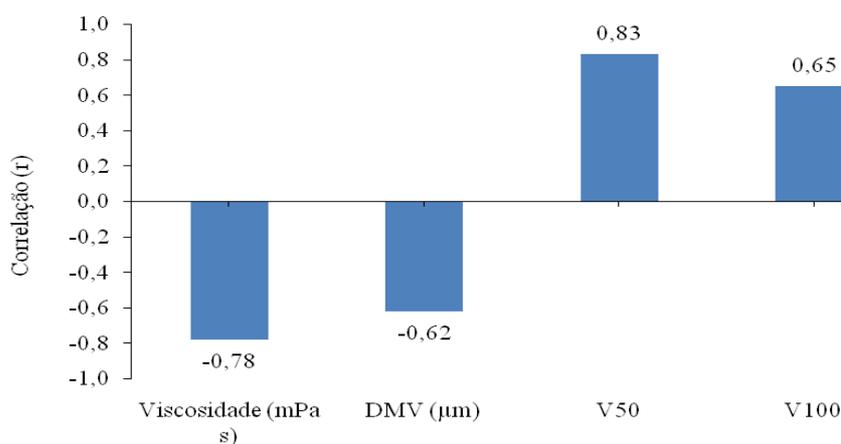


Figura 2 - Correlação entre a deriva e as variáveis significativas ($P < 0,05$) para o grupo de surfatantes.

A correlação entre a deriva e o DMV e entre a deriva e o V100 indicaram que quanto maior o DMV e menor o V100 menores serão os riscos de deriva na pulverização. Isso, na prática, mostra que o ajuste do tamanho de gotas é um fator extremamente importante na pulverização e que deve ser levado em consideração no momento da aplicação. Os resultados corroboram com Knoche (1994) em que a redução no tamanho das gotas tende a aumentar a deriva, necessitando alguns ajustes nos componentes dos equipamentos de aplicação (por exemplo, tipo de ponta e pressão de trabalho) para minimizar estes efeitos.

4 CONCLUSÕES

A adição de surfatantes alterou as propriedades físicas e químicas das soluções aquosas.

Os surfatantes modificaram o espectro de gotas e o potencial risco de deriva, indicando que quanto maior o DMV e menor o V100, menores foram os percentuais de deriva.

5 REFERÊNCIAS

ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja. **Boletim de pesquisa de Soja 2009**. Rondonópolis, v. 13, p. 299-317, 2009.

AZEVEDO, L. A. S. **Proteção integrada de plantas com fungicidas**. Campinas, SP: Emopi Gráfica, 2001.230 p.

BUTLER ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. **Crop Protection**, v.16, n.1, 1997.

CHORILLI M.; ZAGUE, V.; SCARPA, M. V.; LEONARDI, G. R. Influência da viscosidade do veículo na liberação in vitro da cafeína. **Revista Farmácia**. n.4. p.52-60, 2007.

COSTA, E. A. D. **Efeito de surfatantes sobre a tensão superficial de soluções de Rodeo**. 1997. 84 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas). FCA/Unesp, Botucatu, 1997.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.

DURIGAN, J. C. **Efeito de adjuvantes na aplicação e eficácia dos herbicidas**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 42 p.

HAZEN, J. L. Adjuvants: Terminology, Classification, and Chemistry. **Weed Technology**. v. 14. 773-784, 2000.

HEWITT, A. J.; HUDDLESTON, E. W.; SANDERSON, R.; ROSS, J. B. Effect of adjuvants and formulations on aerial spray drift potential. **Pesticide Science**, v.37, 209–211, 1993.

IOST, C. A. R. **Efeito de adjuvantes nas propriedades físico-químicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas**. 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - FCA/Unesp, Botucatu, 2008.

IOST, C.; RAETANO, C. G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatantes em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 30, n.4, p. 670-680, 2010.

KIRKWOOD, R. C. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. **Pesticide Science** v. 55, p. 69-77, 1999.

KIRK, I. W. Spray mix adjuvants for spray drift mitigation. **ASABE** Paper No. AA03-003. St. Joseph: ASABE, 2003.

KNOCHE, M. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage applied herbicides. **Crop Protection**, v.13, n. 3, p. 163-178, 1994.

LEFEBVRE, A. H. Basic processes in atomization. Atomization and Sprays. **Hemisphere Publishing Corporation**, USA, p.27-78. 1989.

MATUO, T.; NAKAMURA, S. H.; ALMEIDA, A. Efeito de alguns adjuvantes da pulverização nas propriedades físicas do líquido. **Summa Phytopathologica**, Jaguariuna, v.15, n.2, p.163-73, 1989.

MILLER, P.; WESTRA, P. How surfactants work. Bulletin #0.564, **Crop Series** Colorado State University Cooperative Extension, Crop Fact. 1998.

MILLER, P. C. H.; BUTLER ELLIS. M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protecion**. v.19, p. 609-615, 2000.

MOREIRA JÚNIOR, O. **Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas**. 2009. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia). FCA/Unesp, Botucatu, SP, 2009.

MOREIRA JÚNIOR, O.; ANTUNIASSI, U. R. Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas. **Revista Engenharia na Agricultura**. v.25, n.3, p.118-136. 2010.

REICHARD, D. L.; ZHU, H. A system to measure viscosities of spray mixtures at high shear rates. **Pesticide Science**, v.47, n.2, p. 137-143, 1996.

STAT SOFT Inc, **Programa Statistica for windows, versão 8.0**. Tulsa, EUA: Stat Soft, Inc, 2007. 1 CD-ROM.

STICKER, W. E. The importance of adjuvants to the agricultural chemical industry. In: FOY, Chester L.. **Adjuvants for Agrichemicals**. Boca Raton: Library of Congress, 1992. Cap. 37, p. 399-403, 1992.

STOCK, D.; BRIGGS, G. Physiochemical properties of adjuvants: values and applications. **Weed Technology**. Champaign, v.14, p. 798-806, 2000.

TANG, X.; DONG, J. A comparison of spreading behaviors of Silwet 1-77 on dry and wet lotus leaves. **Journal of Colloid and Interface Science**. v. 325, p.223-227, 2008.