

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DE ADJUVANTES EM SOLUÇÕES
AQUOSAS**

RONE BATISTA DE OLIVEIRA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Fevereiro - 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DE ADJUVANTES EM SOLUÇÕES
AQUOSAS**

**RONE BATISTA DE OLIVEIRA
ENGENHEIRO AGRÔNOMO**

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP
Fevereiro - 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Oliveira, Rone Batista de, 1977-
O48c Caracterização funcional de adjuvantes em soluções
 aquosas / Rone Batista de Oliveira. - Botucatu : [s.n.],
 2011
 ix, 122 f. : il., gráfs., tabs., fots. color.

 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-
 culdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011
 Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi
 Inclui bibliografia

 1. Tecnologia de aplicação. 2. Espectro de gotas. 3.
 Viscosidade. 4. Túnel de vento. 5. Deriva. I. Antuniassi,
 Ulisses Rocha. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio
 de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de
 Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DE ADJUVANTES EM SOLUÇÕES
AQUOSAS"

ALUNO: RONE BATISTA DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovado pela Comissão Examinadora



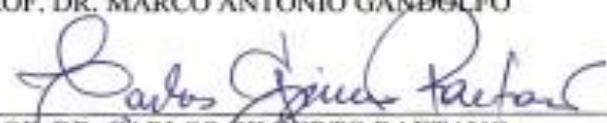
PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI



PROF. DR. OTAVIO JORGE GRIGOLI ABI SAAB



PROF. DR. MARCO ANTONIO GANDOLFO



PROF. DR. CARLOS GILBERTO RAETANO



PROF. DR. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Data da Realização: 07 de fevereiro de 2011.

A DEUS

Ao meu grande pai,
Benício Ferreira de Oliveira
À incansável mãe,
Creuza Batista de Oliveira

À minha noiva Alessandra, minha irmã Rosilei e
meu sobrinho Samuel que juntos SEMPRE me
incentivaram nesta jornada.

Ao meu amigo Carlos Alberto Martinelli de Souza (Sassá)
(In memoriam)

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, essência da vida, que iluminou o meu caminho rumo aos planos a mim determinados. Aos meus pais Benício e Creuza, pelo apoio, compreensão, simplicidade, sabedoria e ensinamentos concebidos ao longo da vida.

À minha namorada (NOIVA) Alessandra Fagioli, pela compreensão e companheirismo nesta fase da minha vida, principalmente pelos períodos de ausência (Várias viagens e Estados Unidos). A sua família (Sô Adão, Dona Balbina, Fagno e Sandro) pelo apoio.

À minha irmã Rosilei, pelo entusiasmo, constante incentivo, apoio e, principalmente, por sempre acreditar em mim. Obrigado a você e ao Sérgio, pelo “presente” - o Samuel.

Ao Prof. Julião e família, pela amizade e incentivo SEMPRE.

Ao descobrimento da tecnologia de aplicação por torna-se um novo rumo e entusiasmo na minha profissão.

Ao orientador prof. Ulisses Rocha Antuniassi pela amizade, ensinamentos, solidariedade, por ser atencioso, corretíssimo, super objetivo e multi-processador, porque ouvia minhas reclamações e buscava apoiar minhas loucas idéias neste trabalho (“minha insistência irritante em análises estatísticas”). De início não acreditava que as coisas se viabilizassem, e eu era muito otimista; ele tentava me direcionar e eu não aceitava. Mas, como “reclamar do orientador é de praxe” as coisas se acertaram. Acho que acostumou com meu jeito e passou a confiar mais em mim. No balanço final destes quatro anos (ufa!), um saldo muito positivo. Primeiro, os seus projetos (que não são poucos) e tudo que se desenvolveu a partir deles (Muito trabalho, aprendizado e profissionalismo). E eu só posso dizer que o admiro muito e vou sentir saudades. OBRIGADO por tudo, e principalmente, pelo incentivo e ajuda incondicional para ir para os Estados Unidos. Também agradeço a sua esposa (Luciara) por ser sempre muito atenciosa/prestativa e a Marina (sua filha de 4 anos) que sempre alegrou os vários jantares e churrascos em sua casa

A todos meus amigos em especial a Antônio Carlos Silva (“Gênio do laboratório”), Alisson, Anne, Rodolfo, Rafael, Marcella, Fernando, André, Alessandro, Beto, Orlando, Estelita, Laura, João Marcelo, Alaine, Martin, Zoraide, Ana Paula, Efrain, Wylson, José Luiz, Orlando, Sérgio e aos vizinhos Lucivane, Ednéia e Ricardo Fujihara.

Ao Programa de Pós-Graduação Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Rural (FCA-UNESP) e também a Universidade do Estado de Ohio pela oportunidade.

A todas as amizades conquistadas nos Estados Unidos em especial aos professores e pesquisadores Dr Ozkan, Dr Zhu e Dr Derksen.

Um carinho especial ao meu novo amigo Marcelo Júnior Gimenes pelo companherismo durante o período que passamos nos Estados Unidos e ainda pela sua família (Dona Maria, Sô João e seu irmão João).

Aos professores Kléber Pereira Lanças, Marco Antônio Biagionni, Marco Antônio Gandolfo, Otávio Abi Saab, Paulo Arbex Silva, Sérgio Hugo Benez, Wellington Pereira de Carvalho, Célia Regina Zimback, Paulo Milton Barbosa Landim, Marcelo Ferreira e Carlos Gilberto Raetano pelos ensinamentos.

Aos demais professores da FCA/UNESP, pelos ensinamentos transmitidos durante a Pós-Graduação.

À Seção de Pós-Graduação da FCA, pela compreensão e profissionalismo.

A todos os funcionários da Biblioteca, em especial a Denise, Joel, Janaína e Célia.

A todas as famílias e pessoas que me acolheram em Botucatu, em especial a Família de Dona Fani e Sô Waldir; Estelita e Dona Maristela e Antônio Carlos Silva e Dona Marilu.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos amigos da FEPAF, pela atenção e apoio

Enfim, por sugestão do prof. Ulisses, simplifiquei, reduzi e estou chegando ao fim. Se fosse recomeçar, faria muita coisa diferente, o que prova o quanto aprendi no processo. Nestas páginas tem menos do que eu gostaria, mas tese... é só tese.

Sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para a conquista deste título.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

OFERECIMENTO	II
AGRADECIMENTO	III
SUMÁRIO	V
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1 Adjuvantes	7
4.1.1 Adjuvantes Ativadores	9
4.1.2 Adjuvantes úteis	15
4.2 Espectro de gotas	22
4.3 Deriva... ..	25
4.4 Túnel de Vento	27
5 MATERIAL E MÉTODOS	32
5.1 Avaliação das propriedades físicas e químicas	34
5.2 Análise do espectro de gotas	35
5.3 Ensaios em túnel de vento	36
5.4 Delineamento estatístico	40
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1 Estudo dos adjuvantes por grupo	64
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS: CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL DE ADJUVANTES ...	104
8 CONCLUSÕES	108
9 REFERÊNCIAS	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos adjuvantes utilizados no experimento, conforme observada nas bulas e rótulos dos produtos.....	33
Tabela 2. Tratamentos constituídos pelos diferentes adjuvantes e concentrações	41
Tabela 3. Correlação entre as variáveis físicas das caldas com as variáveis da análise de espectro de gotas para todos os tratamentos.....	59
Tabela 4. Correlação entre as variáveis físicas das caldas e as variáveis da análise de espectro de gotas para os grupos de surfatantes: 1 (Haiten, In-Tec e Antideriva) e 2 (Silwet, Agral e TA35)	65
Tabela 5. Correlação entre as variáveis físicas das caldas com as variáveis da análise de espectro de gotas para os adjuvantes do grupo Redutores de Deriva.....	76
Tabela 6. Correlação entre as variáveis físicas das caldas com variáveis da análise de espectro de gotas para os óleos minerais (Joint Oil 1% e Nimbus 0,5% e 1%).....	84
Tabela 7. Correlação entre as variáveis físicas das caldas com variáveis da análise de espectro de gotas para os óleos vegetais (Agrex Oil 10%, Veget Oil 1% e Agr'óleo 5%)	89
Tabela 8. Análise comparativa entre a função indicada no rótulo ou nas bulas e os resultados encontrados para os adjuvantes do grupo dos Surfatantes quando comparados com a água	99
Tabela 9. Análise comparativa entre a função indicada no rótulo e os resultados encontrados para os adjuvantes do grupo dos Redutores de Deriva quando comparados com a água.....	101
Tabela 10. Análise comparativa entre a função indicada no rótulo e os resultados encontrados para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais quando comparados com a água.....	102
Tabela 11. Análise comparativa entre a função indicada no rótulo e os resultados encontrados para os adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais quando comparados com água.....	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo da estrutura molecular dos surfactantes aniônicos.....	10
Figura 2. Exemplo da estrutura molecular de um típico surfatante catiônico.	11
Figura 3. Exemplo das estruturas moleculares dos principais surfatantes não iônicos.	12
Figura 4. Exemplo da estrutura molecular dos surfatantes anfóteros.....	12
Figura 5. Vista parcial dos coletores dentro do túnel de vento (a), sistema de acionamento da pulverização (b) e tanque de aço inox para o armazenamento e pressurização da calda (c).....	38
Figura 6. Desenho com vista superior e lateral do túnel de vento e principais componentes. ...	39
Figura 7. Valores de Tensão Superficial (médias \pm IC _{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações.....	44
Figura 8. Valores de Condutividade Elétrica (médias \pm IC _{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações.....	45
Figura 9. Valores de Densidade (médias \pm IC _{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações.	47
Figura 10. Valores de viscosidade (médias \pm IC _{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações.....	48
Figura 11. Valores de DMV (médias \pm IC _{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).....	50
Figura 12. Valores de V50 (médias \pm IC _{5%}) dos diferentes adjuvantes (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).....	52
Figura 13. Valores de V100 (médias \pm IC _{5%}) dos diferentes adjuvantes (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).....	53
Figura 14. Valores de DV _{0,1} (médias \pm IC _{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).....	55
Figura 15. Valores de Amplitude Relativa (médias \pm IC _{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).....	56

Figura 16. Percentual de Deriva (médias \pm IC _{5%}) proporcionada pelos adjuvantes em diferentes concentrações.....	58
Figura 17. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das variáveis e a contribuição dentro dos fatores para os adjuvantes em diferentes concentrações.....	60
Figura 18. Correlação entre a deriva (%) e o DMV (μ m) para os diferentes adjuvantes e concentrações.....	61
Figura 19. Correlação entre a deriva (%) e o V100 para os diferentes adjuvantes e concentrações.....	62
Figura 20. Correlação da deriva (%) com as variáveis físicas significativas (P<0,05), para todos os diferentes adjuvantes e concentrações.....	63
Figura 21. Representação gráfica das relações entre as variáveis físicas e as variáveis do espectro de gotas e as interações com os tratamentos.	64
Figura 22. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis significativas e a contribuição de cada variável dentro dos fatores para os adjuvantes surfatantes do grupo 1 (Haiten, In-Tec e Antideriva).....	66
Figura 23. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis significativas e a contribuição de cada variável dentro dos fatores para os adjuvantes surfatantes do grupo 2 (Silwet, Agral e TA35).	67
Figura 24. Percentual de Deriva (médias \pm IC _{5%}) proporcionada pelos surfatantes em diferentes concentrações.....	68
Figura 25. Percentual de deriva para os diferentes surfatantes em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.....	69
Figura 26. Correlação entre a deriva (%) e o DMV (μ m) para o grupo 1 (Haiten, In-Tec e Antideriva) e grupo 2 (Silwet, Agral e TA35) dos surfatantes.....	70
Figura 27. Correlação entre a deriva (%) e o V100 para o grupo 1 (Haiten, In-Tec e Antideriva) e grupo 2 (Silwet, Agral e TA35) dos surfatantes.....	71
Figura 28. Correlação entre a deriva e as variáveis significativas (P<0,05) para os surfatantes do Grupo 1.....	72
Figura 29. Correlação entre a deriva e as variáveis significativas (P<0,05) para os surfatantes do Grupo 2.....	73

Figura 30. Representação gráfica das relações entre as variáveis físicas, químicas e espectro de gotas e as interações com os adjuvantes do grupo 1 dos surfatantes.....	74
Figura 31. Representação gráfica das relações entre as variáveis físicas das soluções e as interações com os adjuvantes do grupo 2 dos surfatantes.	75
Figura 32. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis significativas e a contribuição de cada variável dentro dos fatores para os adjuvantes Redutores de Deriva.	77
Figura 33. Percentual de Deriva (médias \pm IC _{5%}) proporcionada pelos adjuvantes do grupo Redutores de Deriva.	78
Figura 34. Deriva (%) proporcionada pelo grupo de adjuvantes Redutores de Deriva em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.	79
Figura 35. Correlação entre a deriva (%) e o DMV (μ m) para os adjuvantes do grupo dos Redutores de deriva.	80
Figura 36. Correlação entre a deriva (%) e o V100 para os adjuvantes do grupo dos Redutores de Deriva.....	81
Figura 37. Correlação entre a deriva (%) e variáveis físicas e do espectro de gotas significativas ($P < 0,05$) para os adjuvantes do grupo Redutores de deriva.	82
Figura 38. Representação gráfica das relações entre a deriva, as variáveis físicas e as interações com os adjuvantes do grupo Redutores de Deriva.	83
Figura 39. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.....	84
Figura 40. Percentual de Deriva (médias \pm IC _{5%}) proporcionada pelos adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.	85
Figura 41. Percentual de deriva proporcionada pelo grupo de adjuvantes Óleos Minerais em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.	86
Figura 42. Correlação da Deriva (%) com as variáveis significativas ($P < 0,05$) para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.....	87
Figura 43. Representação gráfica das relações entre as variáveis físicas e as interações com os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.....	88
Figura 44. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.....	90

Figura 45. Percentual de Deriva (médias \pm IC _{5%}) proporcionada pelos adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais.	91
Figura 46. Percentual de deriva proporcionada pelos adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.	92
Figura 47. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis e a contribuição dentro dos fatores para os adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais.	93
Figura 48. Percentual de deriva para os grupos de adjuvantes em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.	94
Figura 49. Porcentagens de Deriva (médias \pm IC _{5%}) proporcionada pelos diferentes grupos de adjuvantes.	95
Figura 50. Correlação entre a deriva (%) e o DMV para os diferentes grupos de adjuvantes. .	96
Figura 51. Correlação entre a Deriva (%) e o V100 para os diferentes grupos de adjuvantes. .	97

1 RESUMO

A alta demanda por agrotóxicos pelos sistemas de produção agrícola, aliada ao possível uso inadequado desses produtos, torna a deriva um dos maiores problemas potenciais da agricultura atual, e a escolha correta de adjuvantes pode ser uma das alternativas para minimizar os impactos negativos causados pela deriva nas pulverizações. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito proporcionado por diferentes grupos de adjuvantes nas propriedades físicas e químicas das soluções, no espectro de gotas, bem como no potencial do risco de deriva quantificado em túnel de vento, como forma de auxiliar na escolha correta desses produtos para melhor utilização nas aplicações de agrotóxicos. Foram selecionados 18 adjuvantes comumente utilizados em misturas com agrotóxicos em pulverizações agrícolas, avaliando-se as propriedades físicas e químicas dos mesmos em soluções aquosas (viscosidade, densidade, tensão superficial e condutividade elétrica), o espectro de gotas e o potencial de deriva medido em túnel de vento. O experimento foi composto de 33 tratamentos, tendo a água como testemunha adicional, resultantes da diluição dos adjuvantes em diferentes concentrações, com três repetições. Para os ensaios em túnel de vento e análise de espectro de gotas foi utilizada uma ponta de pulverização XR8003 VK na

pressão de 200 kPa, gerando um padrão de gotas médias. A deriva foi coletada no túnel de vento com fluxo de ar na velocidade de 2 m s^{-1} . O corante Azul Brilhante a 0,6% (m v^{-1}) foi utilizado como marcador para todas as soluções pulverizadas visando a quantificação da deriva por espectrofotometria. Os resultados mostraram que a adição de adjuvantes alterou as propriedades físicas e químicas das soluções aquosas em diferentes magnitudes, dependendo da concentração utilizada. Os surfatantes organossilicones (Silwet 0,1% e 0,2% e BreakThru 0,1%) proporcionaram maior redução na tensão superficial, enquanto que o adjuvante redutor de deriva a base de polímeros (Define, nas concentrações de 0,06% e 0,12% m v^{-1}) proporcionou maior aumento nos valores de viscosidade e densidade das soluções. Determinou-se alta correlação entre o Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) e o percentual de gotas menores do que $100 \mu\text{m}$ (V100), especialmente para os adjuvantes Define, Nimbus e LI700. Diferenças no espectro de gotas e no percentual de deriva foram observadas para todos os tratamentos, sendo que os adjuvantes Define (0,06% e 0,12%), Nimbus (0,5% e 1%) e LI700 (0,5% e 1%) apresentaram os maiores valores de DMV, menores valores de V100 e menor percentual de deriva, enquanto os adjuvantes Antideriva e In-Tec proporcionaram o maior percentual de deriva, independente da concentração utilizada. A maioria dos adjuvantes é posicionada como espalhantes, estando de acordo com os resultados encontrados, ou seja, todos reduziram em algum grau a tensão superficial quando comparados com a água. Pode-se concluir que para muitos dos adjuvantes existe uma considerável distância entre o descrito na especificação técnica (rótulo) ou no posicionamento dos fabricantes e as reais funções observadas nos ensaios realizados neste trabalho. As propriedades avaliadas e suas respectivas metodologias de determinação apresentam potencial de aplicação na escolha, classificação e registros de adjuvantes.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação, espectro de gotas, viscosidade, túnel de vento, deriva.

FUNCTIONAL CHARACTERIZATION OF ADJUVANTS IN AQUEOUS SOLUTIONS

Botucatu, 2011. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RONE BATISTA DE OLIVEIRA

Adviser: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

2 SUMMARY

Due to the high demand for pesticide by the agricultural systems and the possible inadequate use of the products, drift became one of the biggest concerns of the modern agriculture, and the correct use of adjuvants may be one of the possible alternatives to minimize the negative impact of spray operations. This study was developed to evaluate the effect of different adjuvants on physical and chemical properties of spray solutions, droplets spectra as well as drift potential measured in wind tunnel, aiming the correct choice of adjuvants to improve efficiency in pesticide application. For this purpose 18 commercially available agricultural spray adjuvants were selected including products usually mixed up with pesticides in the sprayer tank. The evaluation included physical and chemical properties of spray solutions (viscosity, density, surface tension and electric conductivity), droplets spectra and drift risk potential measured in wind tunnel. The experiment was set up with 33 treatments (solutions) obtained from 18 adjuvants used in different concentrations with 3 replications, including pure water as a standard. For wind tunnel tests and droplet spectra analysis it was used a Teejet XR8003 flat fan nozzles at 200 kPa (medium droplets) and all solutions were mixed up with a food color dye (Blue FDC) at 0,6% m v^{-1} for spectrophotometry analysis of drift deposits on the wind tunnel. The results showed that the addition of adjuvants changed physical and chemical properties of spray solutions in different magnitudes according to the product concentration. The organosilicon surfactants (Silwet 0.1% e 0.2% and BreakThru 0,1%) had the lowest values for surface tension, while the drift retardant based polymers (Define 0,06% e 0,12%) had the highest values for viscosity and density. There was high correlation between the Volume Median Diameter (VMD) and percentage of droplets smaller than 100 μm (V100)

for all adjuvants, especially for Define, Nimbus and LI700. Differences were observed in the droplet size spectra and the relative drift potential for all treatments, as Define (0.06% and 0.12%), Nimbus (0.5% and 1%) and LI700 (0.5% and 1%) showed higher values of VMD and V100 and lower spray drift, while the Antideriva and In-Tec provided the higher drift potential regardless concentration. Most of the adjuvants are marketed as surfactants and that characteristic is in accordance with the basic findings of this work since all of them reduced surface tension compared to water. It was possible to conclude that for a certain number of adjuvants there is a big step between label information and the actual functions determined by the results of this research. The properties evaluated and their methods of determination have potential application in the selection, classification and registration of adjuvants.

Key-words: Application technology, droplet size, viscosity, wind tunnel, drift.

3 INTRODUÇÃO

A alta demanda por agrotóxicos pelos sistemas de produção agrícola aliada ao possível uso inadequado desses produtos torna a deriva um dos maiores problemas potenciais da agricultura atual, ocasionando riscos a saúde humana e impactos negativos ao ambiente, além de aumentar os custos de produção e reduzir os lucros dos agricultores.

A deriva é definida como a quantidade de agrotóxicos utilizados para proteção das plantas que são desviados para fora do alvo por correntes de ar no momento das aplicações. Portanto, a deriva é afetada por vários fatores, entre eles, destacam-se: as condições climáticas no momento das aplicações, a tecnologia de aplicação utilizada, as características do ambiente e as características físicas e químicas do líquido aplicado (MILLER, 1993; OZKAN, 2001; MILLER, 2004).

A utilização de adjuvantes na recomendação agrônômica tem conquistado espaço nas operações de pulverização visando proporcionar melhorias na eficiência e no desempenho dos agrotóxicos, reduzindo a deriva e, conseqüentemente causando menor impacto ambiental e aos operadores.

Os adjuvantes são um grande e heterogêneo grupo de substâncias químicas que quando combinados com os agrotóxicos melhoram direta e indiretamente o seu desempenho. Atualmente são importantes para produção, aplicação e comercialização dos agrotóxicos, especialmente por atenderem a condições ambientais variadas e por terem sido recomendados por agências de proteção ambiental dos Estados Unidos.

Várias medidas têm sido relatadas buscando minimizar o impacto da deriva nas aplicações, popularizando entre elas a adição de adjuvantes às caldas de pulverizações. A escolha do adjuvante com funções desejáveis pode contribuir para a redução da deriva, bem como permitir maior segurança e qualidade nas aplicações em condições operacionais e ambientes menos favoráveis. Pesquisas sobre os adjuvantes são crescentes em virtude de surgimento de novos produtos. Entretanto, ainda são escassos no Brasil estudos em túnel de vento para avaliação da eficiência dos adjuvantes aqui comercializados visando a redução de deriva nas aplicações.

Para melhor entendimento das funções dos adjuvantes comercializados no Brasil, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito proporcionado por diferentes grupos de adjuvantes nas propriedades físicas e químicas de soluções aquosas, no espectro de gotas, bem como no potencial risco de deriva quantificado em túnel de vento, como forma de auxiliar na escolha correta de adjuvantes para melhor utilização nas aplicações de agrotóxicos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Adjuvantes

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

A formulação de agrotóxicos contém o ingrediente ativo e outros componentes químicos, incluindo os adjuvantes que são adicionados para aumentar a eficiência e ação na aplicação de fertilizantes e agrotóxicos para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas (BUTLER ELLIS et al., 1997).

A história de adjuvantes agrícolas tem sido relatada desde o início dos séculos 18 e 19 quando aditivos como, resinas de pinheiro, farinha de trigo, melão e açúcar foram utilizadas com cal, enxofre, cobre, e arseniatos para melhorar a atividade biológica por meio das modificações físicas e químicas das caldas (GREEN; BEESTMAN, 2007).

Fundamentalmente, o objetivo da utilização de adjuvantes tem permanecido o mesmo. Alguns fabricantes de agrotóxicos incluem em suas etiquetas de

recomendações de uso, a adição de adjuvantes com o objetivo de aumentar a atividade biológica do ingrediente ativo, controlar potenciais riscos de deriva, melhorar a segurança da aplicação, diminuir a exposição do trabalhador ou a contaminação do ambiente, melhorar economicamente a aplicação, dando maior eficiência aos tratamentos iniciais e diminuir os tratamentos seqüenciais ou permitir menor quantidade do ingrediente ativo na futura aplicação (UNDERWOOD, 2000).

O modo de ação de adjuvantes pode ser complexo e, em combinação com fungicidas, não somente pode resultar em melhoria para a deposição como para o controle de patógenos (ABBOTT et al., 1990; STOCK; BRIGGS, 2000). Um dos fatores que pode influenciar a eficiência dos produtos é o volume de adjuvante. McMullan (1993) observou maior eficiência do herbicida com o aumento da concentração do adjuvante na calda de pulverização, bem como a retenção do herbicida. Sua influência na deposição, retenção, translocação ou atividade biológica pode ser totalmente diferente conforme o alvo e espécie.

A formação de uma gota é resultado da interação entre a ponta e o líquido de pulverização sendo, o desempenho da ponta susceptível a ser fortemente afetada pelas propriedades dos líquidos e pela adição de adjuvantes (DE RUITER, 2002).

A aplicação de agrotóxicos líquidos é afetada por muitas variáveis, incluindo a estabilidade do agrotóxico, solubilidade, incompatibilidade, volatilização, formação de espumas, tensão superficial, viscosidade, densidade, tamanho de gotas, deriva, cobertura, aderência, penetração, entre outras. Os adjuvantes são o ponto chave para o controle destas variáveis que quando controladas muitos problemas das aplicações de agrotóxicos serão minimizados ou eliminados e melhores serão os resultados da aplicação (STICKER, 1992; HOCK, 2004).

Os adjuvantes podem ser designados para desempenhar específicas funções, incluindo tamponantes, dispersantes, emulsificantes, molhantes, adesivos e espalhantes. Também pode reduzir a evaporação, espuma, volatilização e deriva. Um simples adjuvante não pode desempenhar todas estas funções, mas diferentes adjuvantes compatíveis frequentemente são combinados para desempenhar múltiplas funções simultaneamente (TU; RANDALL, 2003; STOCK, 2000).

Os adjuvantes são classificados em dois grupos: Adjuvantes ativadores e adjuvantes úteis ou com propósitos especiais (VAN VALKENBURG, 1982; STICKER, 1992; HAZEN, 2000; McMULLAN, 2000; STOCK; BRIGGS 2000; TU; RANDALL, 2003).

4.1.1 Adjuvantes Ativadores

Os adjuvantes ativadores são aqueles que têm como principal objetivo melhorar diretamente a atividade do agrotóxico, principalmente aumentando a taxa de absorção, e, como resultado, maior eficiência (PENNER, 2000). Os adjuvantes ativadores incluem os surfatantes, óleos vegetais, óleos de sementes metilados, óleos minerais, derivados de silicones e, bem como fertilizantes nitrogenados. Algumas misturas de formulações de herbicidas são inclusos como adjuvantes ativadores, por exemplo, Roundup Ultra[®] que contém o herbicida glifosato e um surfatante e Pathfinder II[®] o qual contém o herbicida triclopyr e um óleo o qual é um ativador.

Dentre os adjuvantes ativadores, 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 no tanque de mistura, bem como reduzem a tensão superficial da água (KIRKWOOD et al., 1999). Existem antigos estudos de que alguns surfatantes aumentam a permeabilidade da cutícula foliar e membrana plasmática (HAAPALA, 1970; PARR et al., 1965). A melhoria da atividade dos herbicidas é, entretanto, acreditada por ser resultado do surfatante que induz um desarranjo normal das células reguladoras da permeabilidade. Eles têm a capacidade de reduzir a tensão superficial da gota, o que diminui o ângulo de contato entre as gotas e a cera cuticular da folha, proporcionando maior molhamento e espalhamento sobre a superfície alvo (HESS; FOY, 2000; WAGNER et al., 2003).

Segundo Tu e Randall (2003), os surfatantes atuam melhorando o contato entre as gotas e a superfícies e aumentam a taxa de absorção por meio de cinco fatores: 1 - Exerce um espalhamento mais uniforme da solução sobre as folhas da planta; 2 - aumenta a retenção das gotas sobre as folhas da planta; 3 - aumenta a penetração por meio de tricomas e outras estruturas foliares; 4 - previne a cristalização dos depósitos pulverizados; e,

5 - reduz a evaporação, aumentando o tempo de retenção da pulverização. A eficiência dos surfatantes é determinada pelas condições ambientais, características do alvo e a interação entre o surfatante e o agrotóxico utilizado. Os surfatantes são classificados de acordo com a forma de ionização ou dissociação na água. Quando se ionizam positivamente são denominados de catiônicos, negativamente aniônicos, quando não se ionizam denominados de não iônicos e com ambas as cargas (positivas e negativas) são denominados de anfóteros. Um agrotóxico na presença de um surfatante não iônico apresenta atividade totalmente diferente quando na presença de um surfatante catiônico ou aniônico. Segundo Hock (2004), a seleção errada de um surfatante pode reduzir a eficiência do ingrediente ativo do agrotóxico e aumentar o risco de toxidez na planta.

Os surfatantes aniônicos são mais eficientes quando utilizados com agrotóxicos de contato. É um agente de superfície ativa na qual a porção ativa da molécula contém um segmento lipofílico formando exclusivamente um íon negativo (anion) quando colocado em solução aquosa (Figura 1).

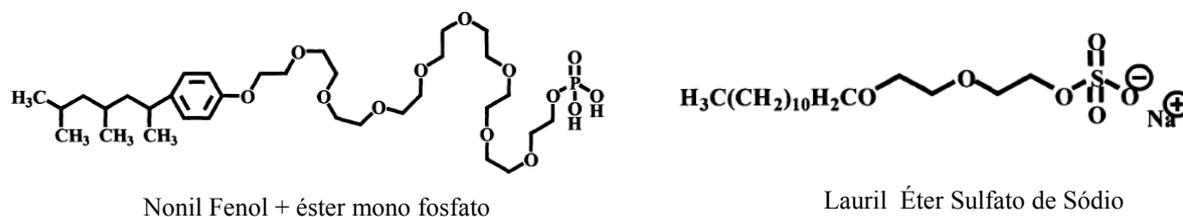
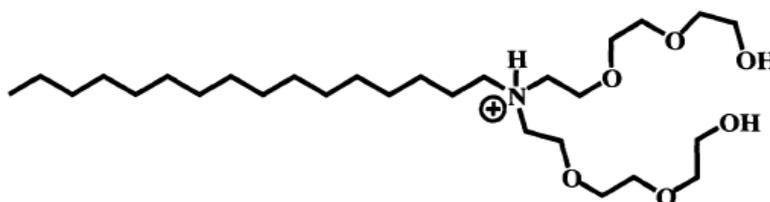


Figura 1. Exemplo da estrutura molecular dos surfactantes aniônicos.

Fonte: Hazen (2000).

Segundo Hazen (2000), os surfatantes catiônicos não podem ser utilizados sozinhos por que usualmente causam fitotoxidez às plantas, possuem fraco poder detergente e precipitam na presença de sais. É um agente de superfície ativa na qual a porção ativa da molécula contém um segmento lipofílico formando exclusivamente um íon positivo (cátion) quando colocado em solução aquosa (Figura 2).



Típico etoxilado de amina graxo

Figura 2. Exemplo da estrutura molecular de um típico surfatante catiônico.

Fonte: Hazen (2000).

Os surfatantes não iônicos são mais utilizados com agrotóxicos sistêmicos, auxiliando na penetração do ingrediente ativo nas cutículas das folhas e também são biodegradáveis e compatíveis com muitos fertilizantes foliares. Alguns surfatantes não iônicos são ceras sólidas e requerem a adição de um solvente, geralmente, utilizam álcool ou glicol para solubilização dentro dos líquidos. Os glicóis são geralmente preferidos sobre os alcoóis porque os alcoóis são inflamáveis, evaporam rápido e aumentam o número de gotas finas propensas a deriva quando pulverizado (HAZEN, 2000).

Os organossilicones fazem parte do grupo de surfatantes não iônicos. O potencial do uso de surfatantes organossilicone com herbicidas foi relatado em 1973 por Jansen, que estudou o potencial dos adjuvantes organossilicone no aumento da atividade dos herbicidas (STEVENS et al., 1992). Além disso, esses adjuvantes têm contribuído para reduzir o efeito da chuva após aplicação (*rainfastness*), ou seja, reduz o período mínimo necessário sem chuva para que o herbicida não tenha sua ação comprometida. Segundo Antuniassi et al. (2010), a ocorrência de chuva após a aplicação de herbicidas é um dos fatores determinantes para a caracterização do desempenho no controle de plantas daninhas. Também os organossilicones têm demonstrado características superiores para o molhamento e penetração nas folhas via estômatos (NEUMANN; PRINZ, 1974, STEVENS, 1994). Eles têm sido amplamente utilizados com os herbicidas e com menos frequência com reguladores de crescimento, nutrientes foliares e inseticidas (STEVENS, 1994). Devido estas propriedades, de melhorar a absorção do ingrediente ativo nas plantas, ele pode ser considerado como um adjuvante ativador (VAN VALKENBURG, 1992).

As estruturas moleculares dos surfatantes não iônicos mostram que são agentes de superfície ativa e que tem uma parte polar não ionizável no final do grupo, porém composta de segmentos hidrofílicos e lipofílicos (Figura 3).

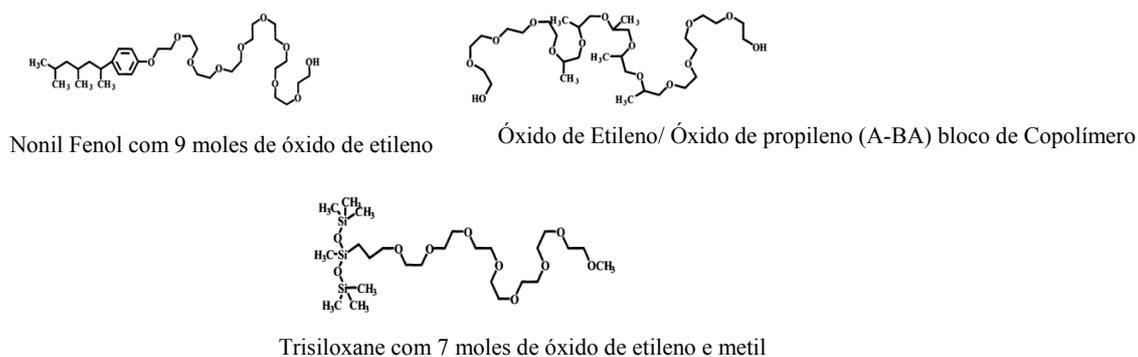
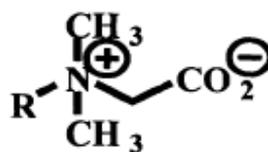


Figura 3. Exemplo das estruturas moleculares dos principais surfatantes não iônicos.

Fonte: Hazen (2000).

Os surfatantes anfóteros contém ambas as cargas positivas e negativas e funcionam similar aos não iônicos. O mais comum surfatante anfótero utilizado é a lecitina (fosfatidilcolina), a qual é deriva do grão de soja (TU; RANDALL, 2003). São agentes de superfície ativa capazes de formar em solução aquosas ambas as superfícies aniônicas e catiônicas, dependendo do pH (Figura 4).



Típico Alquil Betaina

Figura 4. Exemplo da estrutura molecular dos surfatantes anfóteros.

Fonte: Hazen (2000).

Algumas formulações de herbicidas já vêm com surfatantes adicionados, porém a maioria requer a adição visando melhor resultado no controle (MILLER; WESTRA, 1998).

Os mais antigos produtos na categoria de penetrantes são os óleos minerais e os óleos derivados dos vegetais (MANTHEY et al., 1989). Os óleos vegetais são extraídos de sementes de algodão, soja, girassol, canola e colza e os óleos minerais são derivados do petróleo (petróleo bruto extraído das refinarias). Segundo Antuniassi (2009), a utilização de óleos nas caldas tem como função principal de melhorar a penetração e adesão dos defensivos nas folhas.

As principais categorias dos óleos derivados de minerais e vegetais são: óleo mineral concentrado, óleo mineral emulsionável, óleo vegetal concentrado, óleo vegetal modificado e óleo vegetal modificado concentrado. O óleo mineral concentrado é definido como um produto baseado em óleo mineral emulsionável com 5 a 20% de surfatante e um mínimo de 80% de óleo mineral altamente refinado. O óleo mineral emulsionável é um produto baseado em óleo mineral emulsionável contendo até 5% de surfatante e o restante de óleo mineral altamente refinado. O óleo vegetal concentrado é um óleo vegetal emulsionável contendo 5 a 20% de surfatante e um mínimo de 80% de óleo vegetal. O óleo vegetal modificado é um óleo extraído de semente que foi quimicamente modificado (por exemplo, ésteres metilados ou etilados). O óleo vegetal concentrado modificado é um emulsionável, óleo vegetal modificado quimicamente contendo 5 a 20% de surfatante e o restante de óleo vegetal modificado (TU; RANDALL, 2003). Segundo Pringnitz (1998), os óleos emulsionáveis podem melhorar a absorção da solução óleo-herbicida mais que o óleo sozinho devido a formação de uma emulsão, bem como na redução da tensão superficial da solução.

Segundo Miller e Westra (1998), os óleos vegetais são derivados da soja ou algodão, também reduzem a tensão superficial, mas eles não são tão eficientes quanto aos outros surfatantes no aumento do molhamento, adesão e penetração. Eles são geralmente divididos em dois tipos: óleos triglicerídeos e óleos metilados. Os óleos triglicerídeos são essencialmente uma mistura de óleo e surfatante e geralmente são chamados de óleos de sementes por serem extraídos das plantas por pressão ou solventes e tem uma tendência de alta viscosidade em comparação aos óleos metilados. Os óleos triglicerídeos usualmente contêm somente de 5 a 7% de surfatante emulsificante enquanto o óleo metilado contém 10 a 20% de surfatante. Óleos esterificados de sementes são óleos vegetais de sementes com surfatantes ou emulsificante já adicionado que apresentam propriedades de molhamento e penetração, porém tendem a ser mais caros que os óleos adjuvantes comuns. Segundo

Nalewaja (1994), a composição do óleo é diversificada e dependendo da fonte pode influenciar totalmente a sua eficiência.

Os adjuvantes com funções de adesivantes têm maior propagação e biodisponibilidade dos ingredientes ativos, alterando a cera das cutículas das plantas, ou outros componentes da área alvo, permitindo maior molhabilidade, especialmente para os fungicidas de contato (PENNER, 2000). Os óleos minerais e vegetais possuem amplo espectro de uso, sendo utilizados isoladamente tanto no controle de insetos e fungos, quanto como adjuvantes adicionados às caldas de pulverizações (MENDONÇA et al., 2007).

Trabalhos realizados por Sanderson et al. (1997) mostram que a adição de óleo vegetal à calda de pulverização aumentou o diâmetro das gotas. Comparando os diâmetros característicos dos bicos padrões (*standard*), com e sem adição de óleo, notou-se aumento dos valores com o uso do óleo em todas as pressões estudadas. Também observaram que as porcentagens de gotas com diâmetro inferior a 100, 150 e 200 μm diminuíram, demonstrando também o potencial do óleo na redução da deriva. Os autores concluíram que na avaliação do efeito do óleo de soja como adjuvante no espectro de gotas, ocorreu um aumento do diâmetro de gotas com o acréscimo de óleo à calda de pulverização, aumento da tensão superficial e viscosidade dificultando sua desintegração em gotas pelo bico de pulverização.

Os fertilizantes a base de amônio ou nitrogênio são frequentemente adicionados aos herbicidas e apresentam a função de adjuvantes ativadores porque auxiliam na prevenção de formação de precipitados no tanque de mistura ou sobre a superfície das folhas. Eles também reduzem a tensão superficial, aumentando o espalhamento do herbicida sobre as folhas, neutraliza as cargas iônicas e aumenta a penetração do herbicida dentro das folhas. Os fertilizantes amônios usados como adjuvantes incluem a uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e polifosfato de amônio. A atividade de fertilizantes amônios é função da interação herbicida e espécies específicas e, provavelmente, dependem de vários mecanismos. Os sulfatos de amônio são também usados para reduzir o antagonismo de metais pesados na água da solução pulverizada. Alguns íons, ferro, zinco, magnésio, sódio, potássio e cálcio podem reagir com certos herbicidas formando precipitados e reduzindo a eficiência do herbicida (NALEWAJA, 1994).

4.1.2 Adjuvantes úteis

Os adjuvantes denominados úteis são adjuvantes adicionados ao tanque de mistura da pulverização, atuando como facilitadores do processo de pulverização por meio da redução dos efeitos negativos da pulverização e não influenciam diretamente na eficiência do agrotóxico (McMULLAN, 2000). Os adjuvantes úteis incluem os agentes compatibilizantes, depositantes, dispersantes, controladores de deriva ou retardantes, espumantes, condicionadores da água, acidificantes, tamponantes, umectantes, protetores de raios ultravioletas e corantes (marcadores).

O agente compatibilizante é definido pela ASTM (Sociedade Americana de Testes de Materiais) como um material de superfície ativa que permite aplicação simultânea de fertilizantes líquidos e agrotóxicos ou mais que uma formulação de agrotóxico com uma uniformidade no tanque ou melhora a homogeneidade no tanque e uniformidade da aplicação (ASTM, 1995). Os agrotóxicos podem reagir química e fisicamente entre si e formar uma mistura não homogênea (McMULLAN, 2000). Estes produtos reduzem a tensão interfacial entre dois líquidos imiscíveis, proporcionando a formação de uma emulsão de um líquido em outro, como por exemplo, óleo em água por meio da combinação de grupos polares com apolares (FLECK, 1993).

Os agentes condicionadores são produtos que ampliam a gama de situações sob as quais se pode utilizar uma formulação. Agentes de compatibilidade permitem aplicação simultânea de dois ou mais agrotóxicos. Eles são freqüentemente usados quando se aplicam uma mistura de herbicida com fertilizantes químicos. A menos que o rótulo de um defensivo agrícola não recomende a mistura, um agente de compatibilidade deve ser incluído (CURRAN et al. 1999; TU; RANDAL, 2003). Produtos que tem estas propriedades ajudam a estabilidade da dose o que permite reduzir as variações na concentração do defensivo ao longo do tempo.

Os agentes depositantes são definidos como um material que melhora a capacidade de deposição do agrotóxico pulverizado sobre a superfície alvo (ASTM, 1995). Os agentes depositantes podem melhorar a deposição por dois métodos: O primeiro pelo aumento direto da quantidade de agrotóxico depositado e o segundo pela uniformidade de deposição sobre o dossel das plantas. Por exemplo, Farris (1991), encontrou um aumento do número de

gotas por área (gotas cm^{-2}), quando um agente depositante foi adicionado a calda de pulverização. No primeiro método, o benefício é na melhor eficiência e potencial de redução da taxa de agrotóxico. O segundo benefício é reduzir a quantidade de agrotóxico depositado no ambiente não alvo. Tipicamente, os agentes depositantes não alteram o DMV ou a fração de deriva. Richard et al. (1998), não encontraram relação entre a quantidade de depósitos e o VMD e o V100 menores que 100 μm , utilizando quatro diferentes adjuvantes depositantes. Todos os quatro adjuvantes não afetaram o espectro de gotas, porém alguns adjuvantes aumentaram a quantidade depositada.

A deposição das pulverizações é influenciada pela tensão superficial e viscosidade afetando a energia de dissipação durante o processo de colisão das gotas com o alvo. A superfície da planta, velocidade e o ângulo de contato também são importantes. Polímeros que aumentam a viscosidade e diminuem a tensão superficial podem melhorar a deposição das gotas sobre o alvo e diminuir o ricocheteio das gotas oriundo da colisão com o alvo (BERGERON et al., 2003). Em geral, aumentando a quantidade de herbicida depositado sobre o organismo alvo ou melhorando a uniformidade da pulverização sobre o dossel tem-se como resultado o melhor controle da planta daninha (McMULLAN, 2000).

Os dispersantes são substâncias que evitam a aglomeração das partículas através da redução das forças de coesão entre as mesmas, fazendo com que as suspensões mantenham-se estáveis por um determinado tempo. São muito importantes para manter estáveis as formulações de pós-molháveis, evitando que as partículas sólidas se aglomerem e precipitem (FLECK, 1993).

Os agentes redutores de deriva são definidos como um material adicionado ao tanque de mistura como objetivo de reduzir a deriva. Os agentes redutores de deriva alteram a viscosidade da calda produzindo um espectro de gotas com maior DMV, reduzindo o número de gotas com menores diâmetros que são facilmente desviadas do alvo (HEWITT et al., 1993). Estes adjuvantes são tipicamente compostos de grandes polímeros com poliacrilamidas e polissacarídeos e certos tipos de gomas (TU; RANDALL, 2003). Zhu et al. (1997) observou que o DMV produzido por pontas tradicionais aumentou proporcional a medida que a taxa do adjuvante a base poliacrilamida foi aumentada. Conforme Bode et al. (1976), os adjuvantes redutores de deriva diminuíram a quantidade de deriva depositada em avaliações em campo para velocidade de vento entre 2,9 a 4,9 m/s em torno de 15 a 50% com

uso de baixa concentração e 70 a 80% em altas concentrações, porém com modificações na viscosidade. Resultados sobre a avaliação da característica da pulverização com quatro tipos de pontas usadas sozinhas e combinadas com meia e uma dose de dois adjuvantes redutores de deriva (Poliacrilamida e hidroxipropil guar) em formulações de caldas com glifosato são apresentados por Fietsam et al. (2004). Os autores concluíram que as adições dos adjuvantes influenciaram diferentemente o desempenho de todas as pontas avaliadas e que foi dependente do tipo de ponta e da concentração dos adjuvantes.

Os agentes antiespumantes são compostos obtidos a partir da diluição do silicone em um solvente apropriado para o uso final do produto. Eles reduzem a formação de espumas no tanque de pulverização em função de serem produtos de boa resistência à radiação ultravioleta, boas propriedades umectantes, antifricção e lubricidade, inércia hidrofóbica e fisiológica, estabilidade ao cisalhamento e baixa tensão superficial. Com isso, ele consegue aliar a outros componentes, um grande poder destrutivo de espumas e bolhas, além de possuírem um efeito duradouro na sua ação antiespumante (GARCIA et al., 2004). O excesso de espuma no tanque de mistura causa inúmeros problemas para o aplicador, como escoamento de espumas para fora do tanque ou dificultando a lavagem e limpeza do pulverizador. A espuma produzida na calda de pulverização é uma emulsão de ar e água, geralmente causada pelo sistema de agitação do pulverizador em adição de alguns tipos de surfatantes de caldas que reduzem a tensão superficial suficientemente para que o ar entre na água e resulta na produção de espumas (McMULLAN, 2000).

Os agentes condicionadores reduzem os problemas relacionados à água dura. Água dura é água rica em íons alcalinos ferrosos na forma de carbonato, especialmente íons de cálcio e magnésio que ligam com alguns ingredientes ativos de alguns agrotóxicos, o qual resulta em redução da eficiência (HOCK, 2004). Por exemplo, cálcio na calda de pulverização reduz a eficiência do glifosato (BUHLER; BURNSIDE, 1983). Os principais agentes condicionadores de calda são os denominados de quelatizantes que são compostos que isolam a carga elétrica e suprimem a reatividade de moléculas e íons e são muito utilizados em casos de água dura. Diversos compostos, naturais ou sintéticos, apresentam efeito quelatizante, como por exemplo, ácido cítrico, ácido fenólico e o EDTA (Etilenodiaminotetracetato) que podem ser usados (ZAMBOLIM, 2006).

Agentes acidificantes são definidos como material que pode ser adicionado ao tanque de mistura para reduzir o pH (ASTM, 1995). Tipicamente são diluídos em soluções de ácidos fortes, reduzindo rapidamente o pH de caldas extremamente alcalinas ou agrotóxicos alcalinos. Segundo Antuniassi (2009), o pH da calda e a dureza da água são fatores que podem influenciar no desempenho fitossanitário, induzindo a inativação ou degradação de alguns ingredientes ativos.

Os agentes tamponantes são definidos como compostos ou misturas que causam à solução resistência de mudança de pH com característica que limita numa faixa de pH a qual o agrotóxico é eficiente (ASTM, 1995). A maior parte das soluções ou suspensões são estáveis em pH 5,5 a 7,0 (levemente ácido para neutro). Ambos agentes acidificantes e tamponantes reduzem o pH, porém os agentes tamponantes mantêm o pH numa faixa na solução quando materiais ácidos ou alcalinos são adicionados à caldas enquanto um agente acidificante não necessariamente mantém constante o nível do pH na calda (STOCK, 2004). O ajuste do pH das caldas de pulverização de herbicidas podem aumentar a potencialidade e eficiência dos herbicidas devido a minimizar os efeitos antagônicos de alguns íons na calda, por exemplo, a formação de precipitados. Segundo Zambolim (2006), cada fungicida tem um pH ideal e a hidrólise é a reação química comum quando os fungicidas são preparados com água fora do pH ideal de atuação dos fungicidas.

Os umectantes, como adesivos, aumentam a quantidade de tempo que o herbicida está sobre a folha, de uma forma disponível para absorção (HAZEN, 2000). Quando a água evapora da gota de pulverização, o herbicida se torna um resíduo cristalino, não disponível para absorção pelas folhas. Os umectantes mantêm a umidade dos depósitos de pulverização em forma de uma verdadeira solução e, portanto, estendem o tempo do herbicida para a absorção. Eles geralmente são solúveis em água e aumentam o teor de água dos depósitos de pulverização retardando o tempo de evaporação e aproveitando a umidade do ambiente. Os umectantes comumente usados incluem o glicerol, propileno glicol, dietileno glicol, polietileno glicol, uréia e sulfato de amônio. A glicose e melão foram utilizados como umectantes no passado, mas eles não são identificados para tal uso e não devem ser adicionados a qualquer formulação do herbicida (HESS, 2000).

Os adjuvantes com funções de protetores (*extenders*) funcionam como adesivos retendo o defensivo mais rapidamente no alvo, reduzindo a velocidade de

volatilização e inibindo degradação por raios ultravioletas (UV). São muito utilizados na fruticultura, para aplicação de inseticidas e fungicidas como formulados pós-molháveis (HOCK, 1998). Segundo Green (2001), a luz solar natural, especialmente os raios ultravioletas (UV), pode degradar alguns herbicidas. Alguns adjuvantes de herbicidas que protegem contra os efeitos deletérios da luz solar estão disponíveis. Eles podem fazer isso por alguns processos físicos ou químicos, como aumentar a taxa de retenção do herbicida pela cutícula ou por absorção dos raios ultravioletas.

Os corantes são definidos como material usado para alterar a cor da calda no tanque de mistura (ASTM, 1995). Eles são utilizados nas aplicações para marcar onde as bordas da barra passam, reduzindo sobreposições ou falhas entre as passadas adjacentes nas aplicações e também são frequentemente utilizados como marcadores nos estudos de avaliação de pulverizações (GREEN, 2001).

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. As principais propriedades físicas e químicas que podem alterar a eficiência de uma calda de aplicação podem ser a viscosidade, densidade, tensão superficial, e potencial hidrogeniônico.

A reologia é o ramo da mecânica dos fluidos que estuda as propriedades físicas que influenciam o transporte de quantidade de movimento num fluido. A viscosidade é a propriedade reológica mais conhecida, e a única que caracteriza os fluidos newtonianos. A viscosidade é uma expressão de resistência do fluido ao fluxo e quanto maior o seu valor, maior a resistência. A viscosidade torna-se importante em estudo dos escoamentos, pois ela oferece resistência ao cisalhamento, dificultando o seu fluxo em tubulações, cavidades de moldes, entre outros. O grau de pulverização está diretamente ligado à viscosidade e escoamento da solução (CHORILLI et al., 2007).

Uma característica importante dos sistemas de injeção é a habilidade para operar com defensivos de diferentes formulações. Sistemas projetados para injeção de líquidos deveriam estar aptos a dosar produtos com viscosidades e densidades variadas.

Considerando-se que tais propriedades podem mudar o desempenho de mecanismos dosadores, os sistemas de controle eletrônico devem propiciar fácil correção ou calibração para operações com líquidos de diferentes características físicas (ANTUNIASSI, 1999).

A equação de calibração do fluxo em um sistema de injeção pode ser tanto linear como quadrática, dependendo da viscosidade do líquido utilizado (CHI et al., 1989). Entretanto, Zhu et al. (1998) concluíram que mudanças na viscosidade de líquidos injetados tiveram pouca influência nas características de resposta de um sistema de injeção através de bombas de pistão.

O efeito da viscosidade na formação das gotas de líquidos com diferentes propriedades físicas tem sido reportado há algum tempo por alguns autores (HEWITT et al., 1993; LEFEBVRE, 1989). Esses autores relataram que um aumento na taxa de viscosidade, freqüentemente causa um aumento no tamanho das gotas e na amplitude do espectro das gotas com maior percentual para gotas maiores. Segundo Christofolletti (1999), fluidos com maior viscosidade e tensão superficial requerem maior quantidade de energia para a pulverização, produzindo gotas maiores.

Antuniassi (1999) avaliou a influência da viscosidade no desempenho de sistemas de injeção de defensivos para agricultura de precisão. O autor concluiu que o sistema constituído por uma bomba monocilíndrica de acionamento hidráulico, de ajuste mecânico e sem controle eletrônico mostrou-se bastante sensível, sendo incapaz de operar com a solução viscosa em algumas condições em relação aos sistemas de bomba de dois pistões e bomba peristáltica.

Todas as superfícies de um fluido exibem um fenômeno chamado tensão superficial. A tensão superficial de um produto está diretamente relacionada à polaridade de sua estrutura química. A água apresenta maior tensão superficial porque sua superfície altamente polar é rica em pontes de hidrogênio, resultando em dificuldades na umectação de uma superfície apolar. Aumentando a concentração de um surfatante no tanque de mistura geralmente reduz a tensão superficial e provavelmente aumenta a probabilidade da gota aderir a folha e molhar a sua superfície, conseqüentemente, melhorando a penetração do agrotóxico pela cutícula da folha. Adicionando muito surfatante, entretanto, pode afetar negativamente a capacidade de molhamento e espalhamento, porque as gotas estarão

propensas a escoar e cair fora da folha. Alguns surfatantes atuam aumentando o tamanho de gotas e reduzindo a tensão superficial e são menos propensas a deriva (TU; RANDALL, 2003)

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). Portanto, a tensão superficial das gotas e sua interação com a superfície alvo influenciam não só a molhabilidade, mas também no processo de absorção, que é fundamental para a eficiência da aplicação. Palladini (2000) encontrou diferenças significativas na tensão superficial de soluções aquosas de inseticidas, fungicidas e acaricidas sem a presença de adjuvante. O autor descreve que muitas formulações comerciais já apresentam alguns componentes que reduzem a tensão superficial, porém em alguns casos essa redução não é suficiente e ainda é necessário que mais algumas propriedades da calda de pulverização sejam melhoradas.

A água é o veículo principal para diluição de formulações de agrotóxicos para a pulverização, porém segundo Stevens (1993), a água apresenta baixa capacidade de retenção quando aplicada sobre alvos com superfícies cerosas e hidrofóbicas. Herbicidas aplicados na superfície foliar devem penetrar a cutícula e o plasmalema antes de atingir o citoplasma e ser posteriormente carregado para seu sítio de ação (HOLLOWAY; EDGERTON, 1992). A natureza hidrofóbica da cutícula age como barreira entre a folha e o ambiente, prevenindo a perda excessiva de água pela transpiração celular e protegendo a célula contra estresse biótico e abiótico. Variação na composição química, características morfológicas e estruturais da cera epicuticular entre espécies de plantas daninhas, associado às condições ambientais, são fatores determinantes da seletividade e eficácia de alguns herbicidas (BAKER; CHAMEL, 1990; NEWSOM et al. 1993). Adjuvantes são acrescentados à calda de pulverização com o objetivo de melhorar a eficiência das pulverizações foliares de herbicidas, reduzir o

impacto das interferências ambientais e permitir uma penetração cuticular mais eficiente (STOUGAARD, 1997), facilitar o molhamento em superfícies hidrorrepelentes e facilitar o contato da calda com a cutícula em superfície pilosas, as quais tendem a manter as gotas suspensas (KISSMANN, 1996). Dentre esses, tipicamente os surfatantes reduzem a tensão superficial do líquido de pulverização, diminuindo o ângulo de contato (que depende da cerosidade da superfície e tensão superficial do líquido) das gotas isoladas sobre a superfície foliar, fazendo com que elas deixem de ser esféricas (SINGH; MACK, 1993; McWHORTER; OUZTS, 1994).

Mendonça et al. (2007) avaliaram a tensão superficial estática de óleos minerais e vegetais e concluíram que óleos minerais e vegetais não são tão eficientes em reduzir a tensão superficial em baixas concentrações, quando comparados com outros adjuvantes que não contém óleos em suas formulações. Em estudos sobre a eficiência dos surfatantes na redução da tensão superficial, Montório (2001), verificou que os adjuvantes siliconados foram os que atingiram os menores valores de tensão superficial estática, chegando a 20 mN m^{-1} em soluções aquosas.

4.2 Espectro de gotas

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 aérea (KIRK, 2003).

Existe o conhecimento de que os adjuvantes podem ter um efeito significativo sobre o tamanho de gotas em pulverizações agrícolas (BUTLER ELLIS et al., 1997). Os adjuvantes denominados como redutores de deriva têm sido desenvolvidos para modificar o espectro de gotas, mas muito outros adjuvantes, utilizados para melhorar a dinâmica da gota sobre o alvo, também influenciam o tamanho das gotas (BUTLER ELLIS; TUCK, 1999).

A definição de parâmetros como tamanho das gotas e volume de aplicação depende diretamente da relação alvo/defensivo (ANTUNIASSI, 2004). Esses fatores devem ser considerados em primeiro lugar para o planejamento de uma aplicação. Os demais fatores importantes, como o momento da aplicação, as condições climáticas, a recomendação

dos agrotóxicos e as condições operacionais devem ser considerados em conjunto para que todo o sistema esteja ajustado, visando o máximo de desempenho com o mínimo de perdas, sempre com o menor impacto ambiental possível (ANTUNIASSI, 2009).

Matthews (2000) descreveu que o tamanho adequado das gotas possui importância fundamental para a deposição do ingrediente ativo sobre o alvo correto e com a minimização de perdas ou deriva. O autor relatou ainda que gotas de tamanho entre 50 e 100 μm (gotas muito finas) são capazes de serem transportadas para o interior da massa foliar da cultura por meio da turbulência do ar e serem depositadas nas folhas. Quando as condições ambientais propiciarem a deriva, gotas médias a grossas devem ser utilizadas. No entanto, mesmo quando gotas grossas são aplicadas, há uma porção do volume aplicado formado por gotas finas e que estão sujeitas à deriva. O autor ainda relata que, enquanto gotas grandes caem em uma trajetória vertical na aplicação e possuem maior deposição em alvos horizontais, gotas pequenas possuem uma trajetória maior no plano horizontal, melhorando a deposição em alvos verticais, como em plantas de folhas estreitas.

O tamanho da gota formado no momento da aplicação é o fator determinante de deriva. As gotas produzidas por uma ponta são classificadas como muito finas, finas, médias, grossas e muito grossas. O Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) determina esse tamanho, sendo definido como o diâmetro da gota que divide o volume pulverizado em duas partes iguais, ou seja, uma metade é constituída por gotas maiores que o DMV, e outra metade por gotas menores que o referido valor, expresso em micrometros (μm). Para essa classificação o DMV é comparado ao obtido por pontas de referências avaliadas utilizando o mesmo método de determinação do tamanho de gotas, conforme a norma ASAE S572 (ANTUNIASSI, 2009). Segundo Matuo (1990), a importância do tamanho da gota está fundamentada na relação entre volume e superfície. Quanto maior a gota, para um determinado volume fixo, menor a sua superfície específica. Na aplicação de agrotóxicos, é desejável que se tenham a melhor cobertura possível, o que implica dizer uma menor gota. Porém, gotas pequenas são mais sujeitas a serem carregadas pelo vento e têm vida útil menor (tempo entre o emissor e o alvo). Em ambas as situações, a consequência é a deriva. O tamanho da gota tem que ser pequeno o suficiente para permitir uma boa cobertura do alvo, principalmente com agrotóxicos de contato e foliares, mas grande o suficiente para não ser carregada pelo vento e ter durabilidade suficiente para percorrer a distância entre o ponto de

emissão e o alvo, em uma dada condição ambiental. Alcançar esse equilíbrio é a chave para minimizar a ocorrência de deriva.

No processo de pulverização, a gota forma-se quando um líquido é forçado, sob pressão, através de um orifício. O seu tamanho será determinado pelo diâmetro do orifício de saída, força de coesão entre as moléculas de mesma natureza do líquido, temperatura e pressão a que está submetido o líquido e pela resistência oferecida ao mesmo pelo meio, ao sair pelo orifício (MATUO, 1990).

Segundo Ozkan (2000), em aplicações com pulverizadores de barra, as gotas iguais ou menores que 50 micrometros (μm) evaporam completamente antes de alcançar o alvo, permitindo que o produto puro se disperse. E as gotas maiores que 200 μm não terão redução significativa em tamanho antes de alcançar o alvo. De acordo com Zhu et al. (1994), gotas com diâmetro acima de 500 μm têm pouco problema de deriva e gotas abaixo de 50 μm , em geral, evaporam antes de atingir o alvo.

Segundo Miller (1993) a deriva é função do número de variáveis físicas relacionadas com a aplicação. Uma medida simplificada de risco de deriva pode ser utilizada, como o V100 com diâmetros menores que 100 μm . Entretanto, essa medida pode ser enganosa para comparar a probabilidade de deriva em diferentes tipos de pontas ou quando a pulverização tem diferentes perfis de velocidades, estruturas ou entradas de ar. Segundo Antuniassi (2009), para uma determinada ponta, quanto maior o percentual de gotas finas que fazem parte do espectro produzido, maior o risco de deriva e este conceito tem sido utilizado em diversos países para fundamentar uma nova classificação de pontas, a qual avalia o seu risco de deriva.

Christofolletti (1999) e Ozkan (2001) também informaram que, quanto maior a pressão de pulverização para uma mesma ponta, menor é o tamanho da gota e maior o risco de deriva. Nuyttens et al. (2006a) constataram redução de 35% na deriva, ao compararem uma aplicação com 193 kPa em relação a uma com 296 kPa, utilizando a ponta de jato plano convencional F 11003.

Segundo Miller e Stoughton (2000), gotas muito finas podem ficar suspensas no ar em condições de estabilidade atmosférica (ausência de vento) e, então, serem dispersas como outros poluentes a até centenas de quilômetros do local de aplicação. Conforme os autores, estes poluentes somente podem ser removidos da atmosfera pela ação da chuva.

A pulverização produz gotas de diferentes tamanhos e, portanto, é necessário usar critérios técnicos para sua análise e quantificação para comparar o tamanho das gotas, produzidos por outros equipamentos Assim vários pesquisadores têm utilizado do método de difração de raios laser para estudo e análise do espectro de gotas produzidas por diferentes equipamentos (FERREIRA et al., 2007; IOST, 2008; MOTA et al., 2010). Miller e Butler Ellis (2000) citam que análises do tamanho de partículas por métodos a laser já estão bem estabelecidas, sendo mais comuns os métodos Phase Doppler Analyses (PDA) e por difração de raios laser (difração de luz laser de baixo ângulo). Ambos os métodos avaliam gotas no ar, no trajeto entre a ponta de pulverização e o alvo, com sensibilidade para diâmetros sub-micrométricos, extremamente suscetíveis à deriva e à evaporação e muito difíceis de serem avaliados por métodos de captura em superfície, devido à não deposição e à duração efêmera das gotas.

4.3 Deriva

A deriva é frequentemente associada com movimento físico das gotas pulverizadas para fora do local designado no momento da aplicação. Ela é definida como a quantidade de agrotóxicos, utilizados para proteção das plantas, que são desviados para fora do alvo a ser atingido por correntes de ar durante ou depois das aplicações (MILLER, 1993; OZKAN, 2001). Esse transporte ocorre durante ou posterior a aplicação e pode ser na forma de gotas ou vapor, sendo a segunda muito dependente da pressão de vapor e das características físico-químicas da formulação (MILLER, 2004).

Embora o termo deriva tenha sido utilizado de maneira geral, há dois tipos principais de deriva: Endoderiva e Exoderiva. Pode ser chamada de endoderiva, quando a perda do produto ou partículas ocorre dentro da área alvo (por exemplos: escorrimento causado por excesso de calda ou gotas muito grandes) e exoderiva, a perda do produto ocorre fora dos domínios da área alvo (por exemplos: gotas pequenas levadas por correntes de ar) (ANTUNIASSI, 2009). A deriva simplesmente pode ser um deslocamento da gota pulverizada a distâncias não superiores a 10 metros do ponto de formação das gotas ou deslocamento de gotas menores a milhares de metros que se depositam em locais não desejados. Ela pode ocorrer até dias depois que aplicação foi realizada. Esse tipo de deriva é associado com a volatilização do defensivo com movimento subsequente para fora da área designada, tornando-

se preocupante quando o produto é altamente volátil e as condições atmosféricas estão favoráveis a vaporização rápida do produto (OZKAN, 2000).

Os fatores que afetam a deriva são: condições climáticas, tecnologia de aplicação (espectro de gotas), características do ambiente e propriedades físico-químicas do líquido aplicado (SCHAMPHELEIRE et al., 2008).

Em alguns países, uma das soluções encontradas para reduzir esse problema foi o estabelecimento das chamadas zonas de segurança (*buffer zones*). Trata-se de uma faixa de vegetação que não pode receber a aplicação de agrotóxico para proteger uma determinada área sensível como, por exemplo, um curso de água. A extensão dessa faixa, no entanto, é variável e depende das condições das aplicações (SNOO, 1999).

Na tecnologia de aplicação de agrotóxicos, a seleção de pontas de pulverização mais adequadas representa uma das alternativas para redução de deriva, com o objetivo principal de aumentar o tamanho de gota (CHRISTOFOLETTI, 1999; OZKAN 2001). Vários estudos em que foram utilizadas pontas de pulverização de baixa deriva (*low-drift*) indicam a possibilidade de redução eficiente das perdas por carregamento de agrotóxicos para fora das áreas-alvo (COMBELLACK et al., 1996; OZKAN et al., 1997; LUND, 2000; NUYTENS et al., 2006a; SCHAMPHELEIRE et al., 2006).

Para (1999b), o vento é um dos principais fenômenos climáticos que interferem na aplicação, agindo diretamente sobre as gotas, de maneira a alterar o deslocamento destas em direção ao alvo. Nuytens et al. (2006b) constataram, a partir de 27 aplicações simuladas de agrotóxicos realizadas a campo, que o aumento da umidade relativa e a diminuição na velocidade do vento e na temperatura resultaram na redução da deriva. Miller (1993, 2004) inferiu que tanto estudos em condições experimentais de campo ou em túnel de vento mostraram relação linear entre deriva e velocidade de vento.

Para controle da deriva, novas tecnologias surgiram nas últimas décadas. Grandes contribuições para este controle foram as pontas especiais desenvolvidas para minimizar a deriva, porém, segundo Antuniassi (2003), além das pontas, hoje há grande destaque pela utilização de sistemas de pulverização com assistência por ar, e pulverização eletrostática que, em teoria ajudam no controle da deriva.

Matthews (2000) explicou que gotas finas, cujo diluente é água, possuem tempo de vida pequeno e, se esse diluente do produto químico evapora, o tamanho da

gota vai diminuir muito, possibilitando o carregamento desta partícula por uma distância muito grande pelo vento. Assim, em temperaturas elevadas e umidade relativa do ar baixa, deve ser considerada a utilização de adjuvantes à calda, para aumentar o tempo de vida da gota, diminuindo a deriva.

4.4 Túnel de Vento

Devido ao número de variáveis envolvidas em estudos de campo torna-se difícil a interpretação dos resultados de deriva, por isso, vários autores têm defendido estudos em túneis de vento (PARKIN; WHEELER, 1996; DERKSEN et al., 1999; PHILLIPS E MILLER, 1999; WALKLATE et al. 2000; MURPHY et al., 2000) para caracterizar o efeito de parâmetros operacionais sobre o risco de pulverização em condições controladas.

O primeiro túnel de vento que se tem notícia, acionado por uma máquina a vapor, foi construído na Inglaterra em 1871 (GORECKI, 1988). Desde esta época até os dias atuais, muitos aspectos evoluíram, o que influenciou diretamente na qualidade do escoamento e das medidas, preocupação sempre presente nos estudos e desenvolvimentos de produtos e técnicas. Os principais objetivos para garantir a qualidade do escoamento são: uniformidade espacial na seção de testes quanto a velocidade, pressão, temperatura, ausência de rotação e de velocidades transversais, de vorticidade, uniformidade temporal e ausências de oscilações periódicas ou de pulsações. Para garantir esses aspectos citados anteriormente, torna-se necessário a utilização de alguns meios, como grandes razões de contração, colméias retificadoras e telas, cuidados para evitar descolamentos nos difusores, quinas, ou em qualquer parte do circuito, como a colocação de aletas e direcionadores de fluxo (POPE, 1966; BARLOW et al., 1999).

Segundo Gorecki (1988), dentre as várias características apresentadas pelos túneis de vento, destacam-se as que podem ser classificadas em função da posição de construção (verticais ou horizontais), do tipo da câmara (aberta ou fechada) e da velocidade do fluido (de subsônicos a hipersônicos). Quanto à construção, os modelos horizontais são os mais usuais, pela sua praticidade e menor custo de construção. O uso de câmara aberta ou fechada vai depender do tipo de estudo que será realizado, assim como a velocidade do fluido e o tamanho do corpo que se deseja ensaiar (BARLOW et al., 1999).

Dentre as várias características que um túnel de vento pode apresentar, destacam-se algumas dos túneis subsônicos como de circuito aberto e seção de teste fechada. Neste caso, o sistema acionador (motor) abastece o circuito e age como soprador. O circuito é composto além do motor, por uma conexão flexível ou por aparato que realize o seu papel (amortecer as vibrações), um difusor, onde são colocadas as telas, uma caixa de estabilização, onde é colocada a colméia, uma contração, para uniformizar o fluxo de ar e a seção de testes onde são feitas as medidas. Esta configuração apresenta como principais vantagens a facilidade de montagem e limpeza. Como o motor, telas e colméia são instalados antes da seção de ensaio, não necessitam de materiais e projetos especiais anticorrosão e de selagem, além de ter um custo mais baixo (LIMA, 2004).

Existem vários laboratórios com túneis de vento construídos especialmente para serem utilizados na avaliação de equipamentos e estudos do efeito de adjuvantes para redução de deriva de agrotóxicos em aplicações aéreas e terrestres. Entre eles, destacam-se, o laboratório do Centro de aplicação de pesticidas e segurança da Universidade de Queensland, na Austrália, o laboratório da Universidade de Alberta no Canadá, o Instituto de Pesquisas de Silsoe na Inglaterra e a unidade de pesquisa em tecnologia de aplicação de Wooster da Universidade estadual de Ohio, nos Estados Unidos (COSTA, 2006).

Para ensaios na agricultura foi construído um túnel de vento de circuito aberto com área de seção de ensaio de $1,44 \text{ m}^2$ e $4,9 \text{ m}$ de comprimento útil e impulsionado por um motor elétrico de 5 HP de potência. Nos ensaios descritos, a ponta de pulverização ficou a 46 cm do piso do túnel de vento. Durante os ensaios utilizaram-se velocidades de vento de $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ e temperaturas variando de 28 a 32°C e umidade relativa variando de 39 a 57% . Segundo os autores, os resultados dos experimentos realizados no túnel de vento mostram que a deriva está diretamente relacionada com o tipo de ponta utilizado na pulverização, em todas as caldas pulverizadas (FIETSAM et al., 2004).

Herbst (2001) analisou a interferência no processo de deriva para diferentes pontas de pulverização, pressão e valores de temperatura e umidade relativa do ar em um túnel de vento de 32 m de comprimento e circuito fechado. Os ensaios ocorreram com velocidade do vento de 2 m s^{-1} e foi traçado um perfil da velocidade das gotas a 2 m de distância da ponta de pulverização. O autor mostra a importância de ensaios em túnel de vento

para gerar dados confiáveis e assim poder determinar zonas de proteção (*Buffer Zone*), evitando a contaminação ambiental pelo fenômeno da deriva.

Ensaio realizados em um túnel de vento de circuito aberto por Derksen et al. (1999) concluíram que as pontas do tipo TD e TT produziram menor quantidade de deriva, quando comparados com as pontas padrão XR, nas mesmas condições de ensaio. Nesse trabalho foram usados três sistemas diferentes para coleta da calda pulverizada, constituídos por bandejas coletoras (alvo) logo abaixo da ponta de pulverização, um carpete que absorvia as gotas que não atingiam o alvo e os fios de nylon que formavam uma tela localizada a 2,2 m da ponta de pulverização.

Costa et al. (2006) realizaram experimentos no túnel de vento, pertencente ao laboratório do Instituto de Pesquisas de Silsoe, na Inglaterra, para análise de deriva em diferentes pontas de pulverização, pressões de trabalho e adjuvantes. A área experimental efetiva para aplicação e coleta de deriva dentro do túnel de vento, utilizado em seu trabalho, possuía 2 x 7 x 2 m (largura x comprimento x altura), a velocidade do fluxo de ar utilizada foi de 2,0 m.s⁻¹ e foi monitorado por um anemômetro tri-dimensional. Cada aplicação foi realizada durante dez segundos e os coletores de deriva utilizados foram fios de polietileno com 1,98 mm de diâmetro, utilizando dez fios coletores em cada repetição. O autor concluiu que o processo de deriva depende do tipo de ponta utilizada na pulverização, da pressão e do adjuvante pulverizado, pois esses elementos influem no tamanho da gota pulverizada.

Guler et al. (2006) realizaram estudo sobre deriva em um túnel de vento de 3,7 m de comprimento 0,61m de largura e 0,91 m de altura. Os ensaios foram realizados com duas velocidades no túnel de vento, 2,5 e 5 m.s⁻¹. As velocidades foram medidas por um anemômetro de fio quente, e a ponta de pulverização ficou a 0,67 m acima do piso do túnel de vento. Para medir a deriva, foram coletadas gotas no piso do túnel de vento através de papel sensível. Foram realizadas pulverizações com três tipos de pontas de pulverização. Os autores concluíram que a maior quantidade de deriva foi resultante da maior velocidade de vento dentro do túnel de vento, para as três pontas de pulverização ensaiadas.

Nos últimos anos cresceu o interesse e a necessidade de conhecer melhor o desempenho dos equipamentos de aplicação, principalmente na aplicação aérea devido as características particulares dos equipamentos e das aeronaves. Fatores importantes, como velocidade do ar, orientação das pontas e a velocidade relativa existente entre o líquido

emitido pela ponta e o fluxo de ar que passa por ela, são praticamente impossíveis de serem verificados na aeronave em vôo, sendo necessária a simulação de tais relações em condições de laboratório. Na busca de excelência nas aplicações de agrotóxicos, ensaios de túnel de vento permitem criar condições semelhantes às que ocorrem em uma aeronave em voo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Existem inúmeros estudos destinados a desenvolver protótipos de túnel de vento para a medição direta da deriva em condições controladas (MILLER, 1993; WALKLATE et al., 1998).

Moreira Júnior (2009) dimensionou a construção de um túnel de vento em escala reduzida e de baixo custo para utilização em estudos de tecnologia de aplicação de agrotóxicos, com posterior validação através da avaliação dos efeitos de diferentes adjuvantes pulverizados por uma ponta na intensidade do processo de deriva. O autor concluiu que o túnel de vento construído conseguiu medir variações de intensidade de depósito de deriva para as diferentes caldas avaliadas no trabalho, demonstrando potencial de uso para ensaios de avaliação do potencial de risco de deriva de diferentes tecnologias de aplicação. Comparando-se com a calda padrão que continha apenas corante e água, o uso do adjuvante a base de polímero reduziu o risco de deriva quando comparado ao surfatante.

Uma vez que o desempenho da pulverização é uma função tanto do tipo de pontas como das características físicas do líquido de pulverização, instalações para a medição direta da deriva em túneis de vento devem permitir a operação de pulverização com as formulações e misturas similares às aquelas utilizadas no campo. Esses resultados vão ao encontro das observações a campo ou em túnel de vento, em que se verificou que pontas com pré-orifício e/ou indução de ar são eficazes no controle da deriva, em relação a modelos de ponta convencionais, de acordo com os trabalhos de Combella et al. (1996), Ozkan et al. (1997), e Schampheleire et al. (2006). Miller (2004) reportou que pontas com indução de ar reduziram a deriva entre 50 e 90%, em relação a pontas convencionais.

Experimentos em túneis de vento é um eficiente método de suporte e complementação de dados derivados de experimentos de campo. Eles podem ser usados para mensurar e classificar o desempenho de diferentes sistemas de pulverizações sem os efeitos causados pelo caminhamento do trator, onde normalmente são montados (MILLER, 1993; MURPHY et al., 2000). Os estudos em túnel de vento permitem o uso de índices ou fatores

relativos a deriva ou potencial de deriva para serem utilizados no desenvolvimento e seleção de novos equipamentos de pulverização, visando a redução do risco de deriva (WALKLATE et al., 2000).

A maior vantagem em experimentos em túnel de vento é a determinação do potencial risco de deriva que pode ser realizado para diferentes sistemas de aplicações e diretamente comparados e repetidos nas mesmas condições o que, neste caso, é impossível em experimentos de campo. Entretanto, valores sob condições reais de deriva somente podem ser obtidos em experimentos em campo (MILLER 1993; OZKAN et al., 1997; DERKSEN et al., 1999; FIETSAM et al., 2004; NUYTTENS et al., 2009).

5 MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos foram realizados no Laboratório de Máquinas de Pulverização do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista em Botucatu, São Paulo.

Nos experimentos avaliaram-se as propriedades físicas e químicas, o espectro de gotas e o potencial risco de deriva proporcionado por adjuvantes em diferentes concentrações.

Para caracterizar melhor os diferentes adjuvantes utilizados, optou-se em apresentá-los, conforme suas composições descritas nos rótulos ou bulas dos fabricantes. Algumas dificuldades foram encontradas porque os produtos Antideriva, Define e TA35 tem suas composições químicas desconhecidas e ainda não tem o registro pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Além disso, pesa o fato de que a maioria dos adjuvantes é constituída de misturas de diferentes compostos e muitas das vezes a composição dos ingredientes é mantida em segredo pelos fabricantes. A descrição e as características dos produtos utilizados neste trabalho estão apresentadas na Tabela 1.

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

Nome Comercial ^{1/}	Composição	Função	Formulação
AgBem	Resina sintética emulsionada 387 g L ⁻¹ ; Agente tensoativo aniônico 129 g L ⁻¹	Espalhante adesivo	Emulsão Concentrada
Agral	Nonil Fenoxi Poli (Etilenoxi) Etanol 200 g L ⁻¹	Espalhante adesivo	Concentrado Solúvel
Agrex Oil	Ésteres de ácidos graxos com glicerol (Óleo vegetal) 930 mL L ⁻¹	Inseticida e adjuvante	Concentrado emulsionável
Agro ³ óleo	Éster de ácidos graxos 892 g L ⁻¹ (Óleo Vegetal)	Espalhante adesivo	Concentrado Emulsionável
Antideriva ^{2/}	Nonil Fenol Etoxilado	Redutor de Deriva	Concentrado Solúvel
Break Thru	Copolímero poliéter - polimetil siloxano (Silicone) 100%	Espalhante não iônico	Concentrado Solúvel
Define	Polímero Vegetal	Adjuvante	Concentrado Solúvel
Grip	Látex sintético e fluido de organossilicone surfactante 450 g L ⁻¹ Álcool oxialquilado alifático primário 100 g L ⁻¹	Espalhante adesivo	Concentrado Dispersível
Haiten	Polioxi-etileno 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
Joint Oil	Hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos (Óleo Mineral) 761 g L ⁻¹	Adjuvante	Concentrado emulsionável
LI 700	Mistura de fosfatidocolina (Lecitina) e Ácido propiônico 712,88 g L ⁻¹	Adjuvante	Concentrado Emulsionável
Nimbus	Hidrocarbonetos alifáticos (Óleo Mineral) 428 g L ⁻¹	Adjuvante	Concentrado emulsionável
Nutrifix	Dodecilbenzeno sulfonato de sódio 30 g L ⁻¹ ; Carboximetilcelulose 30 g L ⁻¹	Espalhante adesivo	Concentrado Solúvel
Silwet	Copolímero de Políster e Silicone 1000 g L ⁻¹	Espalhante Adesivo	Concentrado Dispersível
TA35	Lauril éter sulfato sódico, tensoativos, sequestrantes e emulsificantes	Tensoativo, Antievaporante	Concentrado Solúvel
TacTic	Látex sintético e fluido de organossilicone surfactante (640 g L ⁻¹)	Espalhante adesivo	Concentrado Dispersível
Veget Oil	Ésteres de ácidos graxos de origem vegetal (Óleo Vegetal) 930 g L ⁻¹ Emulsificante 70 g L ⁻¹	Inseticida de contato adjuvante	Concentrado Emulsionável

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

5.1 Avaliação das propriedades físicas e químicas

As propriedades físicas e químicas das soluções aquosas avaliadas foram: viscosidade, densidade, tensão superficial e condutividade elétrica.

Todas as avaliações 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 viscosidade 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, aumentando a uniformidade das gotas formadas. Para todos os tratamentos o capilar encontrava-se a uma altura de 5 cm acima da superfície do béquer, padronizando assim a interferência no caminhamento das gotas para todos os tratamentos durante o percurso de queda. Os dados de peso das gotas foram convertidos para tensão superficial, considerando uma média do peso de gotas da água destilada como $0,0726 \text{ N m}^{-1}$, conforme metodologia desenvolvida por Costa (1997).

A condutividade elétrica foi medida por meio de um condutivímetro portátil da marca Digimed, modelo DM3. Os equipamentos foram previamente calibrados por meio de soluções-padrão.

5.2 Análise do espectro de gotas

As análises do espectro de gotas foram realizadas no Laboratório de Análise do Tamanho de Partículas (LAPAR), localizado no Departamento de Fitossanidade da FCAV/Unesp, Campus de Jaboticabal.

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 que serão descritas na 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 nova a pressão de 200 kPa gerando um padrão de gotas médias e nas mesmas condições de aplicações para todos os tratamentos.

Nesta análise, utilizou-se um analisador de gotas em tempo real, com base na técnica da difração de raios laser. Empregou-se o equipamento *Spraytec (Malvern Spraytec Real Time Droplet Sizing System)*, com diâmetro do feixe do laser de 10 mm, lente focal de 200 mm, comprimento de onda do laser de 670 nm e ponte óptica de base longa. Nesse equipamento, uma unidade óptica determina o diâmetro das gotas do espectro pulverizado por meio do desvio de trajetória sofrido pelo laser ao atingí-las. Quanto menor a partícula, maior é o grau de difração que o raio de luz sofre (ETHERIDGE et al., 1999). O equipamento tem uma interface com computador que analisa e armazena as informações por meio do *software Mastersize-S v.219*. Durante a avaliação, movimentou-se a ponta de pulverização de modo que interceptasse transversalmente o laser, possibilitando assim, a amostragem da área de pulverização.

Para cada tratamento utilizou-se a mesma ponta com três aplicações (repetições). 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), Amplitude relativa e o percentual do volume de gotas com diâmetro inferior a 50 μm (V50) e 100 μm (V100). A amplitude relativa (AR) foi determinada pela seguinte equação:

$$AR = \frac{DV_{0,9} - DV_{0,1}}{DV_{0,5}} \quad \text{Equação 1}$$

onde,

DV_{0,9} - Diâmetro de 90% do volume acumulado

DV_{0,1} - Diâmetro de 10% do volume acumulado

DV_{0,5} - Diâmetro de 50% do volume acumulado

O equipamento foi ajustado para avaliar gotas de 0,5 a 900 µm (lente 300 µm). Para manter a pressão constante, utilizou-se ar comprimido controlado com regulador de pressão de precisão. Um oscilador foi utilizado para que o jato de solução atravessasse transversalmente o laser durante a leitura pelo aparelho. O tempo despendido pelo oscilador para mover-se de um extremo ao outro do jato aplicado foi calibrado para dois segundos. Cada leitura do laser foi realizada com intervalo de dois milissegundos, totalizando 500 leituras por segundo. Um exaustor (tipo coifa) localizado sobre o equipamento foi utilizado para retirar as partículas que ficam suspensas no ar, evitando leituras duplas ou possíveis depósitos sobre a lente do aparelho, comprometendo a exatidão da análise, conforme Ferreira et al. (2007).

5.3 Ensaio em túnel de vento

O túnel de vento utilizado foi desenvolvido por Moreira Júnior (2009). O túnel de vento é de 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 m² e 2,5 m de comprimento útil, feito em madeira e produzindo o vento necessário aos ensaios por um ventilador com motor de 180 W de potência. O sistema foi dimensionado para fornecer fluxo laminar de ar com velocidade mínima de 2,0 m s⁻¹, medido sempre antes dos ensaios por um anemômetro de ventoinha que foi posicionado em vários pontos da seção por meio de uma haste para variar sua altura dentro do túnel. O painel para acionamento e controle do fluxo de ar localizava-se externamente e a jusante do túnel, no próprio motor. A escolha por essa

configuração baseou-se nos critérios de minimização dos custos e pela facilidade de construção.

Para os ensaios foram utilizados um tanque de aço inox com capacidade de 15 L para o armazenamento e pressurização da solução, um bico com válvula anti-gotejo e uma ponta de pulverização XR8003 VK submetida a pressão de 200 kPa, pressurizada por um cilindro de gás comprimido (CO₂), gerando um espectro de gotas médias. Esse valor de pressão foi utilizado em vários estudos de túnel de vento, como por exemplo, Lund (2000), Walklate et al. (2000) e Costa (2006). Para todas as soluções utilizou-se o corante Azul Brillhante na concentração de 0,6% m v⁻¹ (6 g L⁻¹). Este corante é altamente solúvel em água, tem baixa toxicidade e tem sido utilizado com sucesso em vários experimentos para medidas de deposição (BODE et al., 1976; DERKSEN et al., 1999; PALLADINI, 2000; MOREIRA JÚNIOR, 2009)

Por meio de um suporte, a ponta ficou posicionada no fluxo de ar dentro do túnel de vento a uma altura de 0,44 m em relação ao piso do túnel de vento. Esta altura refere-se à projeção que o jato formado pela ponta de pulverização toma após acionado até chegar ao piso do túnel de vento. Desta forma, a altura da ponta de pulverização e a pressão de ensaio foram ajustadas de forma que o jato chegasse aberto no piso do túnel. A pressão de trabalho foi monitorada por dois sensores mecânicos, um colocado na saída do cilindro de ar comprimido e outro colocado antes da ponta de pulverização, sendo o controle para abertura e fechamento do fluxo realizado manualmente através de uma válvula de abertura e fechamento rápido, tipo esfera (Figura 5).

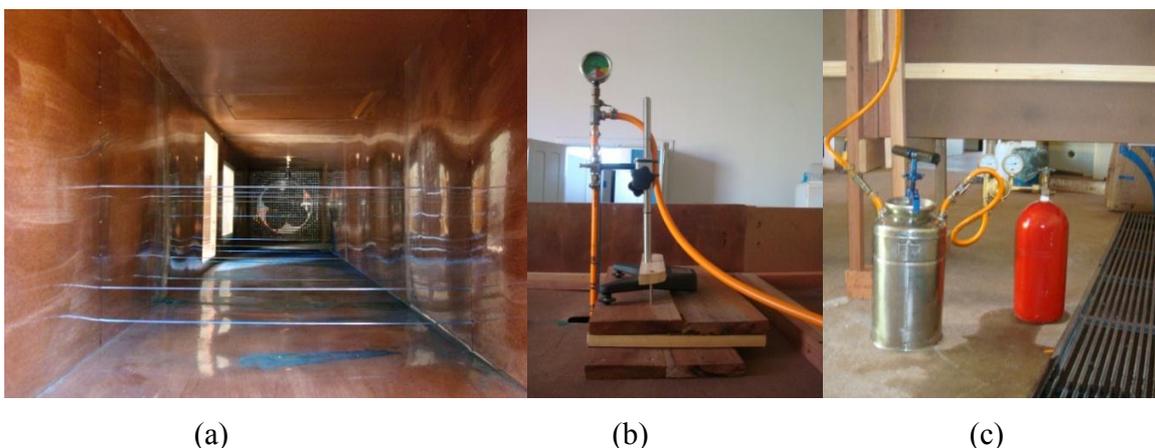


Figura 5. Vista parcial dos coletores dentro do túnel de vento (a), sistema de acionamento da pulverização (b) e tanque de aço inox para o armazenamento e pressurização da calda (c).

Para a coleta dos depósitos de soluções foram utilizados 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 por meio de furos na parede deste e fixados por presilhas de madeira 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 m e 0,20 m com relação ao piso do túnel. Cada ensaio foi composto por 8 fios coletores com três repetições, totalizando 24 fios coletores para serem analisados por tratamento. Estas posições foram escolhidas baseadas nos trabalhos de Costa (2006), Lund (2000) e Walklate et al (2000). Os trabalhos citados utilizaram túneis de vento com medidas diferentes das encontradas no túnel de vento deste trabalho, portanto, as medidas sofreram ajustes para se adequar as dimensões deste túnel de vento. A representação do posicionamento desses coletores e detalhes do túnel de vento estão apresentados na Figura 6.

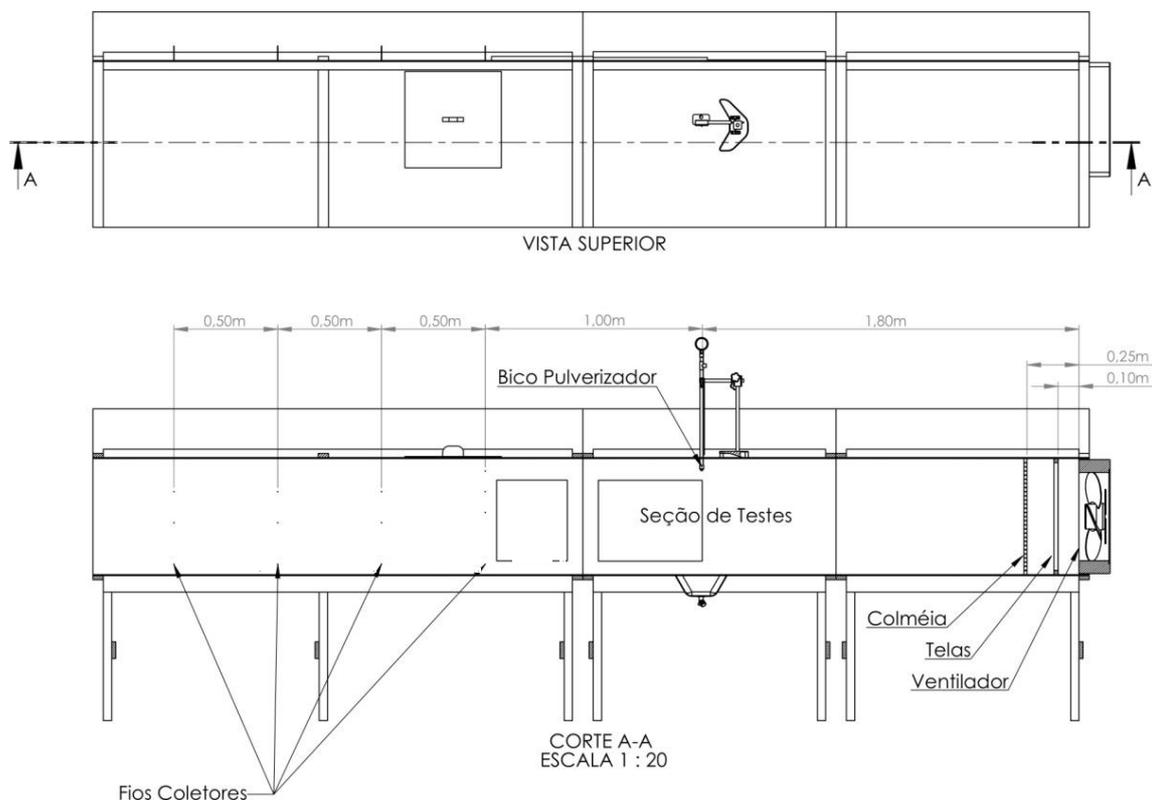


Figura 6. Desenho com vista superior e lateral do túnel de vento e principais componentes.

Fonte: Moreira Júnior (2009).

A pressão, altura do bico e velocidade do fluxo de ar foram iguais para todos os tratamentos. O sistema de pulverização foi acionado por dez segundos e após as aplicações o ventilador era desligado e em seguida aguardava-se cinco minutos, tempo necessário para total estabilização do ambiente dentro da seção de testes e fixação das gotas que estavam depositadas nos fios coletores. Em seguida dava-se início à retirada dos fios coletores de acordo com sua distribuição dentro da seção testes do túnel de vento. A retirada dos fios foi realizada por duas pessoas por meio de um alicate e depositados individualmente em sacos plásticos transparentes, fechados e armazenados em outro saco plástico escuro para melhor proteção das amostras. Após a coleta, foi adicionado 15 mL de água destilada dentro do saco plástico, agitados manualmente e o líquido acondicionado em potes plásticos de 100 mL com tampas e lacres. A medida do volume de água de lavagem foi feita por meio de dispensador calibrado com precisão de 0,01 mL.

Após a lavagem de todos os fios coletores, o líquido contido nos recipientes foi analisado em um espectrofotômetro UV-visível de duplo feixe, modelo Cintra 20, operando com 3 mm de caminho óptico cujos resultados em absorbância no comprimento de onda de 630 nm para o corante Azul Brillhante, foi transformado em ppm por meio de confecção de curvas-padrão a partir de concentrações conhecidas. Esse procedimento foi feito para cada tratamento, por meio da amostra da calda utilizada no ensaio. Os depósitos referentes a cada posição de coleta foram avaliados individualmente, possibilitando representar a distribuição dos tratamentos ao longo de toda seção de testes, conforme realizado por Moreira Júnior (2009).

Os dados foram transformados em deriva expressa em percentual do volume total de calda aplicada. Foram feitas análises dos depósitos ao longo das distâncias e alturas de coleta e também do depósito total de cada adjuvante ensaiado pela soma total das porcentagens de depósito de corante nos oito fios coletores, por meio do percentual médio nas três repetições.

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%. Essas restrições foram necessárias para garantir que fosse possível comparar os resultados obtidos nos vários dias de experimento.

5.4 Delineamento estatístico

O trabalho foi constituído de 33 tratamentos (adjuvantes em diferentes concentrações) + testemunha adicional (água) com três repetições (Tabela 2). Estas concentrações utilizadas representam situações reais de uso em campo. Para todos os dados verificou-se anteriormente 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 ou teste de Tukey a 5% de probabilidade. Após a comparação dos tratamentos para todas as variáveis avaliadas, correlações de Pearson ($P < 0,05$) foram realizadas para verificar as associações entre a deriva e as demais variáveis. Ainda foi utilizado análise de componentes principais para detalhar e quantificar a importância de cada variável na variabilidade dos dados e as interações

entre a deriva, os adjuvantes, espectro de gotas, tensão superficial, viscosidade e densidade. Para todas as análises foi utilizado o programa STATISTICA (STAT SOFT, 2007).

Tabela 2. Tratamentos constituídos pelos diferentes adjuvantes e concentrações

Tratamentos ^{1/}	Concentração (v v ⁻¹ e m v ⁻¹)
T1 - Água destilada	100,00%
T2 - AgBem	0,05%
T3 - AgBem	0,10%
T4 - Agral	0,10%
T5 - Agral	0,20%
T6 - Agrex Oil	10,00%
T7 - Agróleo	5,00%
T8 - Antideriva	0,05%
T9 - Antideriva	0,10%
T10 - BreakThru	0,10%
T11- Define*	0,06%
T12 - Define*	0,12%
T13 - Grip	0,165%
T14 - Grip	0,30%
T15 - Grip	0,60%
T16 - Haiten	0,10%
T17 - Intec	0,05%
T18 - Intec	0,10%
T19 - Joint Oil	0,10%
T20 - LI700	0,50%
T21 - LI700	0,10%
T22 - LI700 + Nimbus	0,25%
T23 - Nimbus	0,50%
T24 - Nimbus	1,00%
T25 - Nutrifix	0,05%
T26 - Nutrifix	0,10%
T27 - Silwet	0,10%
T28 - Silwet	0,20%
T29 - TA35	0,06%
T30 - TA35	0,20%
T31 - TactTic	0,13%
T32 - TactTic	0,26%
T33 - Veget Oil	1,00%

^{1/} A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor. * Concentração em m v⁻¹.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 7 estão apresentados os valores de tensão superficial para todos os adjuvantes avaliados nas diferentes concentrações. Quando comparados com a água (76 mN m^{-1}), todos os tratamentos reduziram significativamente a tensão superficial. Entre os adjuvantes, observa-se que o Define 0,06% ($63,22 \text{ mN m}^{-1}$) e Define 0,12% ($60,57 \text{ mN m}^{-1}$) apresentou os maiores valor de tensão superficial com diferenças significativas para os demais adjuvantes. Os menores valores de tensão foram observados para os organossilicones Silwet 0,1% ($19,32 \text{ mN m}^{-1}$), Silwet 0,2% ($17,35 \text{ mN m}^{-1}$) e o BreakThru 0,1% ($18,9 \text{ mN m}^{-1}$) seguidos pelo TacTic 0,26% ($20,58 \text{ mN m}^{-1}$). Em trabalho realizado com o Silwet, o BreakThru e o Haiten, Montório (2001) obtiveram resultados que confirmam a mesma tendência encontrada, ou seja, maior capacidade de redução de tensão para os organossilicones e menores para o Haiten ($32,04 \text{ mN m}^{-1}$). Mendonça et al. (1999) e Costa (1997) utilizaram-se da mesma metodologia para estudar os efeitos de surfatantes sobre a tensão superficial em soluções de glifosate e rodeo, encontrando valores de tensão superficial menores para o grupo dos surfatantes organossilicones.

Em geral, 12% dos adjuvantes apresentaram tensão superficial abaixo de 20 mN m^{-1} , 69% apresentaram tensão superficial com valores entre 20 e 37 mN m^{-1} e 19% apresentaram valores maiores que 37 mN m^{-1} . Para todos os adjuvantes o aumento da concentração proporcionou redução significativa dos valores de tensão superficial, com maiores diferenças para o Nutrifix e o AgBem (0,05% para 0,1%), com redução de 32% e 39%, respectivamente, em relação a água destilada.

A maioria dos produtos reduziu a tensão superficial para valores abaixo de 40 mN m^{-1} , sendo que apenas os organossilicones (Silwet e BreakThru) e o TactTic 0,26% alcançaram valores próximos ou abaixo de 20 mN m^{-1} . No outro extremo da escala, os produtos Define, Nutrifix, AgBem e Grip 0,165% foram aqueles que resultaram nas maiores tensões, demonstrando menor poder surfatante. Analisando-se os resultados de maneira geral, observa-se que a simples classificação de “espalhante” poderia ser adotada para a maioria dos adjuvantes, mas isso não representa a realidade da ação dos mesmos. Se observada apenas pela ótica da tensão superficial, a classificação se torna simplista, colocando no mesmo grupo funcional produtos como o Agral e os óleos vegetais Veget Oil e Agrex Oil, adjuvantes com funções claramente distintas. Ainda, apenas no caso de Silwet, BreakThru e TacTic 0,26% o efeito de redução de tensão foi tão evidente que justificaria a classificação simples como “espalhante”. Entende-se, portanto, que é necessário definir critérios mais objetivos quanto ao poder de redução da tensão superficial para que se possa classificar produtos como “espalhantes”.

Na Figura 8 estão apresentados os valores de condutividade elétrica para os tratamentos. Todas as soluções com os adjuvantes apresentam condutividade elétrica maior que a água. Foram observadas diferenças significativas pelo intervalo de confiança ($P < 0,05$) entre os diferentes adjuvantes e concentrações. Os tratamentos LI700 apresentaram os maiores valores de condutividade, com diferenças significativas para os demais tratamentos. Para todos os adjuvantes, o aumento da concentração proporcionou incremento significativo na condutividade elétrica. Segundo Rheinheimer e Souza (2000), valores de condutividade elétrica elevados na calda indicam a presença de grandes quantidades de íons, os quais podem diminuir a eficiência biológica de ingredientes ativos, com potencial para diminuir a sua disponibilidade, como no caso da reação dos íons de 2,4-D com Ca^{+2} e Mg^{+2} e da quelação desses íons pelo glifosate. Entretanto, como nestas caldas a mistura foi realizada apenas com o

adjuvante e água destilada (sem a presença de Ca^{+2} e Mg^{+2} na água, por exemplo), a elevação da condutividade elétrica se deu em função das características intrínsecas das formulações dos adjuvantes.

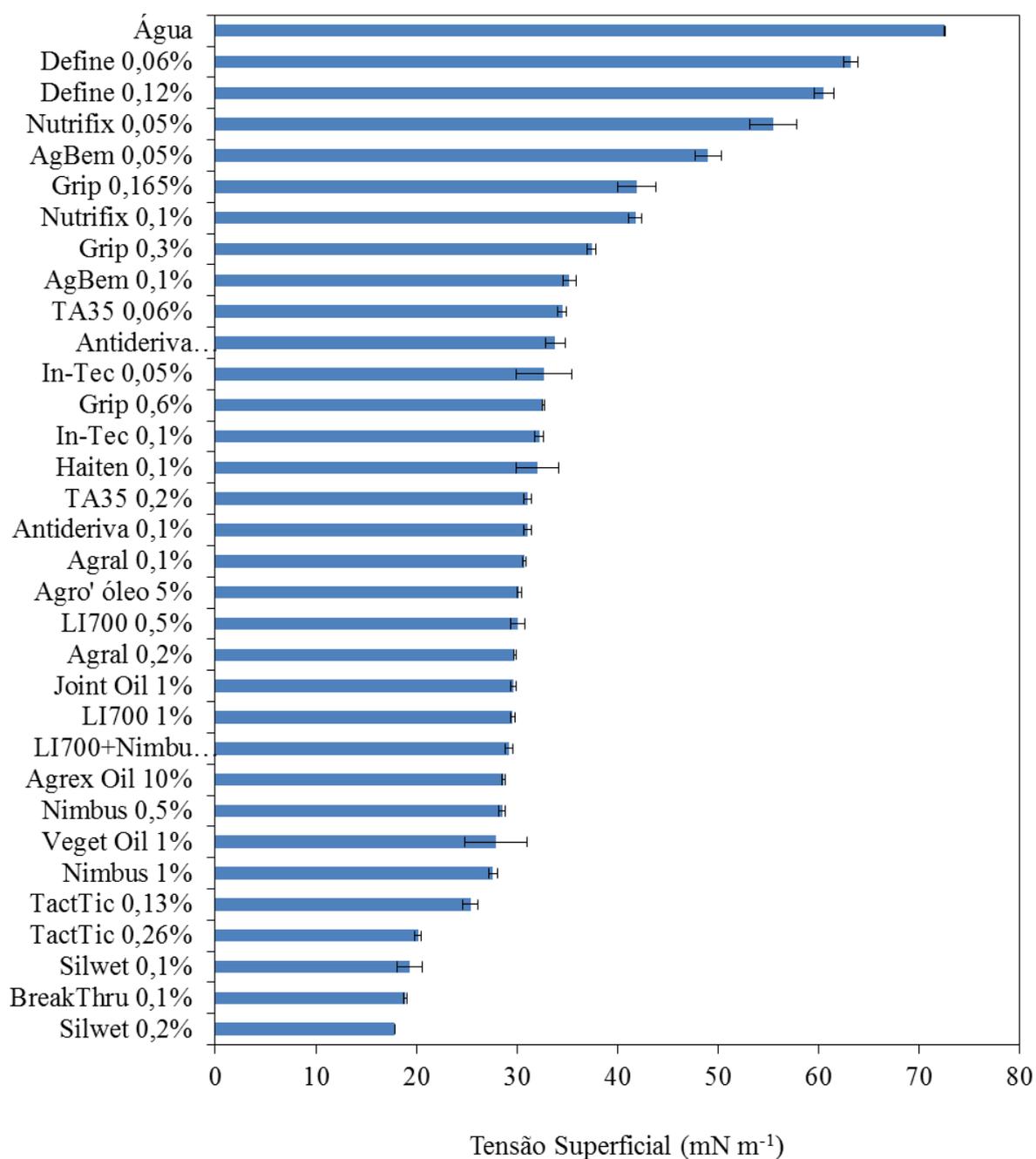


Figura 7. Valores de Tensão Superficial (médias \pm IC_{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações.

É importante ressaltar, por outro lado, que os valores observados quanto à condutividade elétrica nestas caldas não representam grande potencial de influência na interação com ingredientes ativos, independentemente da ocorrência de diferenças significativas entre tratamentos.

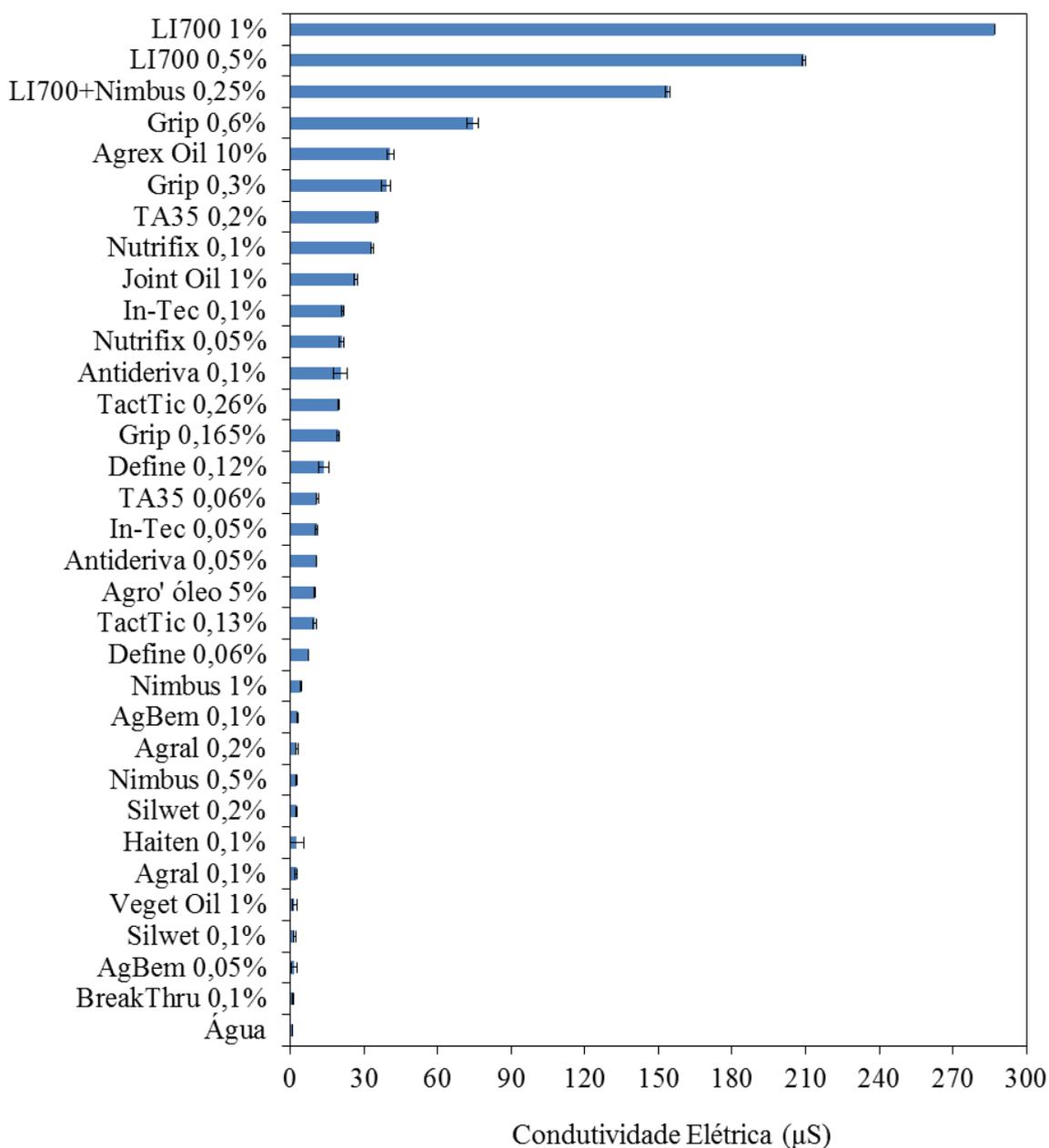


Figura 8. Valores de Condutividade Elétrica (médias \pm IC_{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações.

Na Figura 9 são apresentados os valores médios de densidade para todos os adjuvantes em diferentes concentrações. Observou-se que a presença de adjuvantes reduziu a densidade das soluções, com algumas diferenças significativas entre tratamentos. Entretanto, os valores encontrados foram todos próximos à densidade da água ($1,0 \text{ g cm}^{-3}$). O menor valor de densidade encontrado foi para o surfatante BreakThru 0,1% ($0,9867 \text{ g cm}^{-3}$) e o maior para a mistura dos adjuvantes LI700 + Nimbus na concentração de 0,25% cada ($0,9999 \text{ g cm}^{-3}$). 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.

Na Figura 10 estão apresentados os valores médios da viscosidade para todos os adjuvantes avaliados. Os adjuvantes AgBem 0,05% e Agral 0,1% apresentam os menores valores de viscosidade (0,97 e 0,99 mPa s, respectivamente), sem diferenças significativas quando comparados com água. O adjuvante Define apresentou a maior viscosidade (2,71 e 1,67 mPa s) nas concentrações de 0,06% e 0,12%, respectivamente. Conforme McMullan (2000), os adjuvantes a base de polímeros tendem a alterar as propriedades viscoelásticas da pulverização onde o líquido tende a resistir ao alongamento e ao aumento da taxa de cisalhamento. Com a alteração desses dois fatores o líquido formado pelas pontas será mais grosso, gerando um espectro de gotas com maior DMV e menor fração de gotas finas. O outro grupo de adjuvantes com maiores viscosidades foram o Agrex Oil 10% (1,35 mPa s), LI700 1% (1,30 mPa s), LI700 0,5% (1,18 mPa s) e Agro'óleo 5% (1,17 mPa s).

Em comparação com a água os maiores acréscimos de viscosidade foram observados para o Define 0,12% (171%), Define 0,06% (67%), Agrex Oil 10% (35%) e LI700 1% (30%). Segundo Reichard e Zhu (1996), os adjuvantes que aumentam a viscosidade são adicionados as caldas para aumentar o diâmetro mediano volumétrico (DMV) e, conseqüentemente, reduzir a deriva e muitos pesquisadores têm investigado os efeitos de sua adição.

Com exceção do In-Tec, observa-se que o aumento na concentração dos demais adjuvantes propiciou incrementos nos valores de viscosidade.

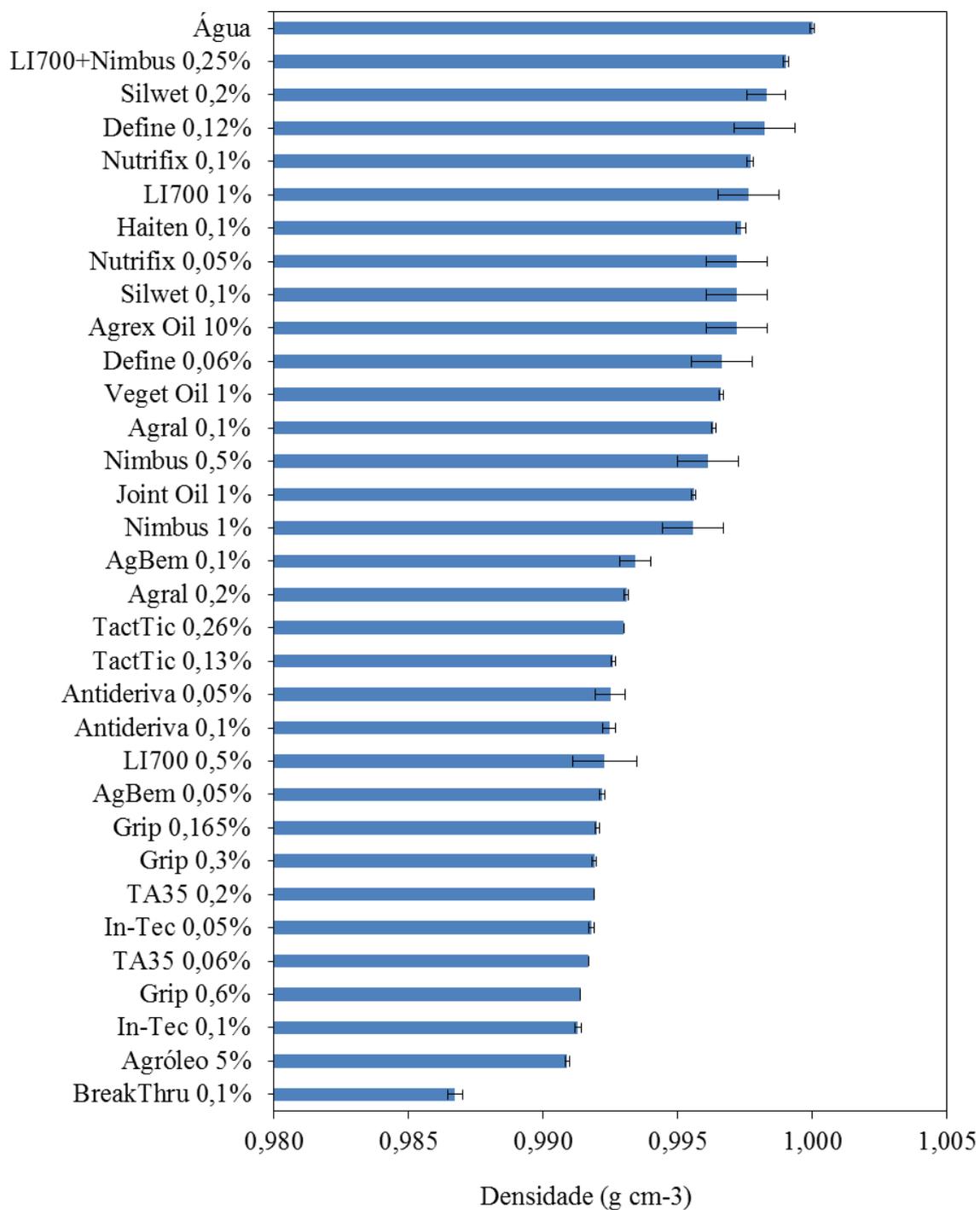


Figura 9. Valores de Densidade (médias \pm IC_{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações.

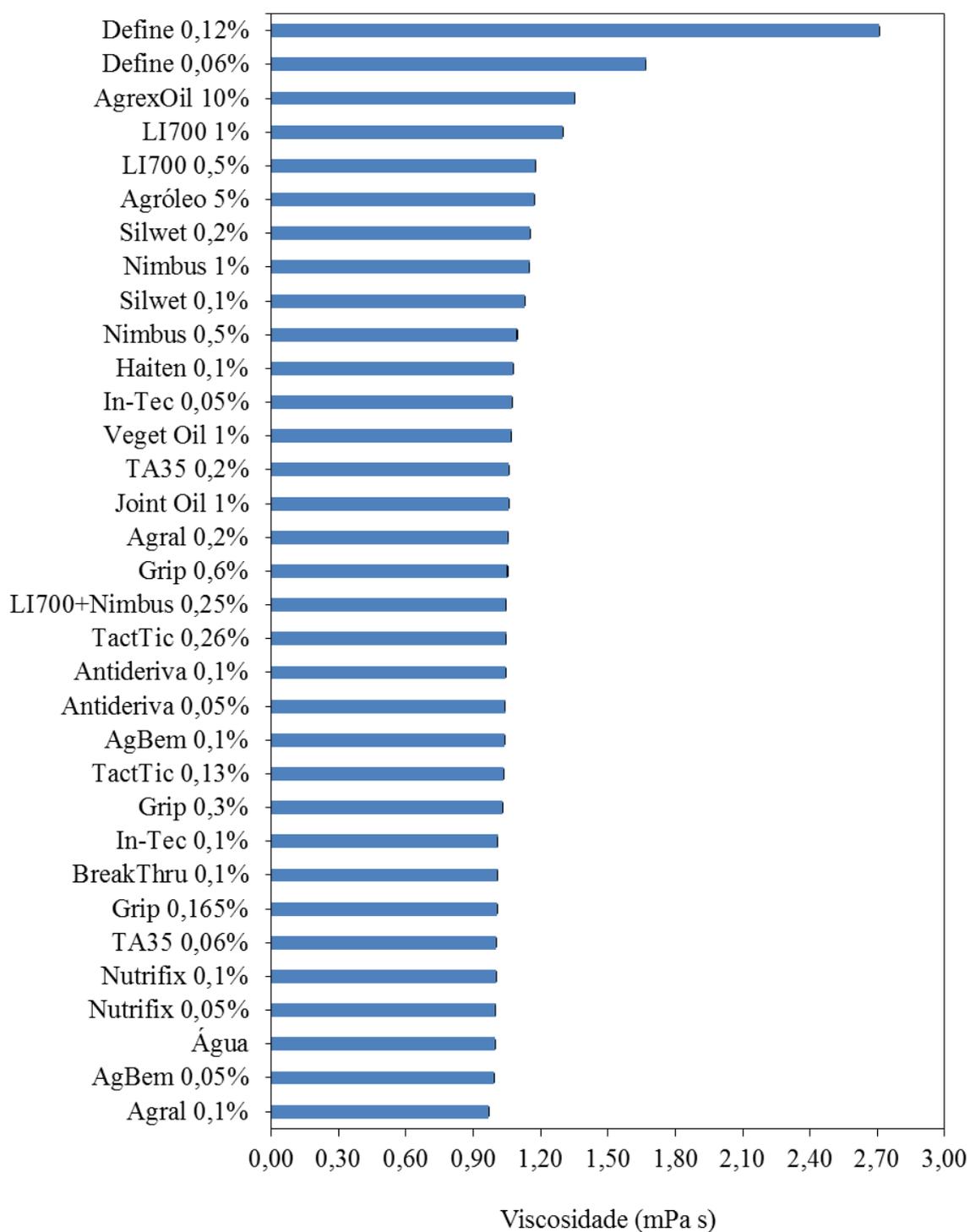


Figura 10. Valores de viscosidade (médias \pm IC_{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações.

Na Figura 11 estão apresentados os valores de DMV para os diferentes adjuvantes e concentrações. Os valores de DMV variaram de 173,05 μm para o TA35 0,2% a 295,42 μm para o Define 0,12%. O Define 0,12% (295,42 μm), LI700 0,5% (278,30 μm) e Nimbus 0,5% (245,09 μm) apresentaram os maiores valores de DMV com diferença significativa entre si e entre os demais adjuvantes. Em relação ao adjuvante Define os resultados corroboram com o exposto por Hewit (1998) de que os adjuvantes a base de goma, poliácridamidas e polissacarídeos são adjuvantes denominados de agentes controladores de deriva porque tendem a aumentar o DMV e reduzir o percentual de gotas menores do que 100 μm (V100). Ainda, segundo Spanoghe et al. (2007), os adjuvantes de polímeros podem aumentar o DMV em limites de 45% até mais de 145% em comparação com a água.

Comparando os adjuvantes Agral 0,1% com o adjuvante LI700 0,5%, observou-se que o LI700 proporciona um aumento de 29% no DMV em relação ao Agral. Apesar de usar diferente ponta, os resultados apresentam a mesma tendência dos resultados encontrados por Butler Ellis et al. (1997). Avaliando o efeito de alguns adjuvantes no espectro de gotas gerado por pontas de jato plano os autores obtiveram um aumento de 11% no DMV na solução com LI700 0,5% em relação ao Agral 0,1%.

Em geral, o DMV é dependente da concentração do adjuvante. Com exceção do adjuvante Define os demais adjuvantes reduzem os valores de DMV com o aumento da concentração na calda. Neste caso, constata-se que em 12 adjuvantes que contém variação na concentração utilizada, 91% reduzem o DMV com aumento da concentração e que apenas 9% tem relação inversa, ou seja, aumentam o DMV com acréscimo da concentração. Para os resultados do Define, Bouse et al. (1988), concluíram que a concentração do polímero pode influenciar na pulverização e que quanto maior a concentração maior é o DMV até atingir o equilíbrio que é particular de cada adjuvante. Os efeitos da concentração e do tipo de polímero no espectro de gotas também foram discutidos por Spanoghe et al. (2007).

Em geral, todos os adjuvantes proporcionam alteração no DMV, com os adjuvantes TA35 (0,2%) reduzindo significativamente e Grip (0,6%), TacTic (0,26%) e a mistura de LI700 0,25% + Nimbus 0,25% sem diferenças significativas em comparação com a água. Os demais aumentam o DMV em comparação com a água

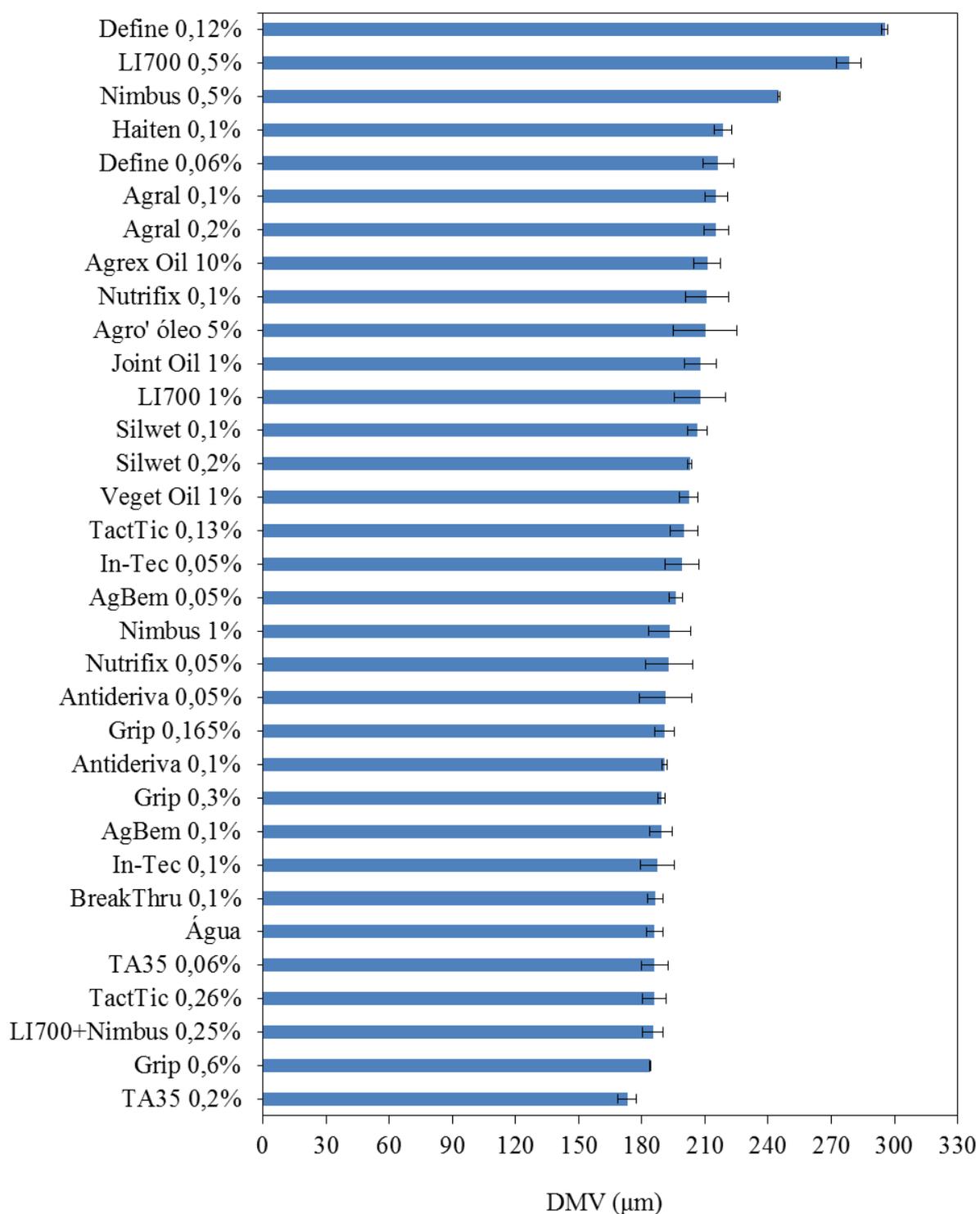


Figura 11. Valores de DMV (médias \pm IC_{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).

Nas Figuras 12 e 13 estão apresentados os valores do percentual de gotas menores do que 50 e 100 μm (V50 e V100). De acordo com os resultados observou-se tendência de maiores valores de V50 para os óleos vegetais, com maiores valores para o Agro'óleo (3,31%), Agrex Oil (3,25%) e Veget Oil (2,90%). O Define 0,12% apresentou o menor valor (1,44%). Entre os adjuvantes que apresentaram o maior valor (3,31%) e o menor valor (1,44%), apesar de serem diferentes entre si, eles não apresentaram diferença com a água (2,59%). Na comparação com a água, observou-se redução de 28% para o Define 0,12% e aumento de 55% para o Agro'óleo. Segundo Ozkan (2000), em aplicações com pulverizadores de barra, as gotas iguais ou menores que 50 micrometros (μm) evaporam completamente antes de alcançar o alvo, permitindo que o produto puro se disperse.

Os adjuvantes que apresentam os menores valores de V100 foram o LI700 0,5% (6,8%), Define 0,12% (7,5%) e Nimbus 0,5% (8,65%). Comparando os valores do LI700 0,5 (6,8%) e o Agral 0,1% (15,62%), observa-se que o LI700 0,5% reduz em 43,44% o V100. Apesar de ser utilizado diferentes pontas, resultados semelhantes foram encontrados por Butler Ellis et al. (1997) com valores de 1,6% para o LI700 0,5% e 3,6% para o Agral 0,1%, mostrando uma redução de 44,44% do V100 auxiliando na confirmação dos resultados obtidos neste estudo. De forma prática, segundo Miller e Stoughton (2000), gotas muito finas podem ficar suspensas no ar em condições de estabilidade atmosférica (ausência de vento) e, então, serem dispersas como outros poluentes a até centenas de quilômetros do local de aplicação. Cunha et al. (2003) verificaram que as gotas de diâmetro reduzido ($< 100 \mu\text{m}$) são biologicamente mais eficazes, entretanto, pouco seguras sob o ponto de vista ambiental, devido ao elevado potencial de deriva.

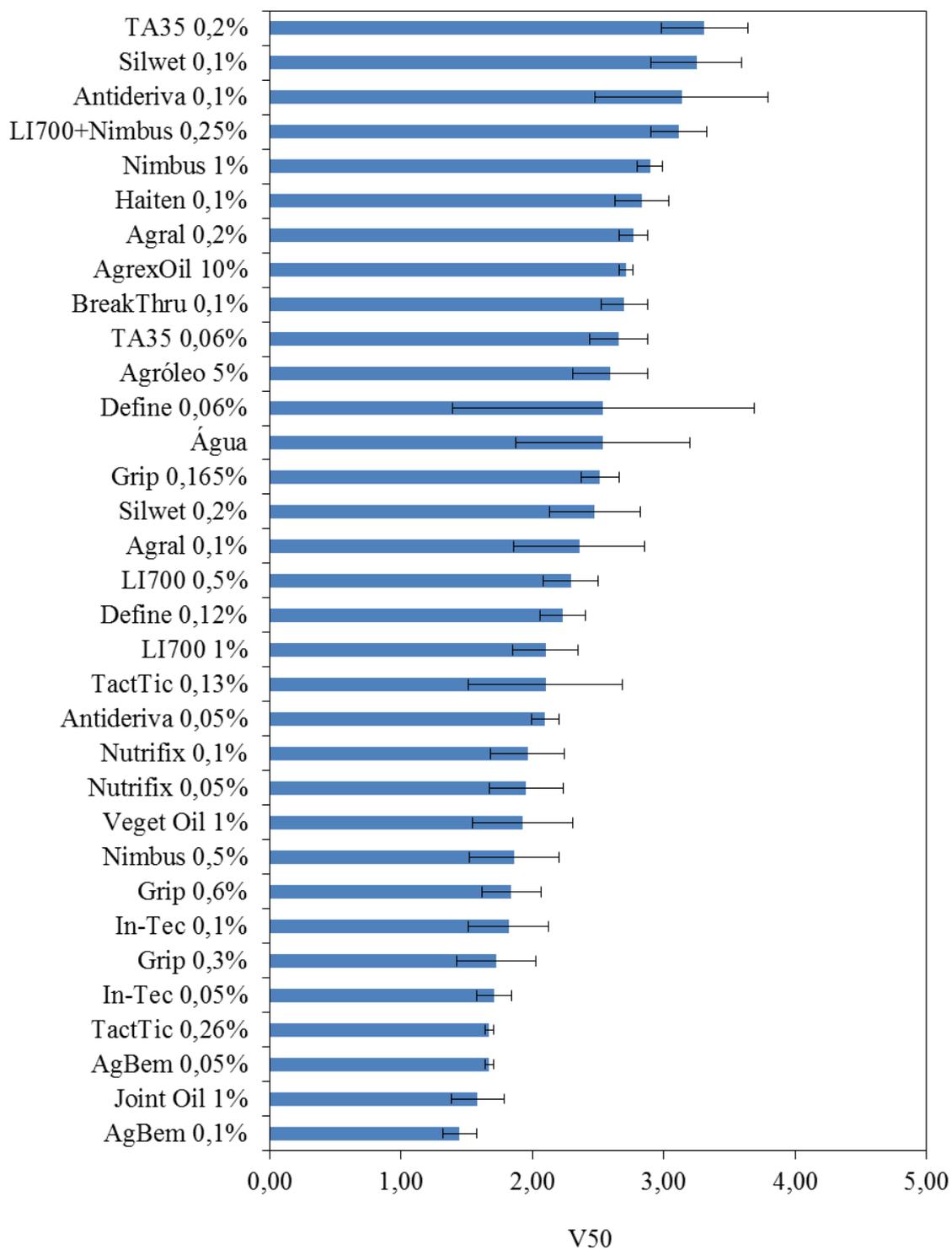


Figura 12. Valores do percentual de gotas menores do que 50 μm (médias \pm IC_{50%}) dos diferentes adjuvantes (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).

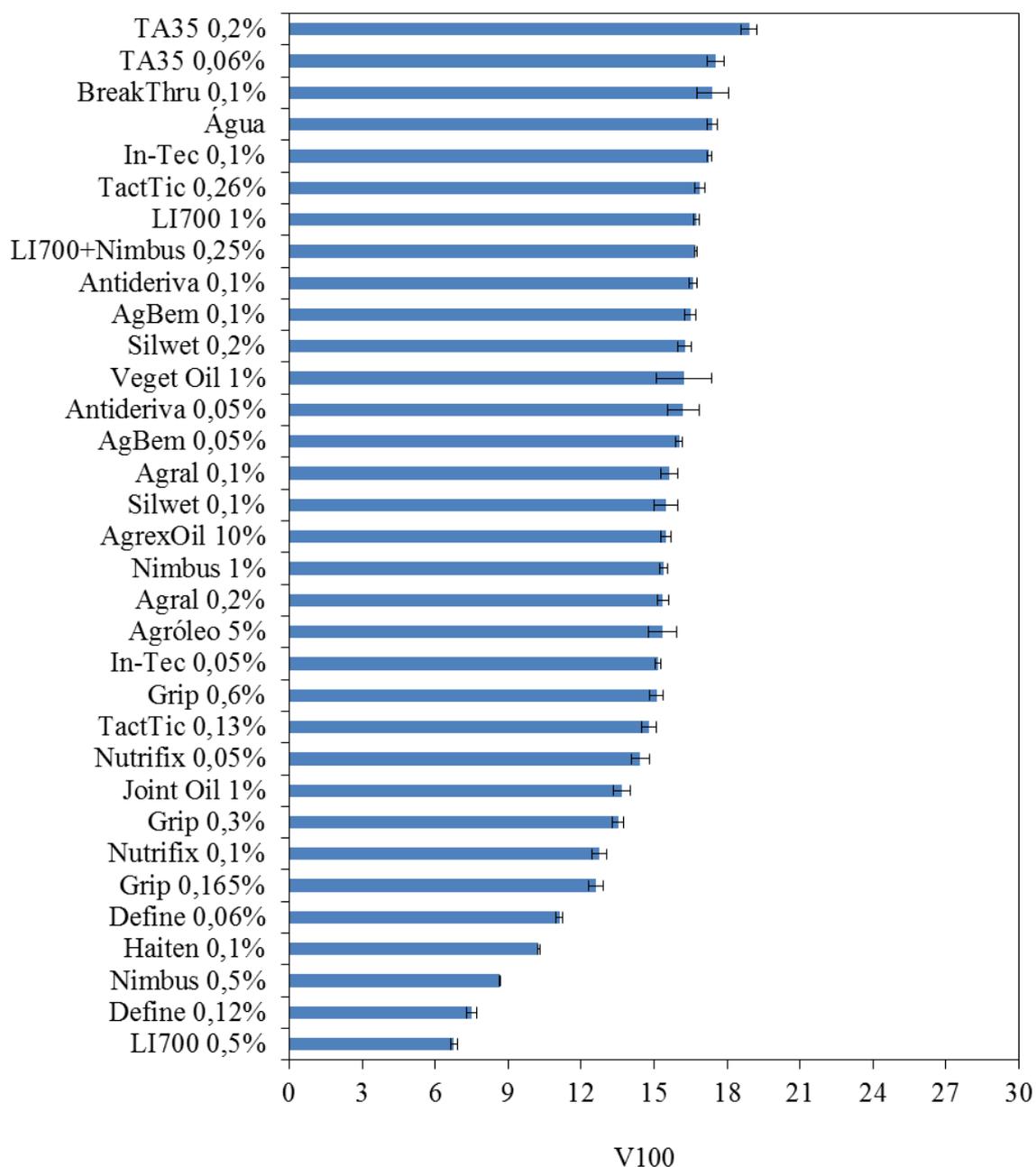


Figura 13. Valores do percentual de gotas menores do que 100 μm (médias \pm IC_{5%}) dos diferentes adjuvantes (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).

Na Figura 14 estão apresentados os valores médios do DV_{0,1} para os diferentes adjuvantes e concentrações. O DV_{0,1} é o diâmetro em que 10% do volume de

líquido pulverizado estão em gotas menores que esse diâmetro (CRISTOFOLETTI, 1999a). O adjuvante LI700 0,5% (112,75 μm), Define 0,12% (106,75 μm) e Nimbus 0,5% (99,68 μm) apresentaram os maiores valores de $DV_{0,1}$ com diferenças significativas entre eles e para os demais adjuvantes.

Quanto a Amplitude Relativa (Figura 15) observa-se que o adjuvante Nutrifix 0,1% apresenta os menores valores (1,25), indicando maior uniformidade no espectro de gotas. Segundo Cristofolletti (2004), a Amplitude Relativa é uma medida adimensional que expressa a variação do tamanho de gotas individuais em relação ao DMV e que quanto menor for o seu valor mais homogêneo será o espectro de gotas da pulverização. A maior Amplitude Relativa foi para o Define 0,06%, indicando um espectro de gotas mais heterogêneo em relação aos demais adjuvantes.

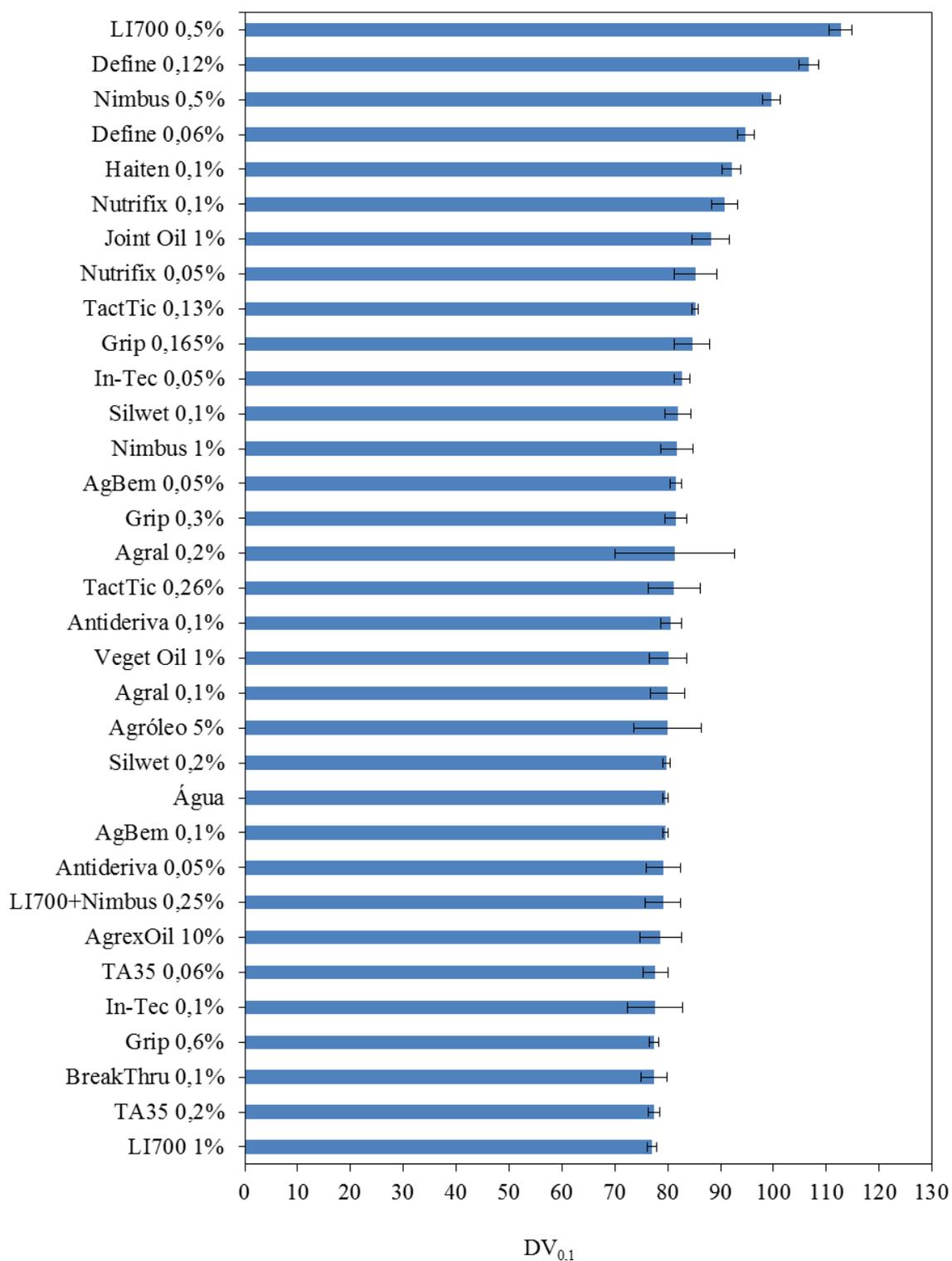


Figura 14. Valores de $DV_{0,1}$ (médias \pm $IC_{5\%}$) dos adjuvantes em diferentes concentrações (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).

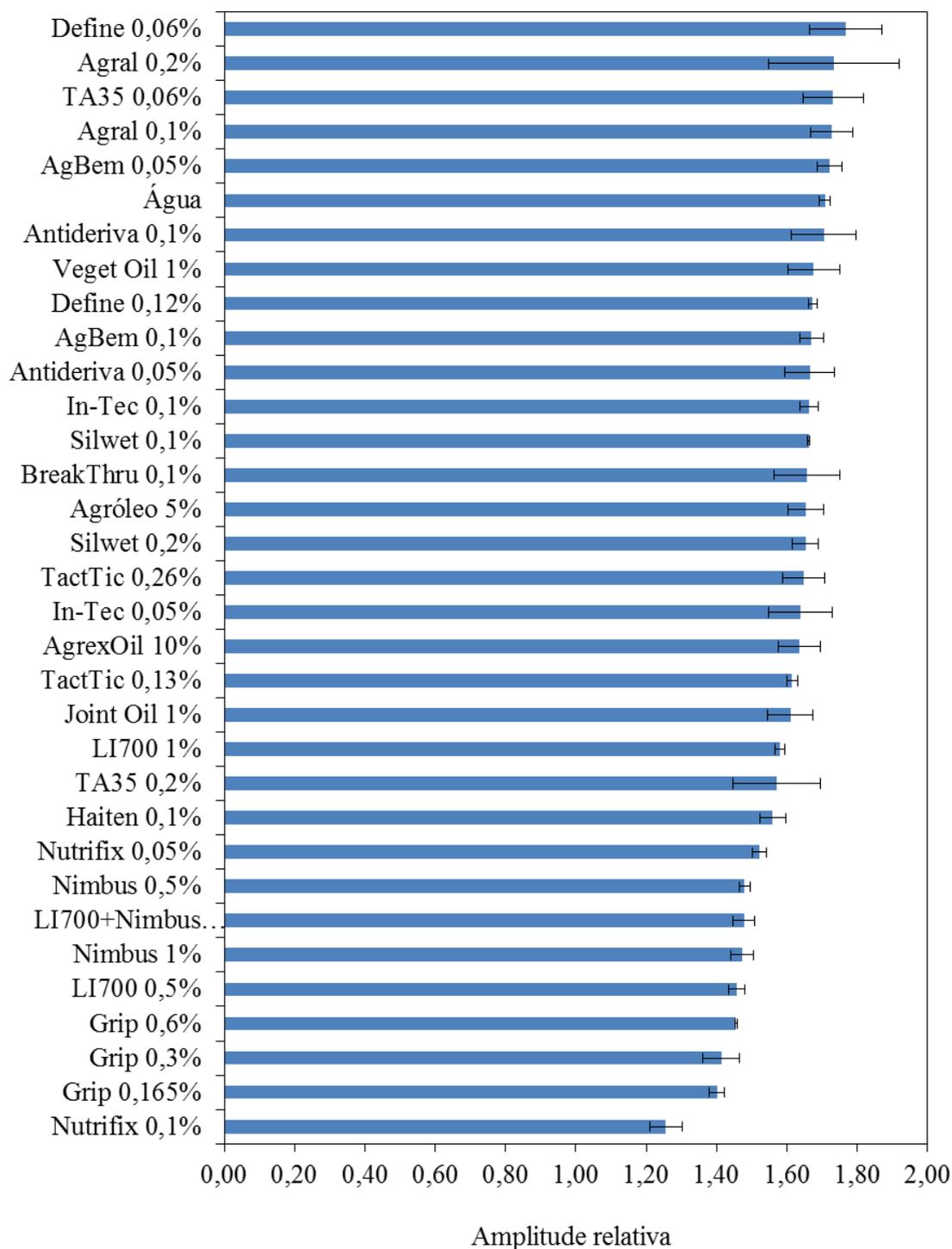


Figura 15. Valores de Amplitude Relativa (médias \pm IC_{5%}) dos adjuvantes em diferentes concentrações (ponta XR 8003 VK a 200 kPa).

Na Figura 16 estão apresentados os valores de deriva (%), medida em túnel de vento, proporcionada pelos diferentes adjuvantes e concentrações. Observa-se que o adjuvante Define 0,12% apresentou a menor deriva com diferença significativa para os demais tratamentos. Verifica-se uma redução de 78,60% de deriva em comparação com a água. Depois do Define 0,12%, os adjuvantes que apresentaram os menores valores de deriva em ordem crescente são constituídos pelo LI700 0,5%, Nimbus 0,5%, Nimbus 1%, LI700 1% e Define 0,06%.

A adição dos adjuvantes proporciona alterações no percentual de deriva para todas as soluções formuladas. Verifica-se que 78% dos adjuvantes apresentaram deriva menores que a água. Estudos anteriores, realizados por Wolf (2000) mostram que a adição de adjuvante à calda de pulverização altera o espectro de gotas pulverizadas e reduzem o risco potencial de deriva. Em comparação com a água os adjuvantes que aumentam o risco de deriva foram o In-Tec 0,1% (27,12%), Antideriva 0,1% (26,61%), Antideriva 0,05% (24,26%), BreakThru 0,1% (23,04%), Grip 0,165%(22,88%), In-Tec 0,05% (11,89%) e 5,34% Haiten 0,1% (10,80%).

Apenas o adjuvante Define mostrou uma relação inversa entre a deriva e a concentração, ou seja, o aumento da concentração promoveu redução do risco de deriva, enquanto os demais adjuvantes esta relação foi diretamente proporcional, ou seja, o aumento da concentração proporcionou incremento nos valores de deriva.

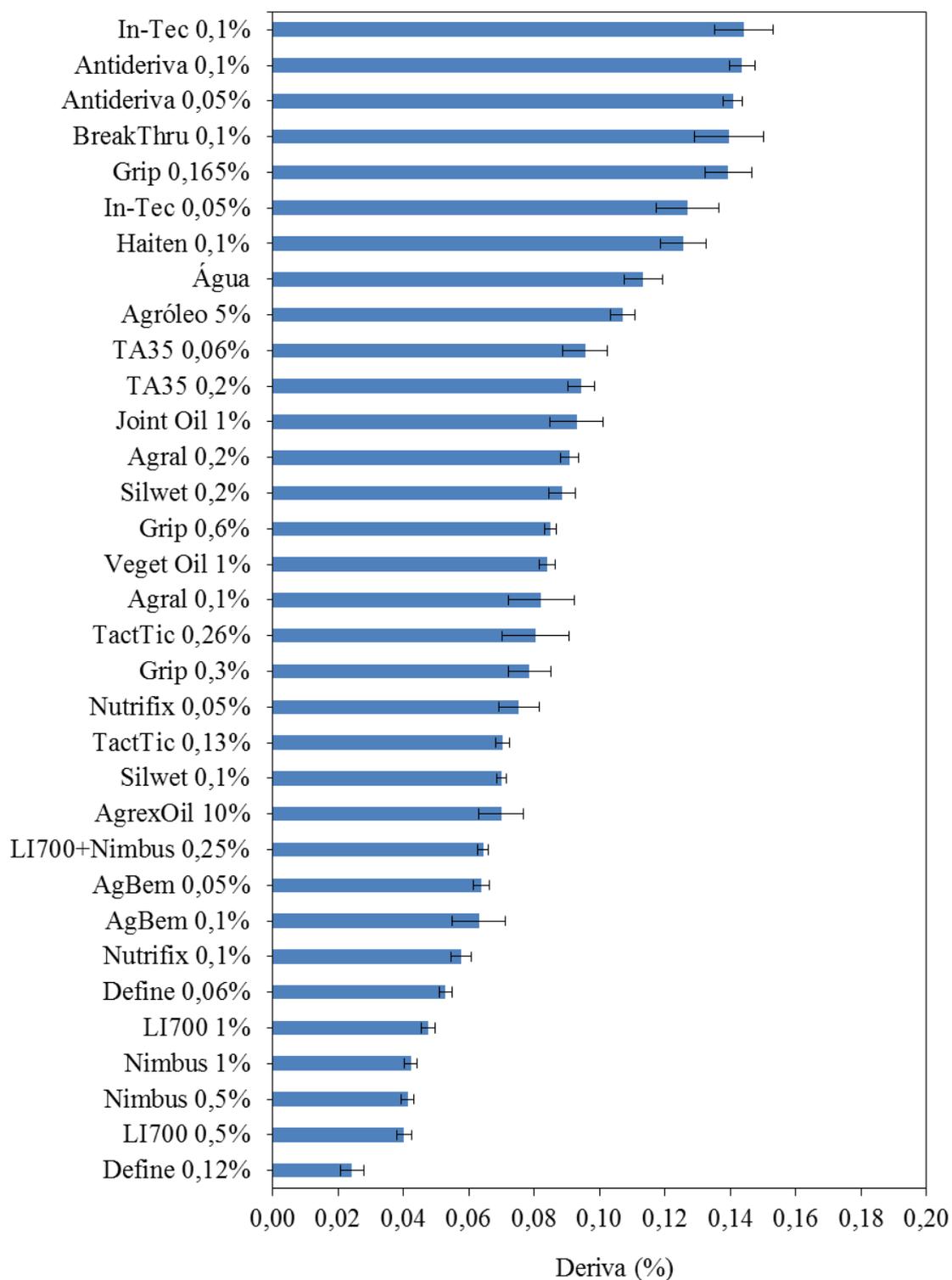


Figura 16. Percentual de Deriva (médias \pm IC_{5%}) proporcionada pelos adjuvantes em diferentes concentrações.

Na Tabela 3 está apresentada a correlação entre as variáveis físicas das soluções e as variáveis do espectro de gotas. A maior correlação foi entre o DMV e o $DV_{0,1}$ ($r=0,86$), indicando que o espectro de gotas com maiores $DV_{0,1}$ correspondem espectro com maiores DMV. Observou-se uma relação diretamente proporcional entre a viscosidade e o DMV ($r=0,67$). Segundo Reichard e Zhu (1996), o incremento na viscosidade da calda aumenta o DMV e, conseqüentemente, reduz o número de gotas propensas à deriva. Matuo et al. (1989), relatam que o aumento da viscosidade está associada à geração de gotas de pulverização maiores e, portanto, com efeito no potencial de deriva de uma aplicação.

Correlações inversamente proporcionais e significativas foram entre o V50 com o DMV ($r=-0,26$), viscosidade ($r=-0,21$), tensão superficial ($r=-0,44$) e $DV_{0,1}$ ($r=-0,57$) e entre o V100 com o DMV ($r=-0,84$), viscosidade ($r=-0,48$), densidade ($r=-0,26$), tensão superficial ($r=-0,40$) e $DV_{0,1}$ ($r=-0,95$).

Tabela 3. Correlação entre as variáveis físicas das soluções com as variáveis da análise de espectro de gotas para todos os tratamentos

Variáveis	Tensão Superficial	Densidade	Viscosidade	DMV	V50	V100	$DV_{0,1}$
Tensão Superficial	-	0,15	0,53*	0,28*	-0,44*	-0,40*	0,38*
Densidade	0,15	-	0,31*	0,32*	-0,02	-0,26*	0,25*
Viscosidade	0,53*	0,31*	-	0,67*	-0,21*	-0,48*	0,50*
DMV	0,28*	0,32*	0,67*	-	-0,26*	-0,84*	0,86*
V50	-0,44*	-0,02	-0,21*	-0,26*	-	0,53*	-0,57*
V100	-0,40*	-0,26*	-0,48*	-0,84*	0,53*	-	-0,95*
$DV_{0,1}$	0,38*	0,25*	0,50*	0,86*	-0,57*	-0,95*	-

* Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Tensão Superficial em mN m^{-1} ; Densidade (g cm^{-3}); Viscosidade (mPa s); DMV (μm) e $DV_{0,1}$ (μm).

O V100 apresentou melhor correlação com as variáveis em comparação ao V50, mostrando ser mais indicada para ser correlacionada com os fatores que afetam a pulverização. Isto pode ser devido a maior variabilidade proporcionada pelo V50 nos tratamentos e a magnitude de seus valores, o que inibiu a interação com as variáveis.

Na Figura 17 está apresentada a análise de componentes principais das variáveis, mostrando suas relações e contribuições nos dois fatores (F1 e F2). Observa-se que toda a variabilidade das variáveis em função de suas correlações entre si foi resumida em dois fatores que explicam 81,49% da variabilidade total dos dados. Dentro do fator 1 o $DV_{0,1}$ ($r=0,90$) e DMV ($r=0,85$) proporcionaram as maiores contribuições e no fator 2 o V50 ($r=-0,90$). No lado do eixo positivo estão correlacionadas positivamente entre si e que quanto mais próximas as retas, maiores são suas correlações e no lado esquerdo estão as variáveis que são correlacionadas negativamente entre si. Observa-se interações mais próximas e positivas entre o $DV_{0,1}$ e a viscosidade e o DMV e relação mais afastada para a densidade. O V50 e V100 apresentaram interações negativas, porém, com magnitudes diferentes e mostram uma relação inversa com as demais variáveis.

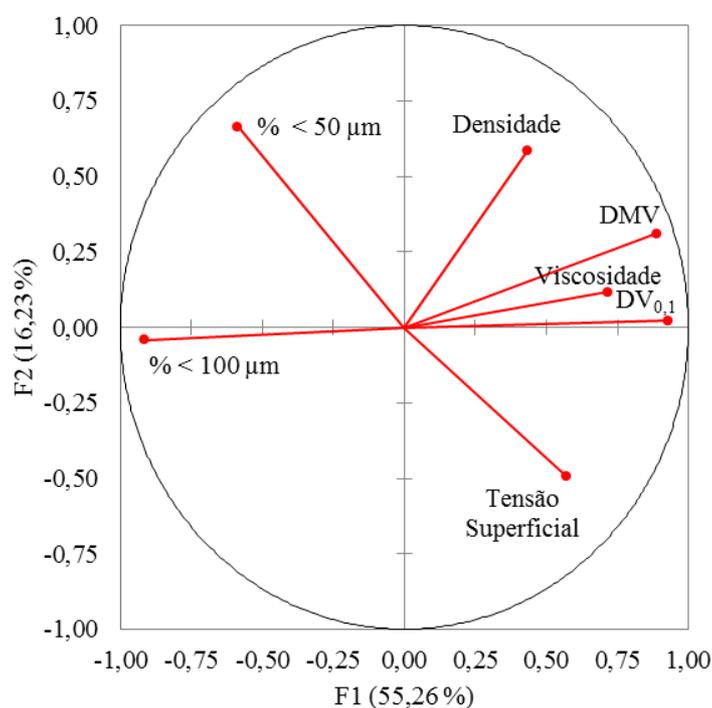


Figura 17. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das variáveis e a contribuição dentro dos fatores para os adjuvantes em diferentes concentrações.

Considerando o V100 e o DMV como as variáveis do espectro mais relacionadas com a deriva, a correlação gráfica da deriva com elas estão apresentadas nas Figuras 18 e 19. Observa-se na nuvem de dados uma correlação inversa entre a deriva e o DMV, ou seja, à medida que aumenta o DMV ocorre uma redução nos valores de deriva. Para o V100 observa-se correlação positiva, ou seja, na medida em que aumenta o V100 aumenta o potencial risco de deriva, indicando que técnicas, como a escolha correta da ponta ou o uso de adjuvantes, que reduzem o V100 podem proporcionar menores riscos de deriva. Vários pesquisadores consideram que V100 são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (MURPHY et al., 2000; OZKAN, 2000; ANTUNIASSI, 2009). Van De Zande sugere o V100 como um parâmetro para escolha do tipo de pontas para uso em campo, uma vez que o V100 apresenta uma relação linear com a deriva.

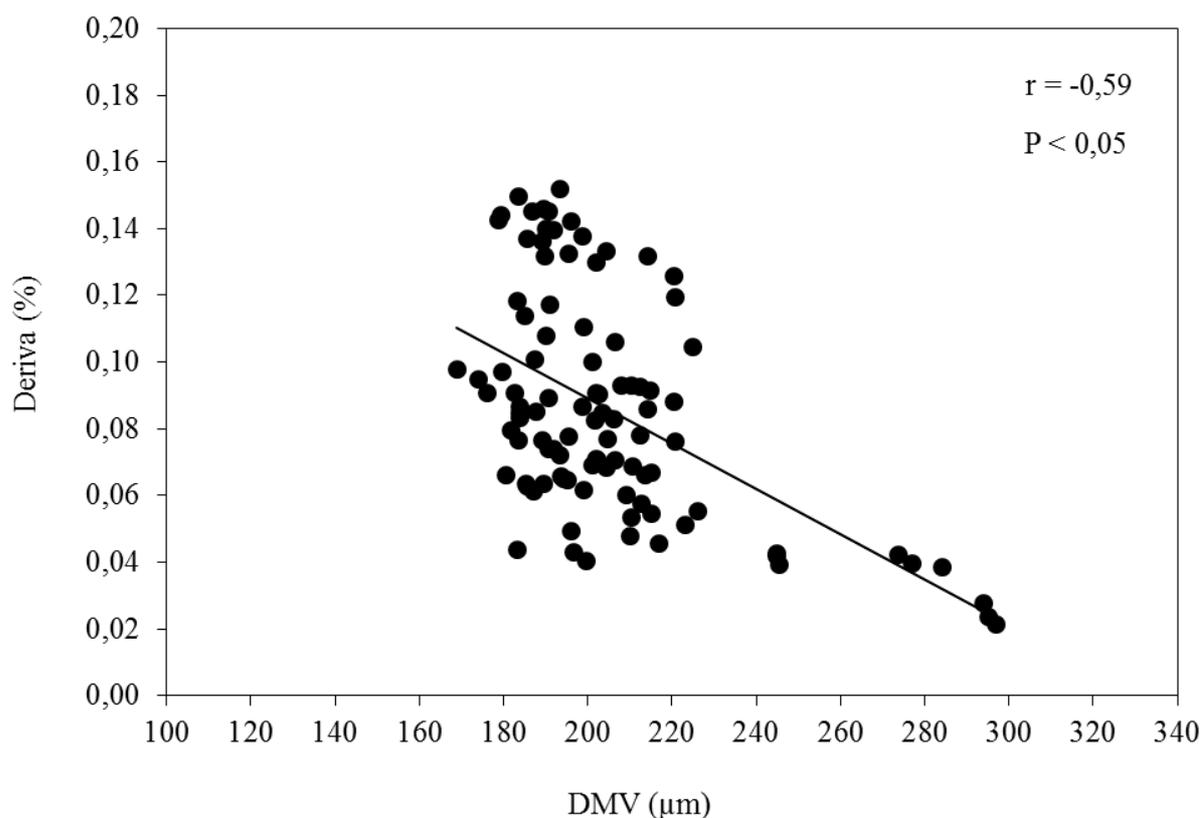


Figura 18. Correlação entre a deriva (%) e o DMV (μm) para os diferentes adjuvantes e concentrações.

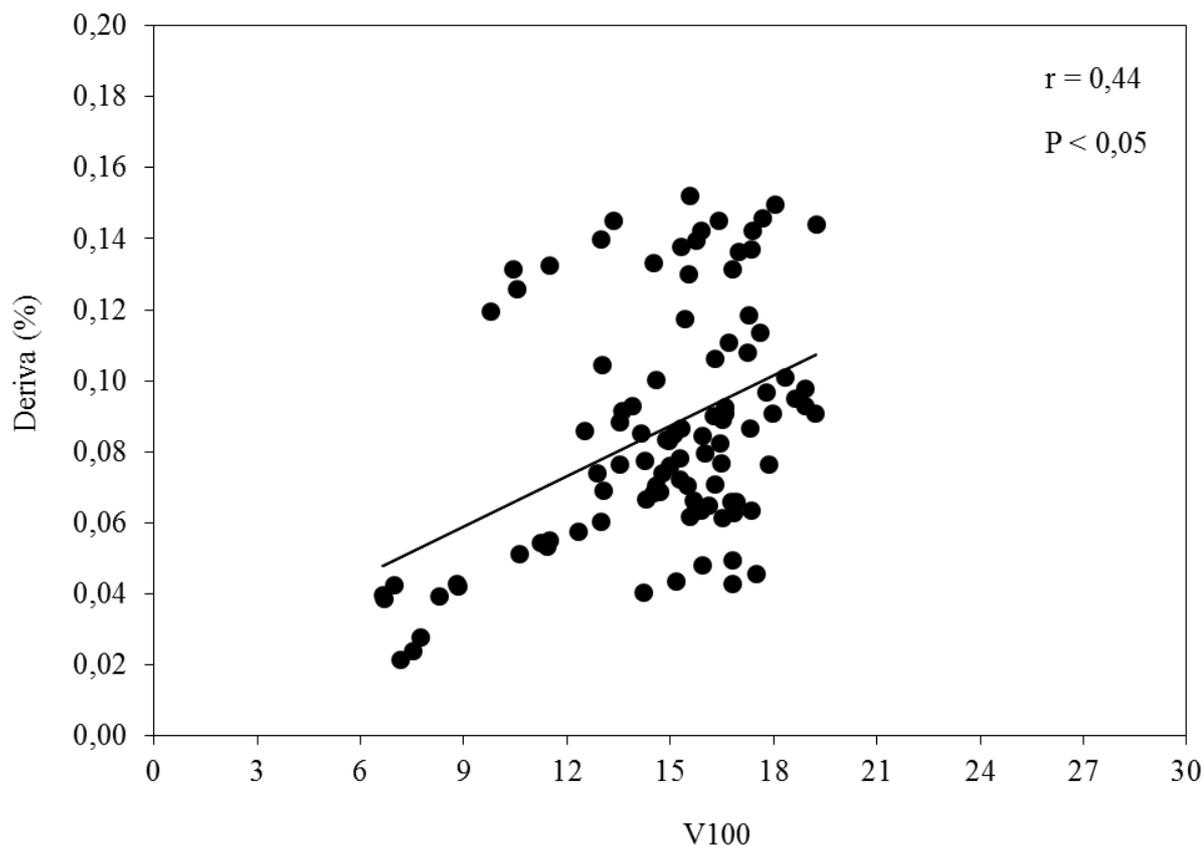


Figura 19. Correlação entre a deriva (%) e o V100 para os diferentes adjuvantes e concentrações.

Na Figura 20 está apresentada a correlação entre a deriva e as variáveis físicas e do espectro de gotas que foram significativas ($P < 0,05$) para todos os adjuvantes. Em geral, verifica-se que a deriva é mais influenciada pelas variáveis que correlacionam inversamente proporcional com maiores valores de correlação para DMV ($-0,54$), seguidos pelo $DV_{0,1}$ ($r = -0,49$), densidade ($r = -0,47$) e viscosidade ($r = -0,46$). Correlação positiva pode ser observada entre a deriva e o V100 ($r = 0,46$).

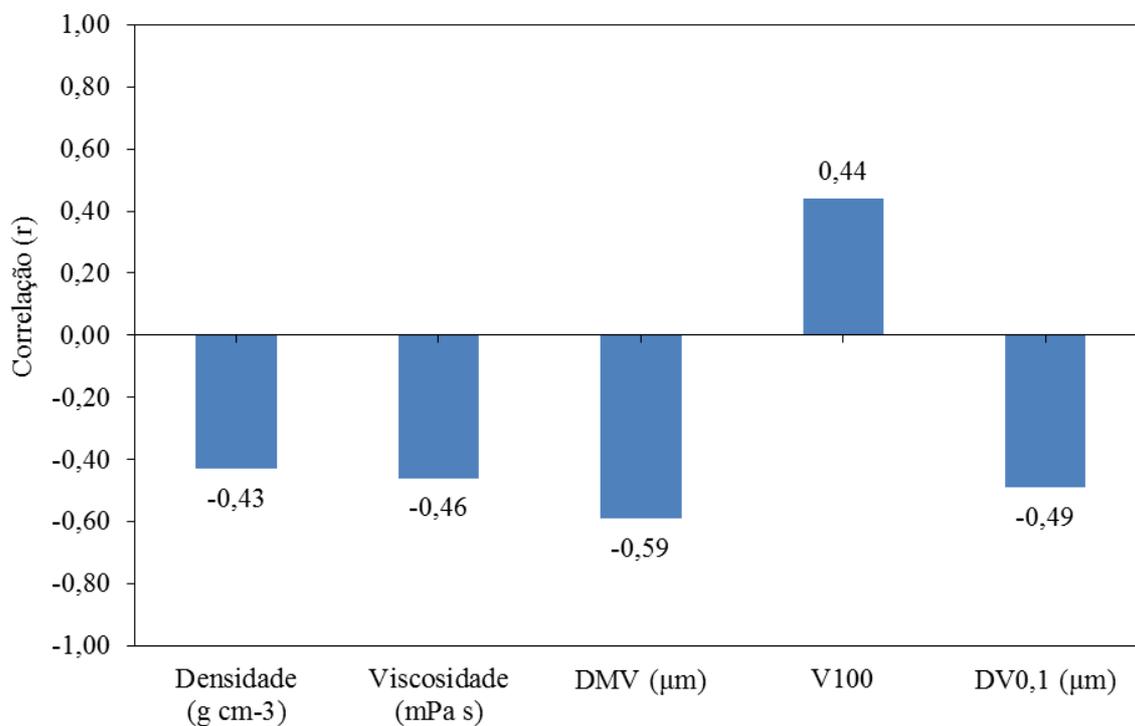


Figura 20. Correlação da deriva (%) com as variáveis físicas significativas ($P < 0,05$), para todos os diferentes adjuvantes e concentrações.

As relações e as interações das variáveis com os tratamentos estão apresentadas na Figura 21. Verifica-se a formação de quatro grupos bem distintos, sendo os agrupamentos ou afastamentos dos adjuvantes caracterizados pelos altos ou baixos valores das variáveis avaliadas. O V100 foi a variável que mais influenciou na variabilidade dos tratamentos, seguido pelo V50. O tratamento T12 (Define 0,12%) apresenta maior afastamento dos demais tratamentos, caracterizado por apresentar os maiores valores de viscosidade, densidade, $DV_{0,1}$ e DMV. Nota-se maior influência da tensão superficial nos tratamentos T11 (Define 0,06%), T26 (Nutrifix 0,1%) e T32 (TacTic 0,26%).

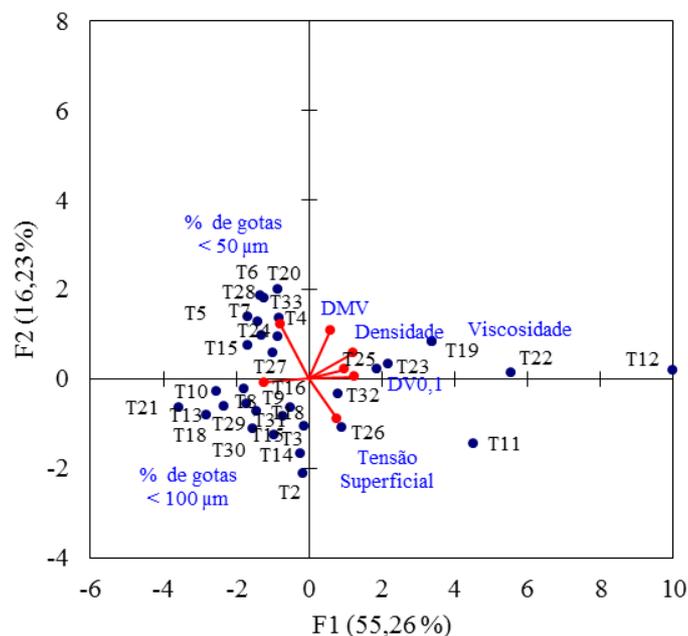


Figura 21. Representação gráfica das relações entre as variáveis físicas e as variáveis do espectro de gotas e as interações com os tratamentos.

6.1 Estudo dos adjuvantes por grupo

Para melhor entendimento e nível de detalhamento dos efeitos dos adjuvantes no espectro de gotas e no potencial risco de deriva e suas correlações e interações adjuvantes-espectro de gotas-deriva, os adjuvantes foram divididos em quatro grupos denominados de Surfatantes, Redutores de Deriva, Óleos Minerais e Óleos Vegetais. Esta divisão não representa um agrupamento definitivo, mas representa os principais grupos químicos (ou funcionais) dos adjuvantes comumente utilizados para uso agrícola no Brasil.

Na análise de correlação da deriva com as variáveis do espectro de gotas, tensão superficial, viscosidade e densidade, os surfatantes foram agrupados em dois grupos que apresentaram as melhores correlações entre as variáveis e entre si. O agrupamento foi realizado comparando as grandezas e o comportamento das variáveis e pela análise conjunta não apresentar linearidade e variância não constante entre as variáveis, o que inviabiliza a análise tornando os estimadores tendenciosos e levando a valores incorretos de inferências.

Neste contexto, o grupo 1 compreende os adjuvantes Haiten, In-Tec e Antideriva e o grupo 2 os adjuvantes Silwet, Agral e TA35.

Na Tabela 4 está apresentada a correlação entre as variáveis físicas e as variáveis do espectro de gotas das soluções de adjuvantes do grupo 1 e 2 dos surfatantes. Para o grupo 1 e 2 a maior relação inversamente proporcional foi entre o $DV_{0,1}$ e o V100 ($r=-0,95$ e $r=-0,89$, respectivamente) e o DMV e o V100 ($r=-0,77$ e $r=-0,80$, respectivamente). Relações diretamente proporcionais foram entre a Densidade, Viscosidade, DMV e o $DV_{0,1}$ para os dois grupos.

Tabela 4. Correlação entre as variáveis físicas das caldas e as variáveis da análise do espectro de gotas para os grupos de surfatantes: 1 (Haiten, In-Tec e Antideriva) e 2 (Silwet, Agral e TA35)

Grupo 1							
Variáveis	Tensão Superficial	Densidade	Viscosidade	DMV	V50	V100	$DV_{0,1}$
Tensão Superficial	-	-0,16	-0,52*	-0,11	-0,20	-0,08	0,10
Densidade	-0,16	-	0,56*	0,65*	-0,11	-0,50*	0,44*
Viscosidade	-0,52*	0,56*	-	0,20	-0,10	-0,23	0,27
DMV	-0,11	0,65*	0,20	-	-0,04	-0,77*	0,63*
V50	-0,20	-0,11	-0,10	-0,04	-	0,46*	-0,59*
V100	-0,08	-0,50*	-0,23	-0,77*	0,46*	-	-0,95*
$DV_{0,1}$	0,10	0,44*	0,27	0,63*	-0,59*	-0,95*	-
Grupo 2							
Tensão Superficial	-	-0,84*	-0,89*	-0,32	0,01	0,32	-0,24
Densidade	-0,84*	-	0,52*	0,58*	0,01	-0,48*	0,27
Viscosidade	-0,89*	0,52*	-	0,01	-0,00	-0,09	0,14
DMV	-0,32	0,58*	0,01	-	0,22	-0,80*	0,46
V50	0,01	0,01	-0,00	0,22	-	0,30	-0,62*
V100	0,32	-0,48*	-0,09	-0,80*	0,30	-	-0,89*
$DV_{0,1}$	-0,24	0,27	0,14	0,46	-0,62*	-0,89*	-

* Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Tensão Superficial em $mN m^{-1}$; Densidade ($g cm^{-3}$); Viscosidade (mPa s); DMV (μm) e $DV_{0,1}$ (μm).

Nas Figuras 22 e 23 estão apresentadas as análises de componentes principais das variáveis, mostrando suas relações e contribuições nos dois fatores (F1 e F2) para os grupos 1 e 2 dos surfatantes. Para o grupo 1, verifica-se uma relação inversamente proporcional entre o V50 e o V100 com as demais variáveis. Observa-se maior correlação diretamente proporcional entre a viscosidade e densidade (maior proximidade das retas) e também entre $DV_{0,1}$ com o DMV e maior afastamento da Tensão superficial com as demais variáveis.

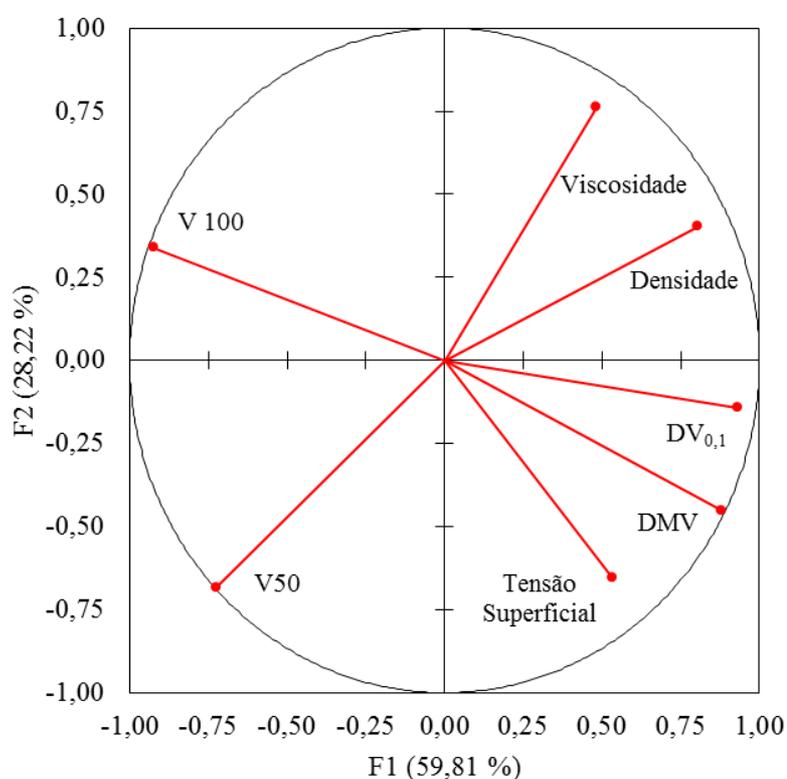


Figura 22. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis significativas e a contribuição de cada variável dentro dos fatores para os adjuvantes surfatantes do grupo 1 (Haiten, In-Tec e Antideriva).

Para o grupo 2 (Figura 26), verifica-se também uma relação inversamente proporcional entre o V50 e o V100 com as demais variáveis. Maiores

correlações (proximidade das retas), são entre o DMV e $DV_{0,1}$ e também entre a densidade e viscosidade, correlacionando positivamente.

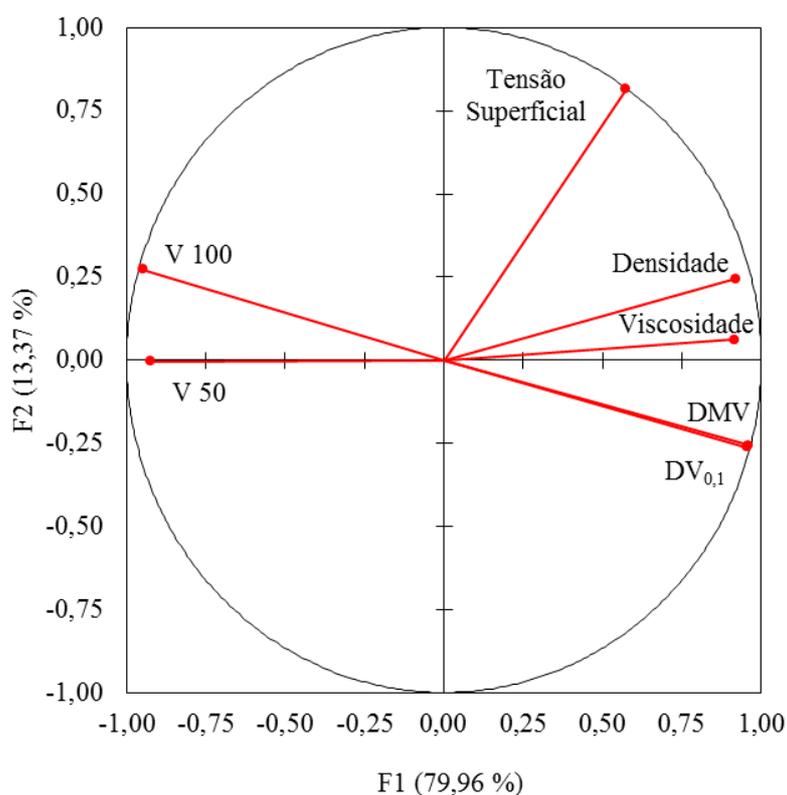


Figura 23. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis significativas e a contribuição de cada variável dentro dos fatores para os adjuvantes surfatantes do grupo 2 (Silwet, Agral e TA35).

O percentual de deriva total observada pelos adjuvantes do grupo surfatantes, obtida da soma de depósitos de todos os oito fios coletores de dentro do túnel de vento, está apresentado na Figura 24. Observam-se dois grupos bem distintos e homogêneos entre si, compostos pelos surfatantes que proporcionam baixa deriva formado pelos surfatantes Silwet, Agral e TA35 e outro grupo que proporciona maiores valores de deriva formados pelos surfatantes Antideriva, In-Tec, BreakThru e Haiten, apresentando diferença significativa entre

os grupos. O Silwet 0,1% apresentou a menor deriva não apresentando diferença significativa para o Agral 0,1%.

O aumento da concentração para o surfatante Silwet proporcionou incremento significativo no percentual de deriva. Para os demais surfatantes o aumento da concentração não apresentou alterações significativas nos valores de deriva.

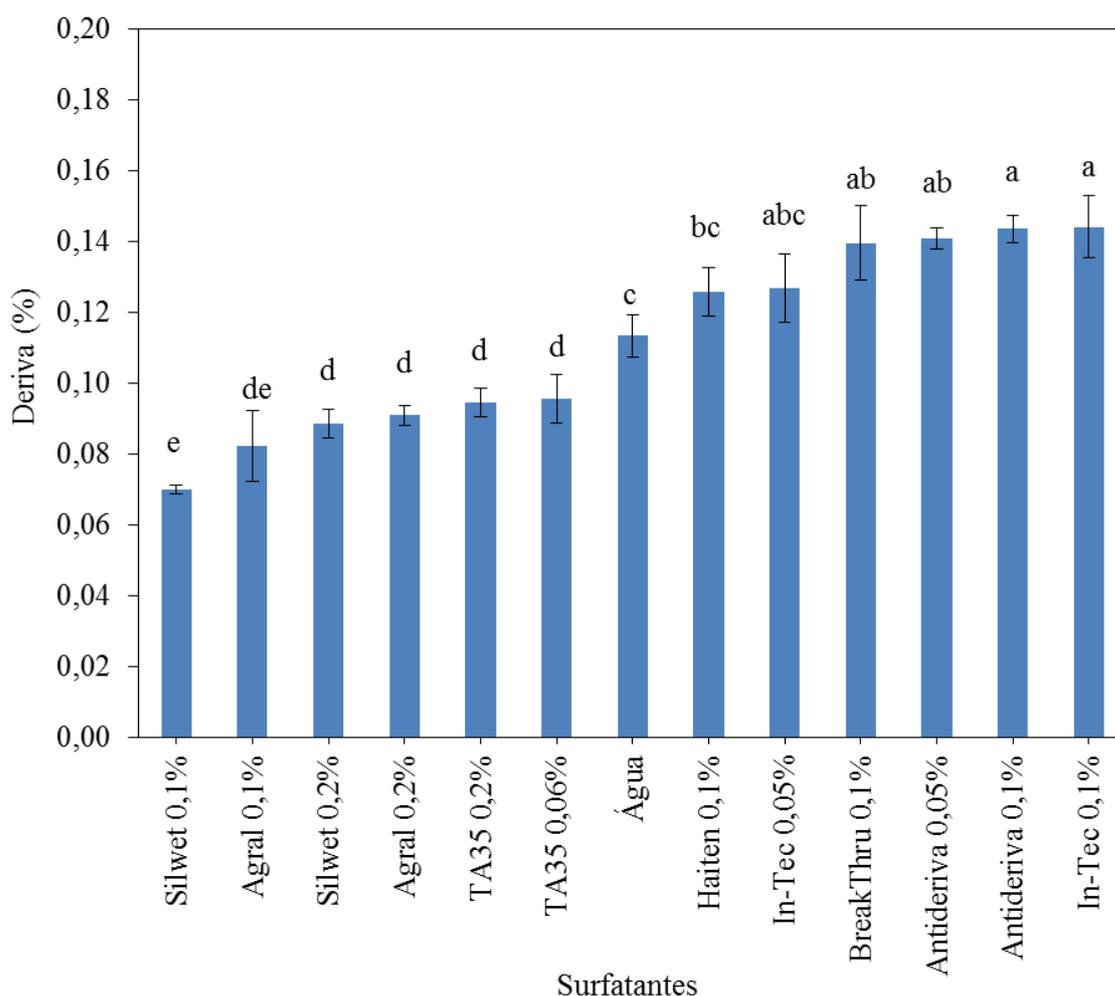


Figura 24. Percentual de Deriva (médias \pm IC_{5%}) proporcionada pelos surfatantes em diferentes concentrações.

O percentual de deriva em função da distância de coleta dentro do túnel de vento para os diferentes surfatantes está apresentado na Figura 25. Observa-se a mesma tendência entre os surfatantes, ou seja, na medida em que aumenta a distância dos fios coletores em relação à ponta de pulverização diminui a deriva, com o Silwet 0,1% apresentando o menor valor e água com o maior valor de deriva, independente da distância dentro do túnel.

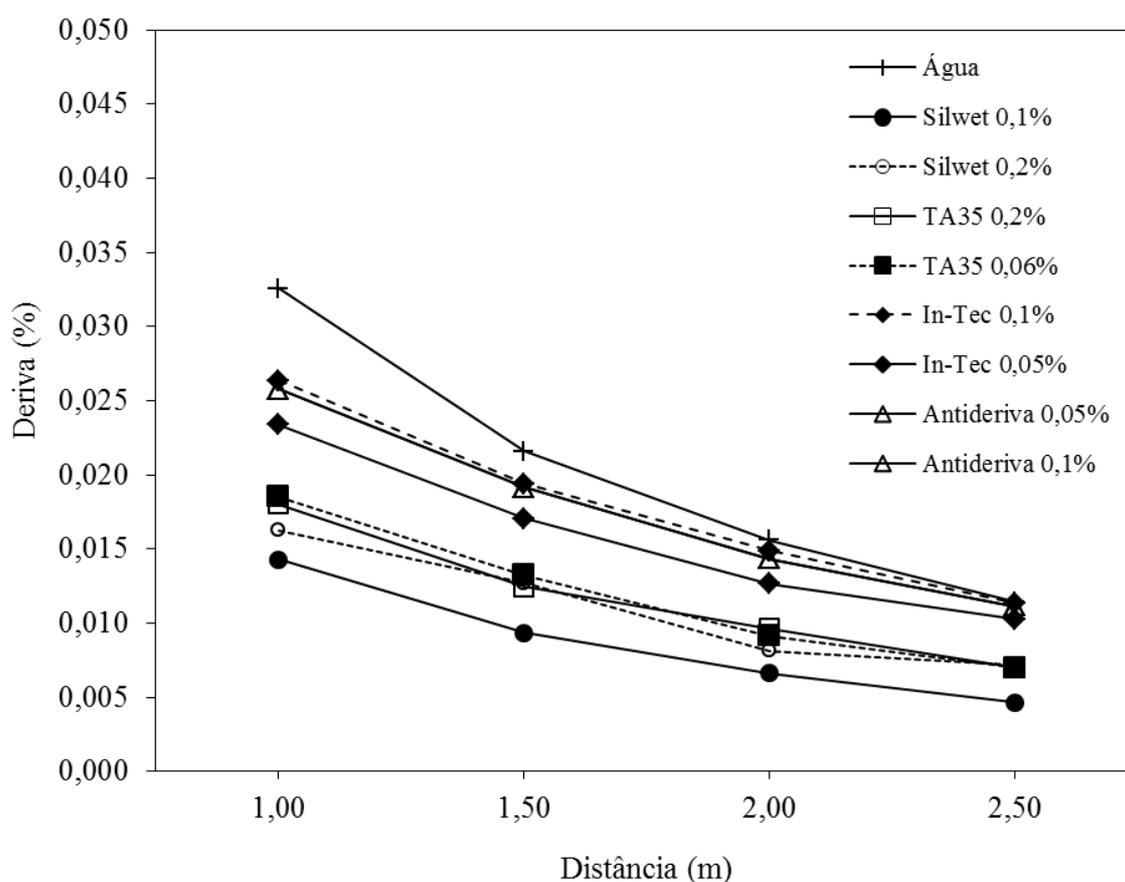


Figura 25. Percentual de deriva para os diferentes surfatantes em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.

Na Figura 26, está apresentada a correlação entre a deriva e o DMV para todos os surfatantes. Observa-se uma relação inversa entre a deriva e o DMV para os dois grupos com melhor relação para o grupo 2 ($r=-0,61$), mostrando que a medida que aumenta o DMV reduz o risco de deriva.

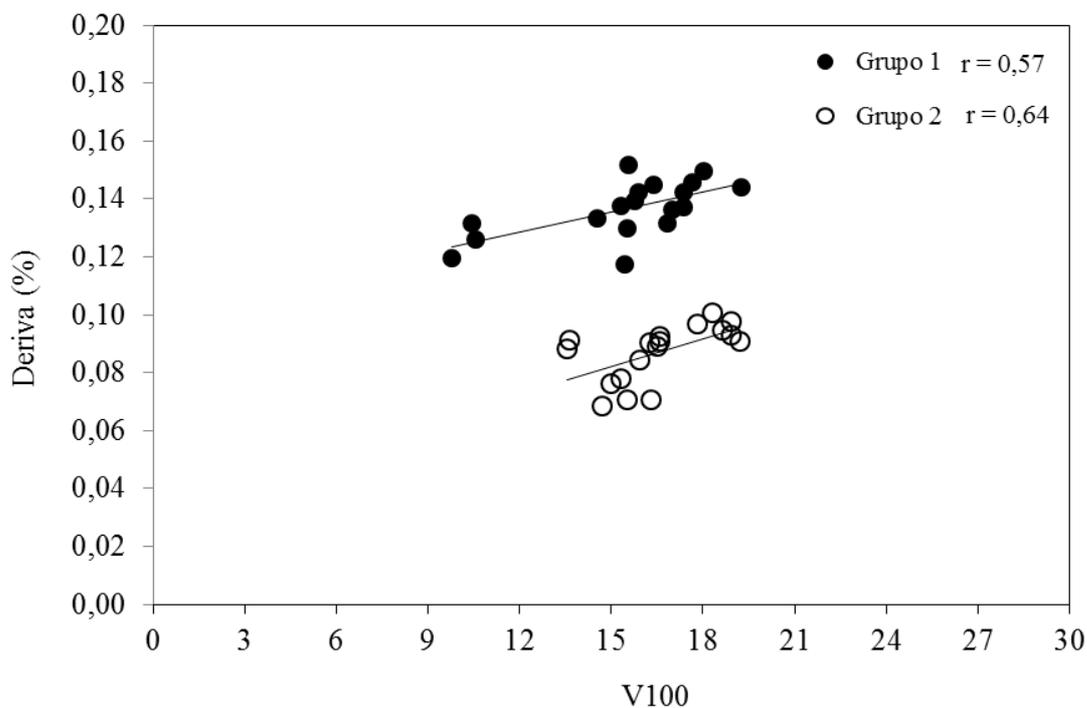


Figura 27. Correlação entre a deriva (%) e o V100 para o grupo 1 (Haiten, In-Tec e Antideriva) e grupo 2 (Silwet, Agral e TA35) dos surfatantes.

As correlações significativas ($P < 0,05$) entre as características físicas e químicas para os surfatantes do Grupo 1, estão apresentadas na Figura 28. As correlações foram positivas entre a deriva e o V50 ($r = 0,83$) e com o V100 ($r = 0,65$) e relações inversas foram obtidas entre a deriva com as variáveis viscosidade ($r = -0,67$), DMV ($r = -0,61$) e o $DV_{0,1}$ ($r = -0,65$), indicando que soluções que apresentam maiores viscosidade, DMV e $DV_{0,1}$ apresentam tendência de proporcionar menores riscos de deriva.

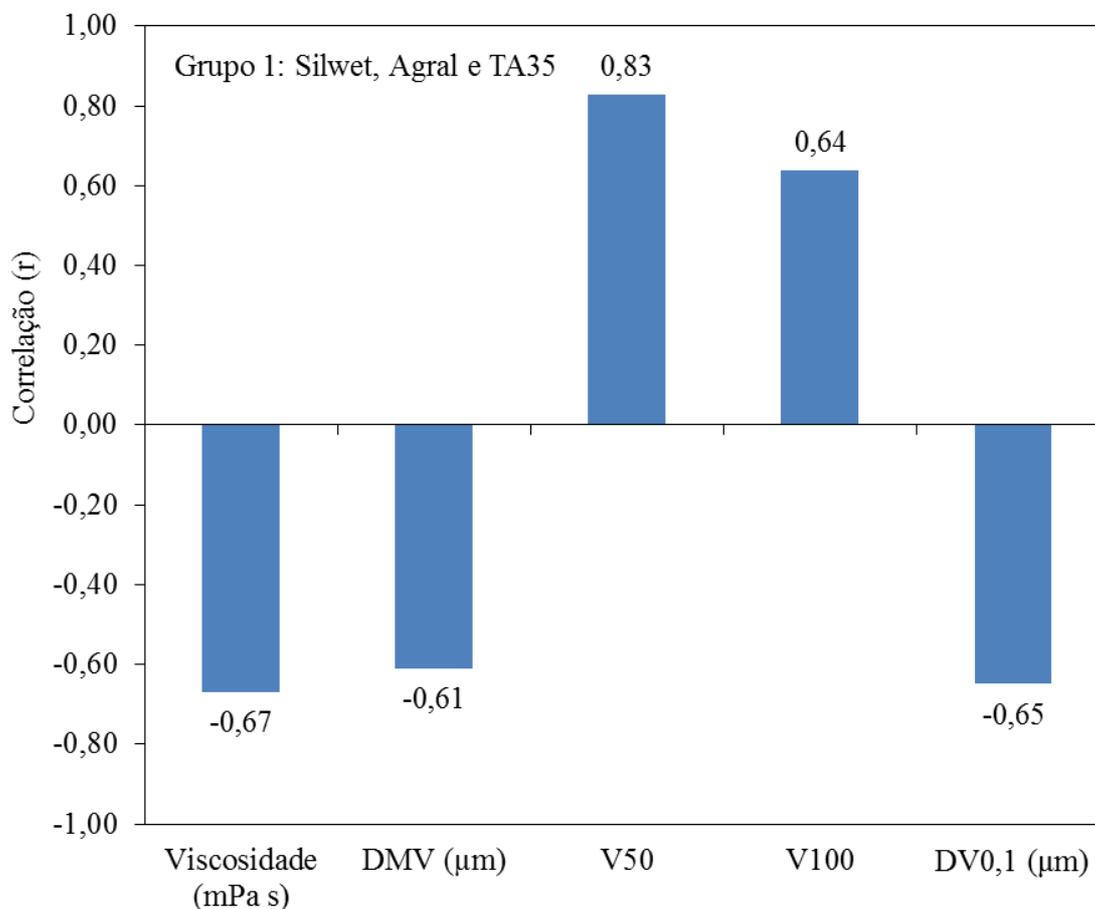


Figura 28. Correlação entre a deriva e as variáveis significativas ($P < 0,05$) para os surfatantes do Grupo 1.

Na Figura 29 estão apresentados os coeficientes de correlação entre a deriva e as variáveis que foram significativas ($P < 0,05$) para os surfatantes do Grupo 2. Observam-se correlações negativas entre a deriva e as variáveis Densidade ($r = -0,64$) e DMV ($r = -0,53$), indicando que o aumento da densidade e DMV proporcionaram redução dos valores de deriva. Correlações positivas foram entre a tensão superficial ($r = 0,56$) e o V100 ($r = 0,57$).

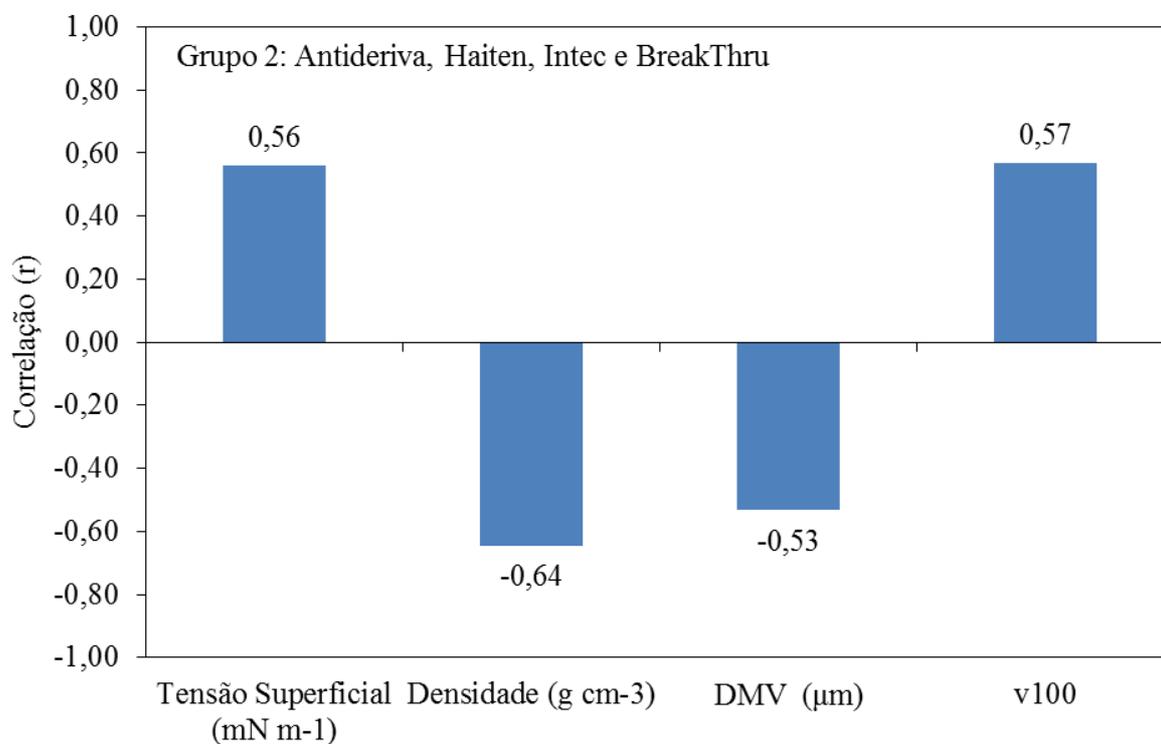


Figura 29. Correlação entre a deriva e as variáveis significativas ($P < 0,05$) para os surfatantes do Grupo 2.

Comparando as correlações da deriva com o DMV e o V100 para os dois grupos de surfatantes, verificou-se que quanto maior o DMV e menor o V100, menores foram as porcentagens de deriva. Isso, na prática, indica que o ajuste do tamanho de gotas é um fator extremamente importante na pulverização e que deve ser levado em consideração no momento da escolha da ponta. Os resultados corroboram com Knoche (1994) em que a redução no tamanho das gotas tende a aumentar a deriva, necessitando alguns ajustes nos equipamentos de aplicação.

Na Figura 30 está apresentada a análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis e a contribuição dentro dos fatores para os adjuvantes do grupo 1 dos surfatantes. Esta análise mostra a interação das variáveis com os tratamentos e as relações entre as variáveis. Verifica-se uma relação inversa entre a deriva e o V50 e V100 com as demais variáveis. Maiores correlações (proximidade das retas) foi entre a

deriva e o V50. O adjuvante TA35 apresenta uma interação inversa com os demais adjuvantes, sendo influenciados pelos valores de deriva e o V50 e V100.

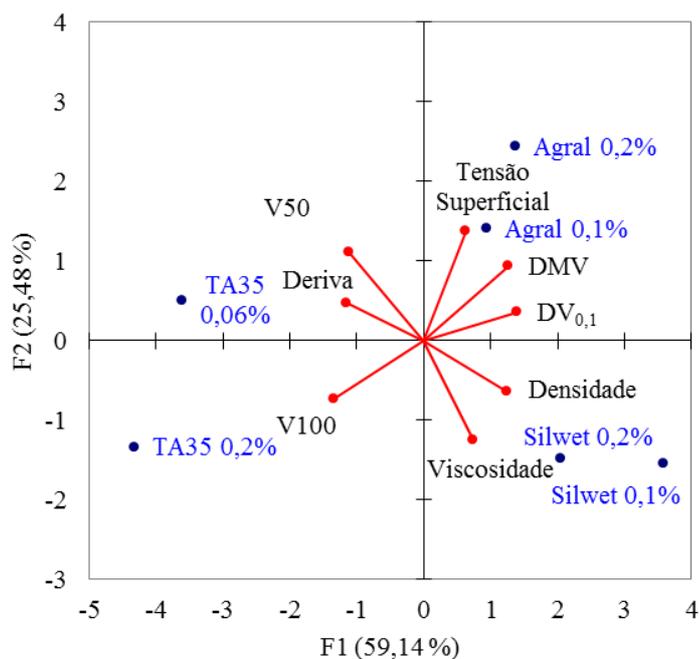


Figura 30. Representação gráfica das relações entre as variáveis físicas, químicas e espectro de gotas e as interações com os adjuvantes do grupo 1 dos surfatantes.

Na Figura 31 está apresentada a análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis e a contribuição dentro dos fatores para os adjuvantes do grupo 2 dos surfatantes. Verifica-se que a deriva, V50 e V100 apresentam uma relação inversa com as demais variáveis. Os adjuvantes Haiten 0,1% e BreakThru 0,1% apresentaram interação inversa entre si e se localizam mais afastados dos demais adjuvantes, indicando que o adjuvante Haiten 0,1% é caracterizado por apresentar maiores valores de DMV e o adjuvante BreakThru 0,1% caracterizado por apresentar maiores valores de V100, sendo bem distintos dos demais adjuvantes.

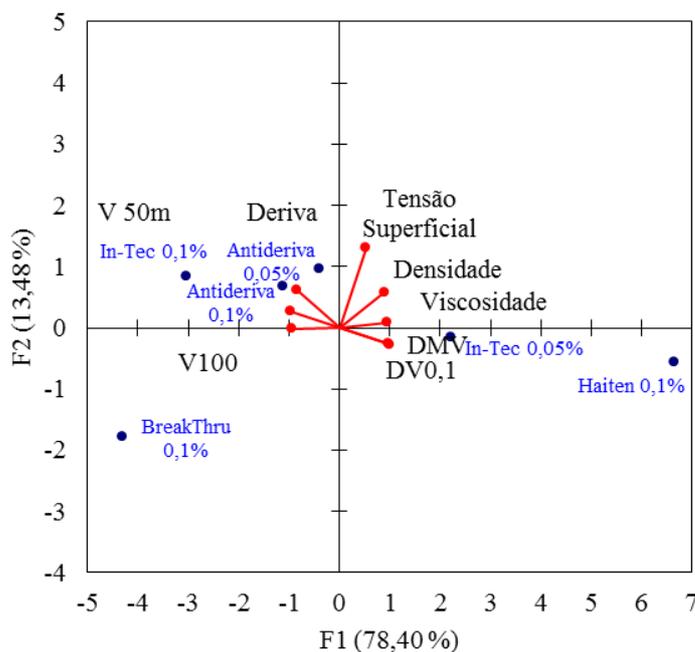


Figura 31. Representação gráfica das relações entre as variáveis físicas das soluções e as interações com os adjuvantes do grupo 2 dos surfatantes.

A correlação entre as variáveis físicas e as variáveis da análise de espectro de gotas para os adjuvantes do grupo Redutores de Deriva (AgBem 0,05% e 0,1%; Antideriva 0,05% e 0,1%; Define 0,06% e 0,12%; Grip 0,165%, 0,3% e 0,6%; Nutrifix 0,05% e 0,1%; LI700 0,5% e 0,1%; LI700 0,25% + Nimbus 0,25%; Nutrifix 0,05% e 0,1%; e, TacTic 0,13% e 0,26%) está apresentada na Tabela 5.

A maior correlação positiva foi entre o DMV e o DV_{0,1} ($r=0,92$) seguida pela viscosidade e tensão superficial ($r=0,58$). Correlações negativas e significativas foram entre o percentual de gotas < 100 com o DV_{0,1} ($r=-0,95$), DMV ($r=-0,87$), viscosidade ($r=-0,60$) e tensão superficial ($r=-0,46$).

Tabela 5. Correlação entre as variáveis físicas das caldas com as variáveis da análise de espectro de gotas para os adjuvantes do grupo Redutores de Deriva

Variáveis	Tensão Superficial	Densidade	Viscosidade	DMV	V50	V100	DV _{0,1}
Tensão Superficial	-	0,28	0,58*	0,36*	-0,43*	-0,46*	0,39*
Densidade	0,28	-	0,35*	0,24	0,12	-0,12	0,18
Viscosidade	0,58*	0,35	-	0,75*	-0,30*	-0,60*	0,58*
DMV	0,36*	0,24	0,75*	-	-0,37*	-0,87*	0,92*
V50	-0,43*	0,12	-0,30*	-0,37*	-	0,51*	-0,50*
V100	-0,46*	-0,12	-0,60*	-0,87*	0,51*	-	-0,95*
DV _{0,1}	0,39*	0,18	0,58*	0,92*	-0,50*	-0,95*	-

* Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Tensão Superficial em mN m^{-1} ; Densidade (g cm^{-3}); Viscosidade (mPa s); DMV (μm) e DV_{0,1} (μm).

A representação gráfica da relação entre as variáveis são demonstradas na Figura 32. Verifica-se correlação negativa entre o V50 e V100 com as demais variáveis. Maior correlação (proximidade entre as retas) foi entre DMV e DV_{0,1}.

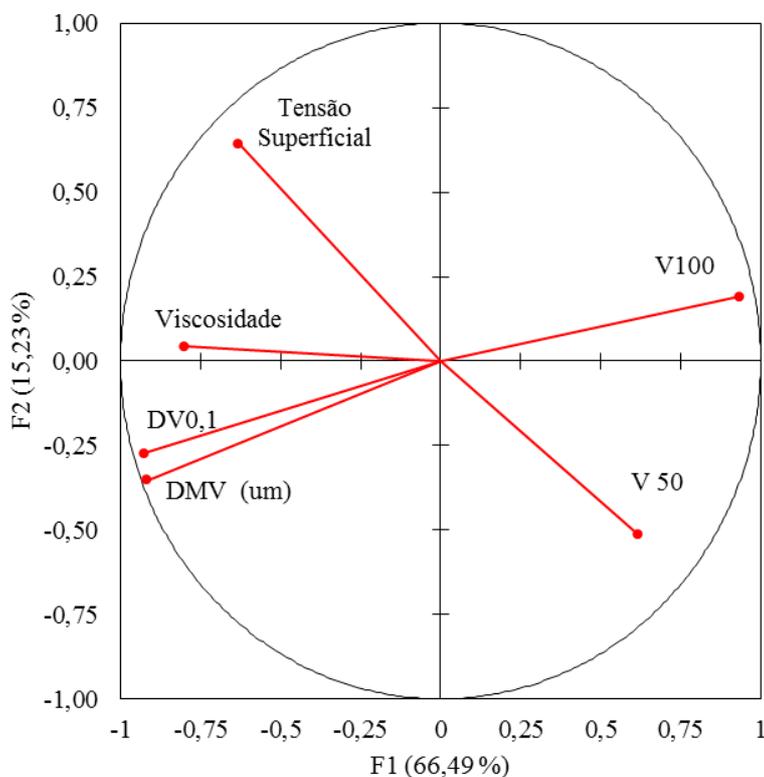


Figura 32. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis significativas e a contribuição de cada variável dentro dos fatores para os adjuvantes Redutores de Deriva.

Na Figura 33 está apresentado o percentual de deriva dos adjuvantes do grupo dos Redutores de Deriva, obtido da soma de depósitos de todos os oito fios coletores de dentro do túnel de vento. Observa-se que o adjuvante Define 0,12% apresenta o menor percentual de deriva com diferença significativa para os demais tratamentos. O adjuvantes Antideriva 0,05 e 0,1% e Grip 0,165% apresentaram o maiores valores de deriva com diferença significativa para os demais tratamentos. Somente os adjuvantes Define e Nutrifix apresentaram redução da deriva com o aumento de suas concentrações.

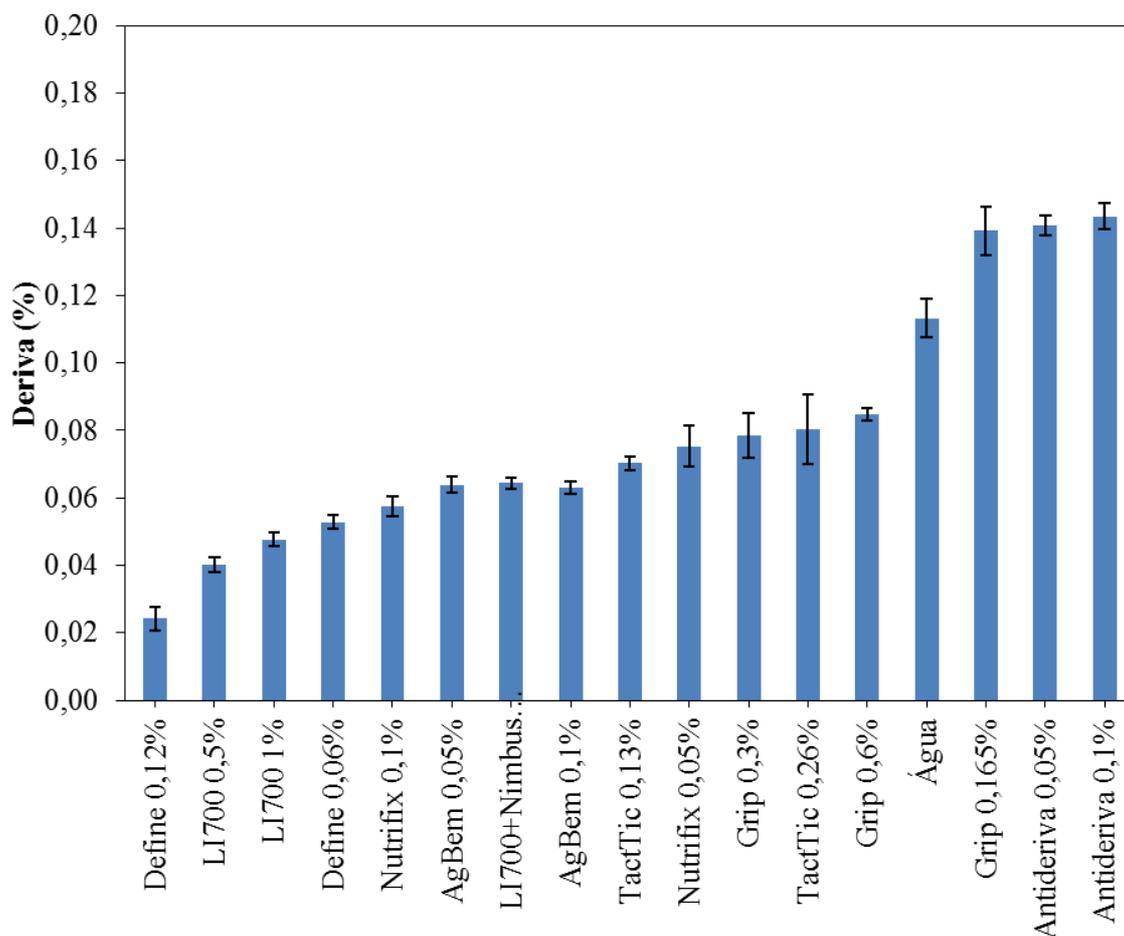


Figura 33. Percentual de Deriva (médias \pm IC_{5%}) proporcionada pelos adjuvantes do grupo Redutores de Deriva.

O percentual de deriva em função da distância de coletas dentro do túnel de vento para os diferentes adjuvantes Redutores de Deriva está apresentado na Figura 34.

Em geral, observa-se tendência semelhante para todos os adjuvantes Redutores de Deriva, ou seja, na medida em que aumenta a distância dos fios coletores em relação à ponta de pulverização diminui a deriva. O adjuvante Define 0,12% independente da distância apresentou os menores valores de deriva. A água apresentou os maiores valores de deriva independente da distância avaliada.

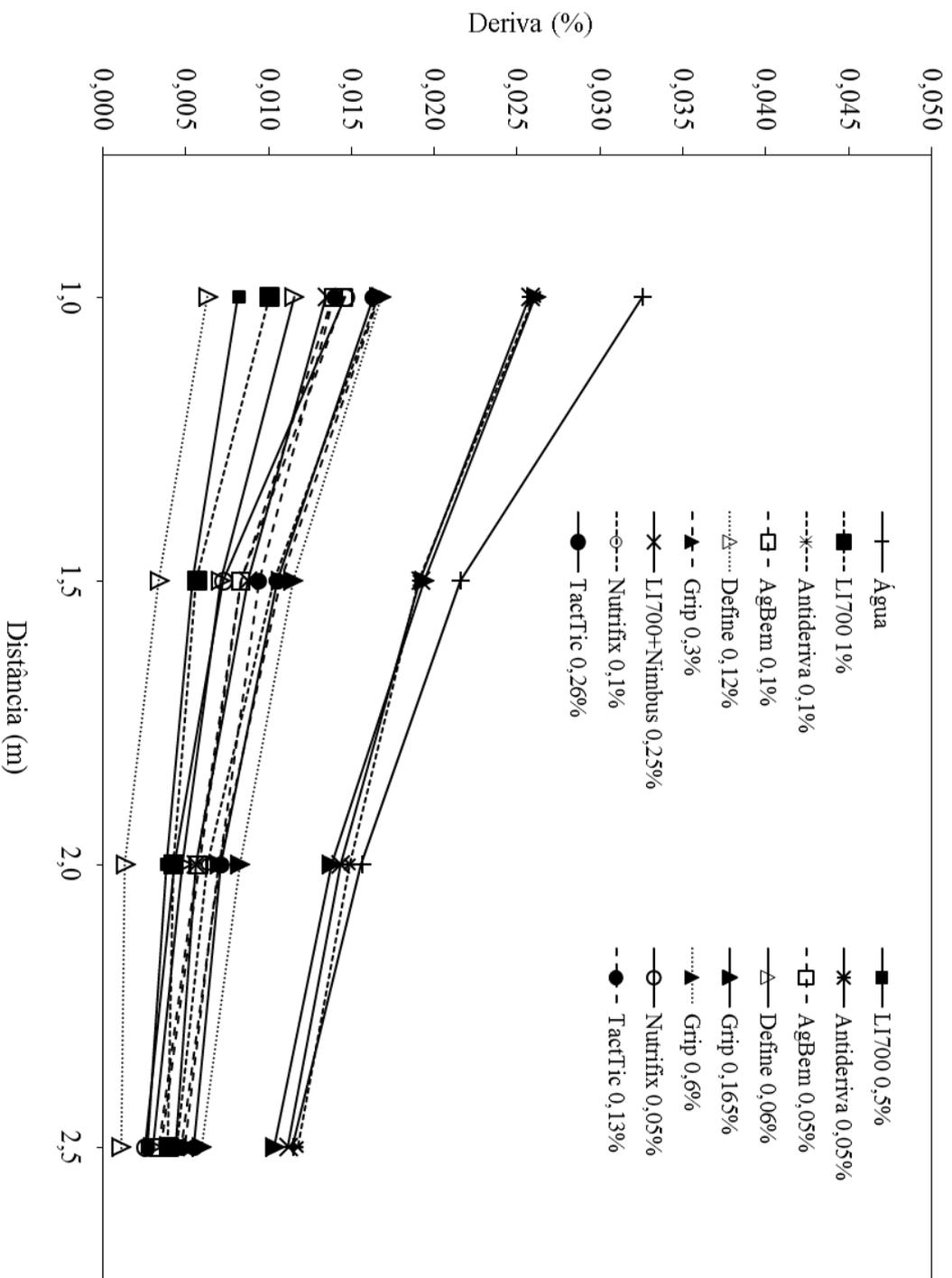


Figura 34. Deriva (%) proporcionada pelo grupo de adjuvantes Redutores de Deriva em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.

Na Figura 35 está apresentada a correlação entre a deriva e o DMV para os adjuvantes do grupo Redutores de Deriva. Observa-se uma relação inversamente proporcional entre a deriva e o DMV ($r=-0,59$), ou seja, o aumento dos valores de DMV proporciona uma diminuição dos valores de deriva.

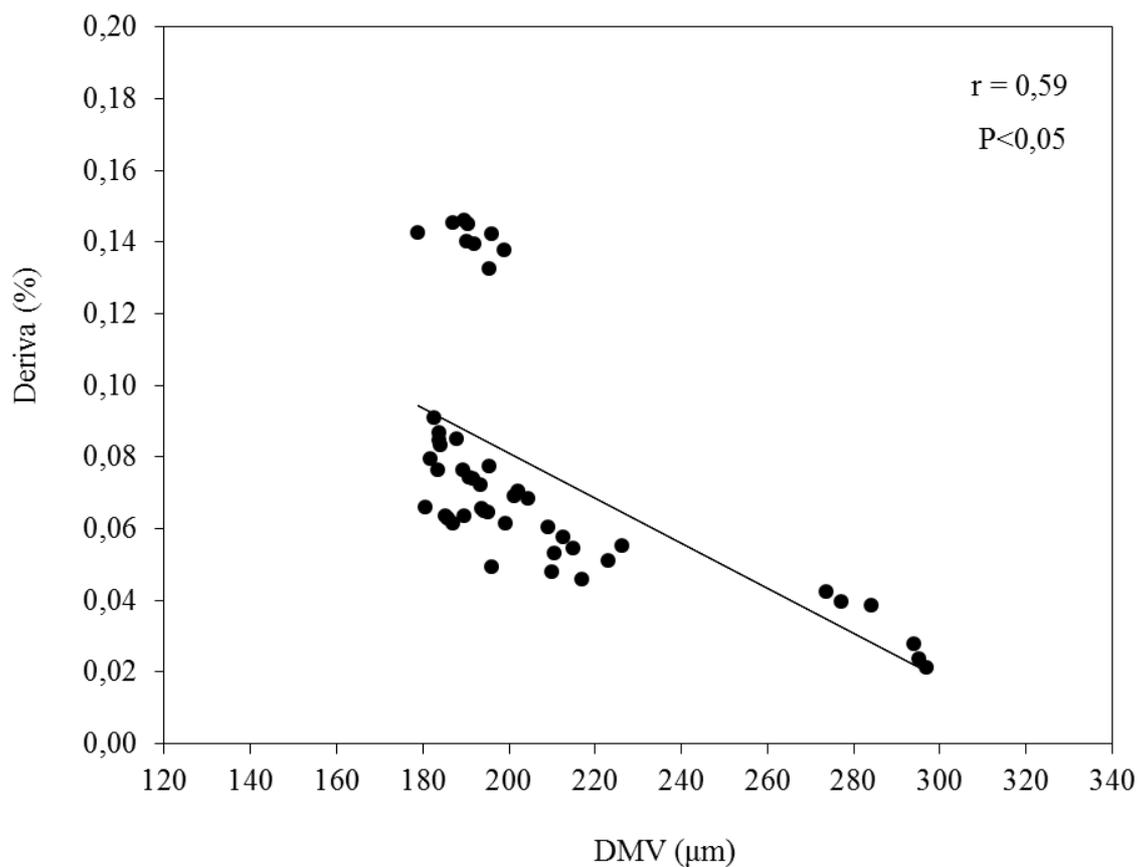


Figura 35. Correlação entre a deriva (%) e o DMV (μm) para os adjuvantes do grupo dos Redutores de deriva.

Na Figura 36 está apresentada a correlação entre a deriva e o V100 dos adjuvantes do grupo Redutores de deriva. Observa-se relação diretamente proporcional ($r=0,45$), ou seja, o aumento do V100 proporciona um acréscimo nos valores de deriva.

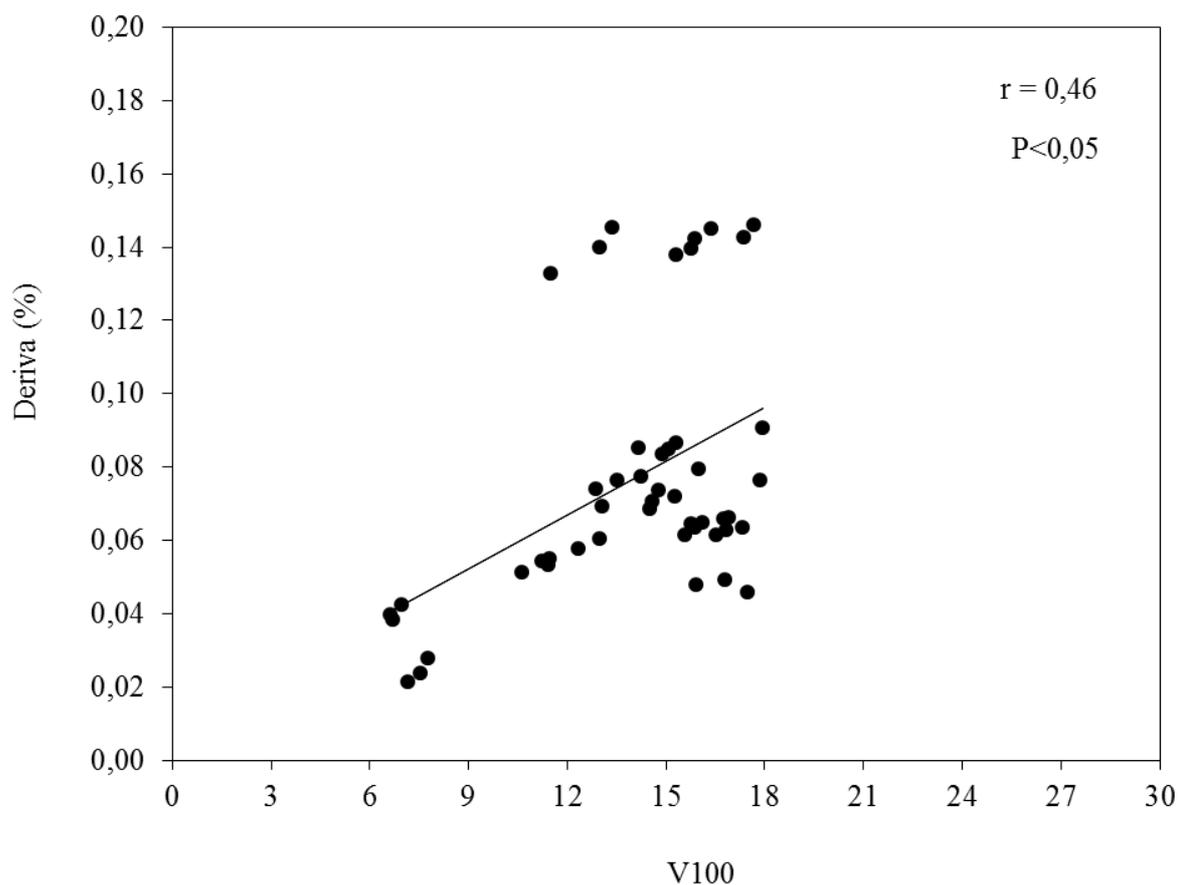


Figura 36. Correlação entre a deriva (%) e o V100 para os adjuvantes do grupo dos Redutores de Deriva.

Na Figura 37 estão apresentados os coeficientes de correlação entre a deriva e as variáveis que foram significativas ($P < 0,05$) para os adjuvantes do grupo Redutores de deriva. O V50 e V100 apresentam correlação diretamente proporcional ($r = 0,32$ e $r = 0,45$, respectivamente). As demais variáveis apresentam correlação inversamente proporcional com maior valor de correlação para o DMV ($r = -0,59$).

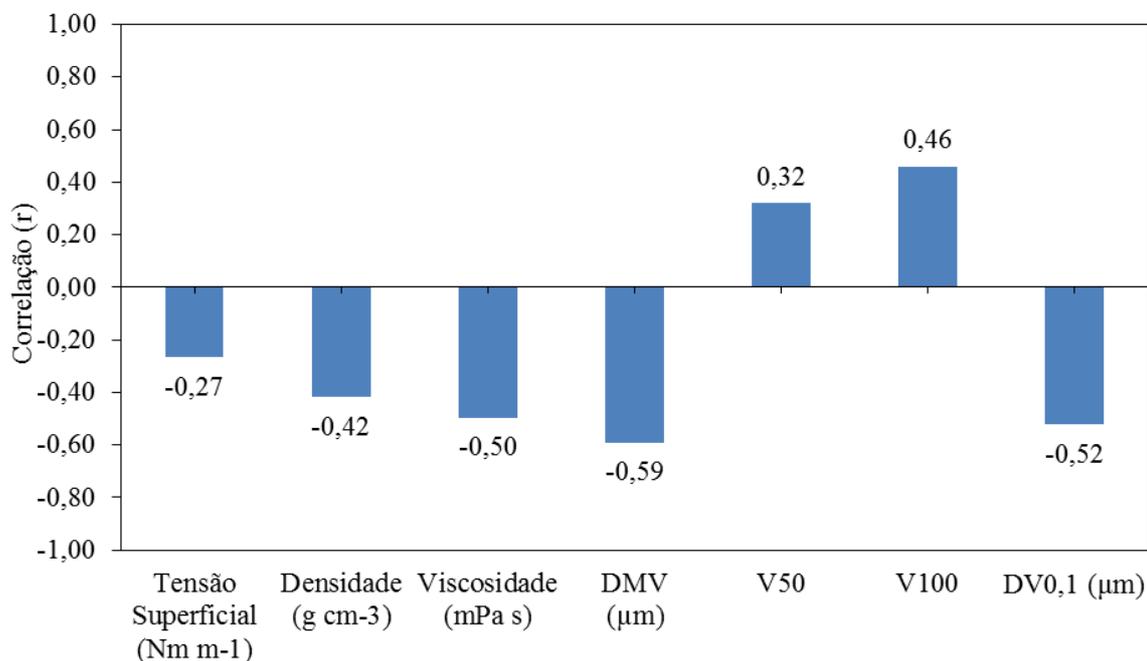


Figura 37. Correlação entre a deriva (%) e variáveis físicas e do espectro de gotas significativas ($P < 0,05$) para os adjuvantes do grupo Redutores de deriva.

Na Figura 38 está apresentada a análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis e a contribuição dentro dos fatores para os adjuvantes do grupo Redutores de Deriva. Verifica-se que a deriva, o V50 e V100 apresentaram uma relação inversa com as demais variáveis. O adjuvante Define 0,06% e 0,12% foram mais correlacionados com as variáveis densidade e viscosidade, apresentando maiores valores dessas variáveis e localizados mais distantes da deriva e apresentado menores valores. Schampheleire et al. (2008) também verificaram que a adição de adjuvantes a base de polímeros podem reduzir significativamente a deriva pelo incremento da viscosidade. Observa-se um agrupamento dos adjuvantes AgBem, Antideriva, Grip e TacTic, indicando maior associação com os valores de deriva.

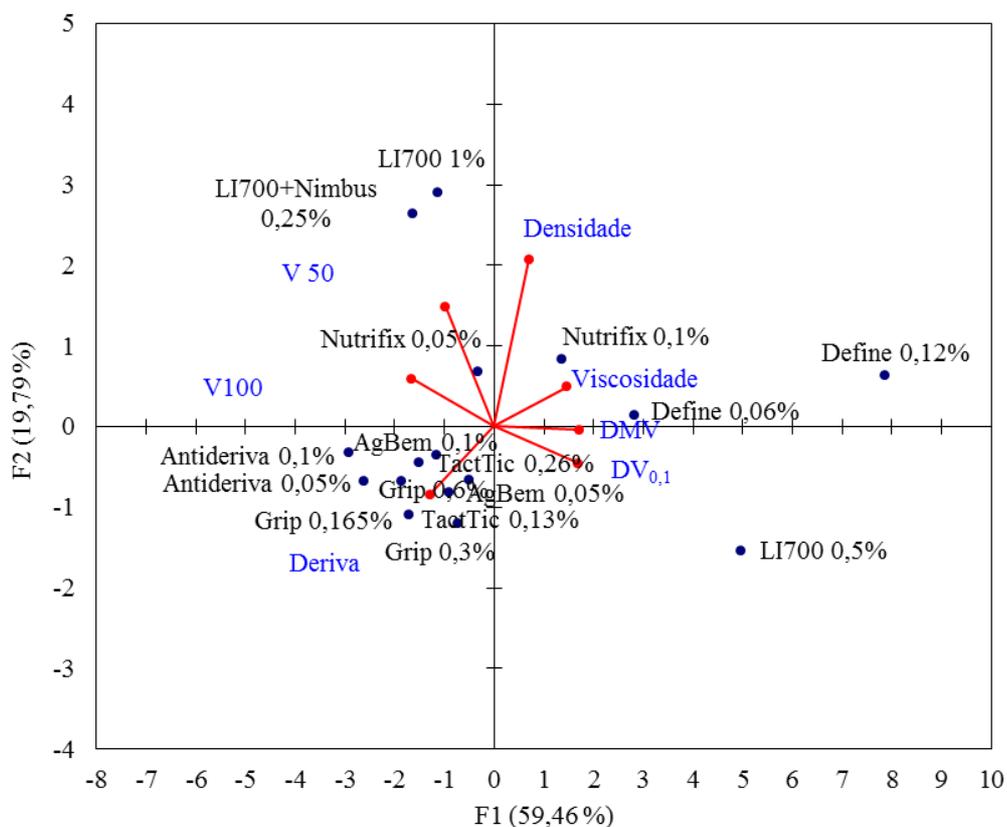


Figura 38. Representação gráfica das relações entre a deriva, as variáveis físicas e as interações com os adjuvantes do grupo Redutores de Deriva.

A correlação entre as variáveis físicas e as variáveis da análise de espectro de gotas para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais (Joint Oil e Nimbus) está apresentada na Tabela 6. A maior correlação diretamente positiva foi entre o DMV e o DV_{0,1} ($r=0,99$) e entre a viscosidade e o V50 ($r=0,83$). Altos coeficientes de correlação negativos foram entre o V100 com o DMV ($r=-0,96$) e o DV_{0,1} ($r=-0,97$) e também entre a entre o V50 com a tensão superficial ($r=-0,92$).

Tabela 6. Correlação entre as variáveis físicas das caldas com variáveis da análise de espectro de gotas para os Óleos Minerais (Joint Oil 1% e Nimbus 0,5% e 1%)

Variáveis	Tensão Superficial	Densidade	Viscosidade	DMV	V50	V100	DV _{0,1}
Tensão Superficial	-	0,24	-0,89*	0,20	-0,92*	-0,22	0,29
Densidade	0,24	-	0,06	0,37	-0,32	-0,51	0,43
Viscosidade	-0,89*	0,06	-	0,35	0,83*	0,32	-0,41
DMV	0,20	0,37	0,35	-	-0,32	-0,96*	0,99*
% < 50 μm	-0,92*	-0,32	0,83*	-0,32	-	0,34	-0,43
V100	-0,22	-0,51	0,32	-0,96*	0,34	-	-0,97*
DV _{0,1}	0,29	0,43	-0,41	0,99*	-0,43	-0,97*	-

* Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Tensão Superficial em mN m^{-1} ; Densidade (g cm^{-3}); Viscosidade (mPa s); DMV (μm) e DV_{0,1} (μm).

A representação gráfica da relação entre as variáveis são demonstradas na Figura 39. Exceto a viscosidade, verifica-se correlação inversa entre o V50 e V100 com as demais variáveis e maior correlação (proximidade entre as retas) entre DMV e o DV_{0,1}.

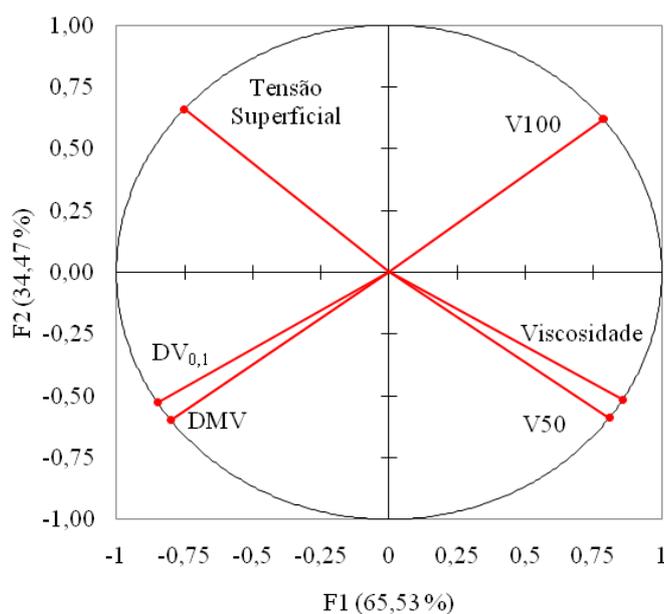


Figura 39. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.

Na Figura 40 está apresentado o percentual total de deriva dos adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais, obtida da soma de depósitos de todos os oito fios coletores de dentro do túnel de vento. Observa-se que entre os adjuvantes o Joint Oil 1% apresenta a maior deriva com diferença significativa para o Nimbus 0,5 e 1%.

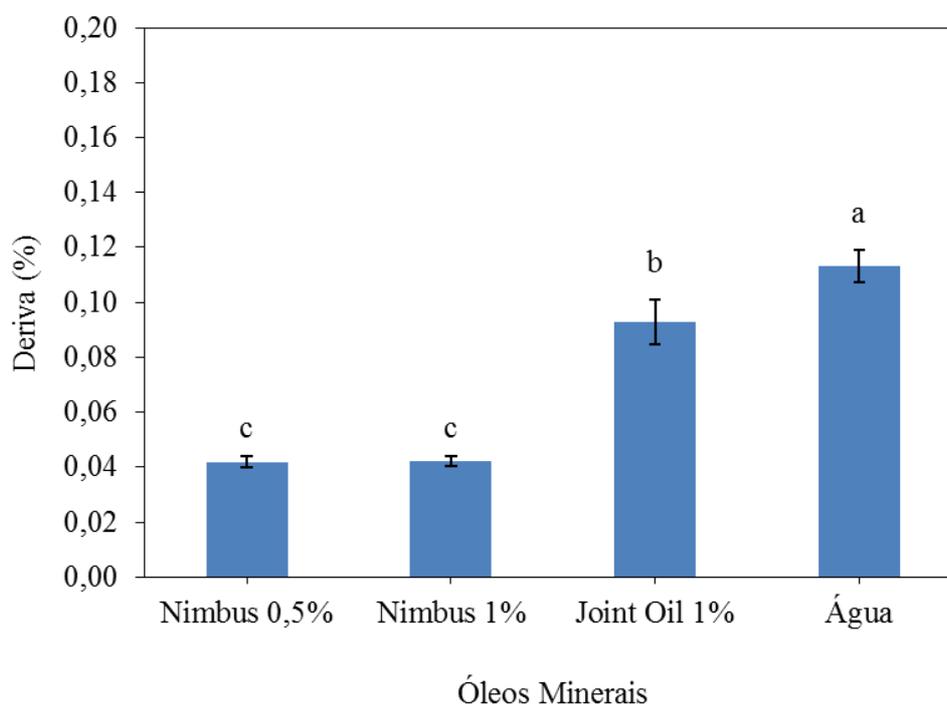


Figura 40. Percentual de Deriva (médias \pm IC5%) proporcionada pelos adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.

O percentual de deriva em função da distância de coletas dentro do túnel de vento para os diferentes óleos minerais está apresentado na Figura 41. Observa-se a mesma tendência para todos os óleos minerais e a água, ou seja, a medida que aumenta a distância de coleta dentro do túnel de vento, diminui os depósitos. O Nimbus 0,5% e 0,1% não apresentaram diferenças entre si, independente da distância de coleta dentro do túnel de vento, apresentando os menores valores de depósitos em relação ao Joint Oil 1% e a água.

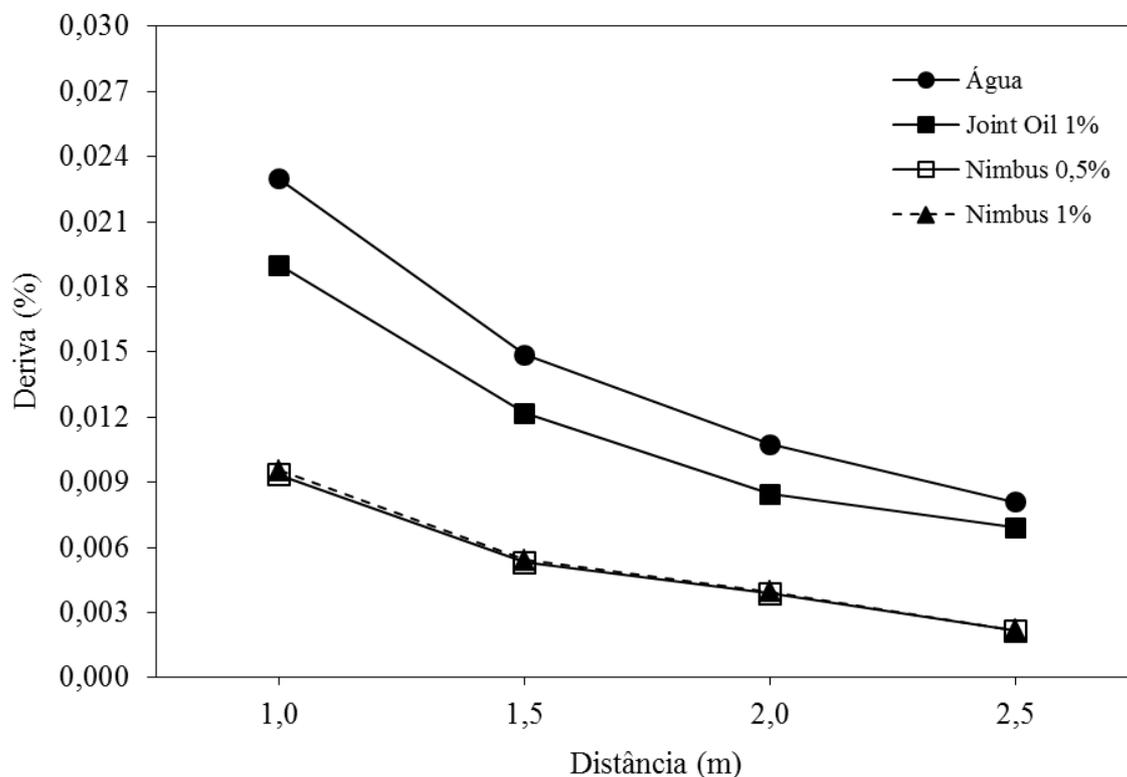


Figura 41. Percentual de deriva proporcionada pelo grupo de adjuvantes Óleos Minerais em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.

A correlação entre a deriva e as variáveis que foram significativas ($P < 0,05$) para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais está apresentada na Figura 42. Observa-se correlação positiva entre a deriva e a tensão superficial ($r = 0,83$) e negativa entre a deriva e as variáveis viscosidade ($r = -0,76$), V50 ($r = -0,68\%$) e DMV ($r = -0,27$).

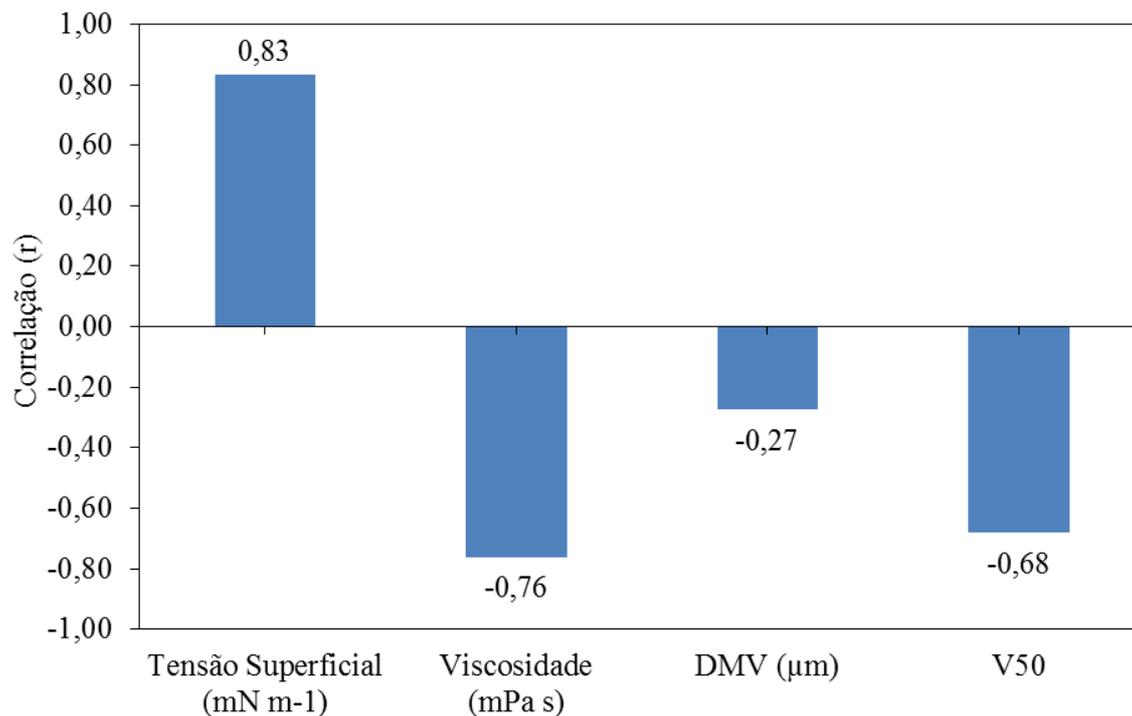


Figura 42. Correlação da Deriva (%) com as variáveis significativas ($P < 0,05$) para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.

As relações e as interações das variáveis com os tratamentos estão apresentadas na Figura 43.

Observa-se uma dispersão das variáveis e dos tratamentos ao longo do eixo, caracterizando os tratamentos como bem distintos, apesar de pertencerem ao mesmo grupo dos Óleos Minerais. As variáveis $DV_{0,1}$ e DMV apresentaram a maior contribuição para o distanciamento do Nimbus 0,5%, o V100 para o Nimbus 1% e a viscosidade e tensão superficial para Joint Oil 1%.

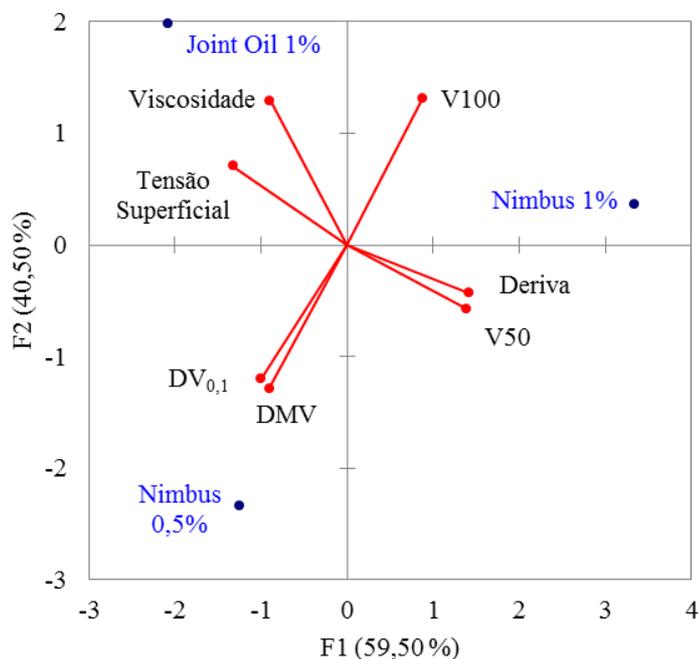


Figura 43. Representação gráfica das relações entre as variáveis físicas e as interações com os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.

A correlação entre as variáveis físicas das soluções e as variáveis da análise de espectro de gotas para os adjuvantes do grupo Óleos Vegetais (Agrex Oil 10%, Veget Oil 1% e Agro'óleo 5%) está apresentada na Tabela 7. Verifica-se correlação significativa e positiva entre o DMV e o DV_{0,1} ($r=0,73$) e correlações inversas entre o V100 com o DMV ($r=-0,92$) e DV_{0,1} ($r=-0,91$) e entre o DV_{0,1} e o V50 ($r=-0,83$).

Tabela 7. Correlação entre as variáveis físicas das caldas com variáveis da análise de espectro de gotas para os Óleos Vegetais (Agrex Oil 10%, Veget Oil 1% e Agro'óleo 5%)

Variáveis	Tensão Superficial	Densidade	Viscosidade	DMV	V50	V100	DV _{0,1}
Tensão Superficial	-	-0,55	0,11	0,15	0,37	-0,09	-0,04
Densidade	-0,55	-	0,23	-0,17	-0,22	0,21	-0,14
Viscosidade	0,11	0,23	-	0,43	0,35	-0,22	-0,16
DMV	0,15	-0,17	0,43	-	-0,42	-0,92*	0,73*
V50	0,37	-0,22	0,35	-0,42	-	0,60	-0,83*
V100	-0,09	0,21	-0,22	-0,92*	0,60	-	-0,91*
DV _{0,1}	-0,04	-0,14	-0,16	0,73*	-0,83*	-0,91*	-

* Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Tensão Superficial em mN m^{-1} ; Densidade (g cm^{-3}); Viscosidade (mPa s); DMV (μm) e DV_{0,1} (μm).

A representação gráfica da relação entre as variáveis são demonstradas na Figura 44. Verifica-se correlação negativa entre o V50 e V100 com as demais variáveis e maior correlação (proximidade entre as retas) entre DMV e o DV_{0,1}.

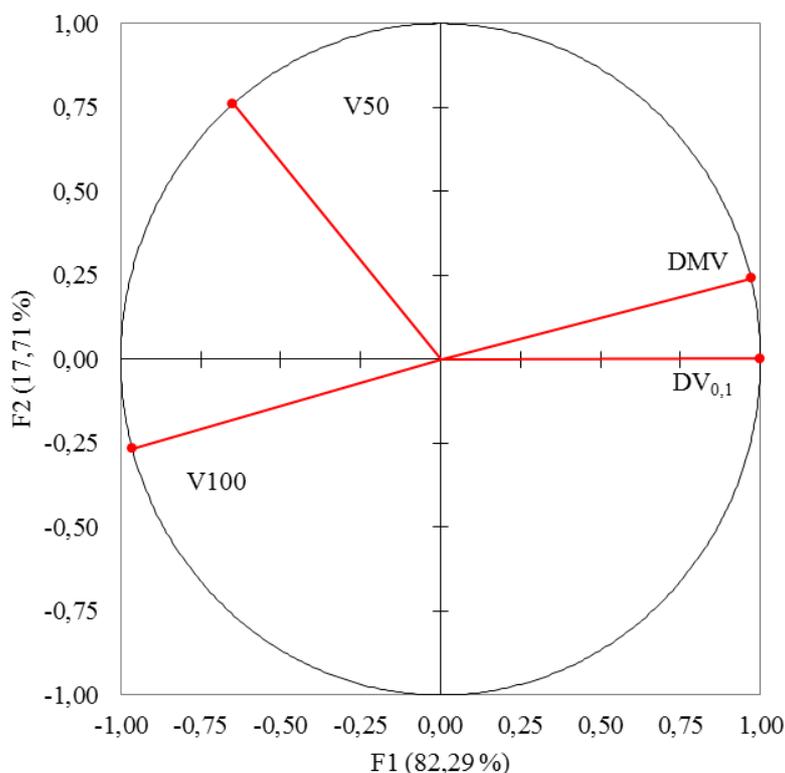


Figura 44. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais.

O percentual de deriva total observada pelos adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais, obtida da soma de depósitos de todos os oito fios coletores de dentro do túnel de vento, está apresentado na Figura 45. Observa-se que os óleos vegetais apresentaram diferenças significativas entre si com o adjuvante Agro'óleo 5% apresentando a maior deriva e o Agrex Oil 10% os menores valores de deriva. Estas diferenças entre os óleos podem ser originadas pela diferentes composições dos óleos, da concentração e tipo de ingredientes inertes. Apesar de serem compostos de ésteres graxos de origem vegetal, os óleos vegetais apresentam porcentagem de ácidos graxos e ingredientes inertes diferentes. O Agrex Oil apresenta a mesma porcentagem de ésteres de ácidos graxos (93% v v⁻¹) que o Agro'óleo (93% v v⁻¹), porém apresenta como ingredientes inertes 7 % de tensoativo, enquanto o

Agro'óleo apresenta 3% de ingredientes inertes desconhecidos, o que pode provavelmente ter ocasionado estas diferenças entre eles.

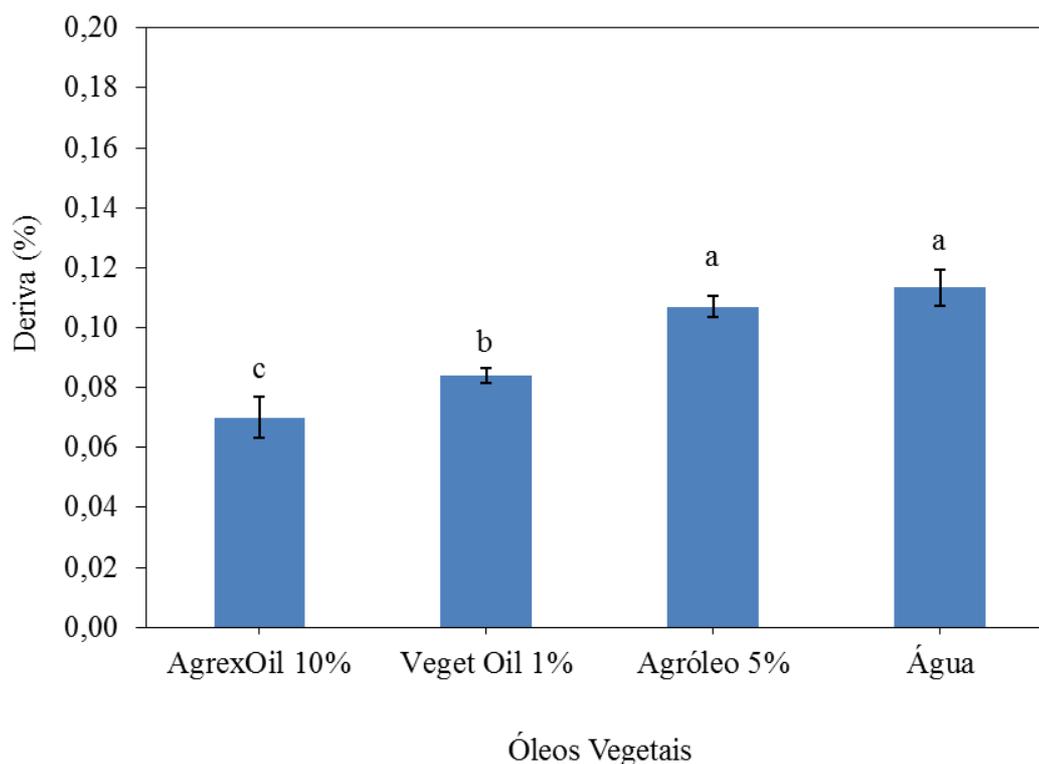


Figura 45. Percentual de Deriva (médias \pm IC5%) proporcionada pelos adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais.

O percentual de deriva em função da distância de coletas dentro do túnel de vento para os diferentes Óleos Vegetais está apresentado na Figura 46. Observa-se comportamento semelhantes entre os óleos vegetais, com redução de depósitos a medida que aumenta a distância de coleta dentro do túnel de vento. Observa-se que os óleos não apresentam diferença entre si ao longo do túnel de vento com tendência de menores valores de deriva para o Agrex Oil 10% e Veget Oil 1% em comparação com a água e o Agro'óleo 5%.

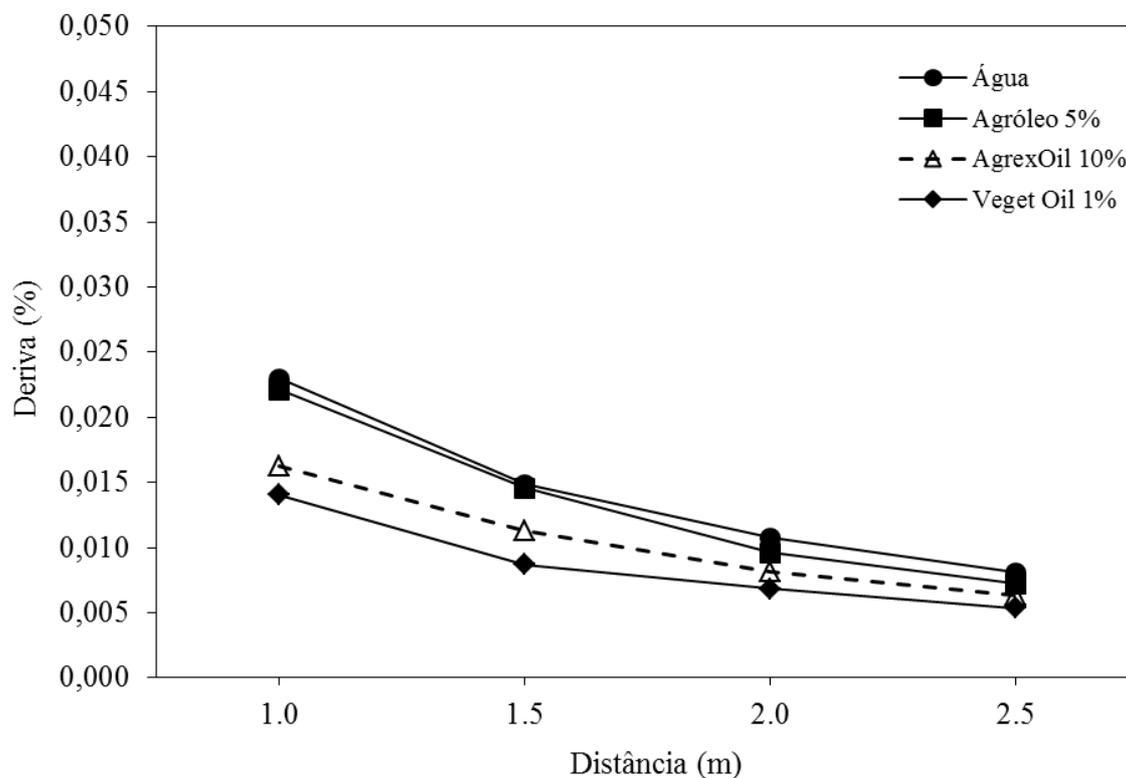


Figura 46. Percentual de deriva proporcionada pelos adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.

As relações e as interações das variáveis com os tratamentos estão apresentadas na Figura 47. Observa-se uma dispersão maior do Veget Oil 1% ao longo do eixo, caracterizando bem distinto dos demais óleos vegetais, sendo a variável o V100 a mais importante para tal dispersão em função deste óleo apresentar o maior valor. As variáveis que contribuíram para a variabilidade ou dispersão dos demais tratamentos ao longo do eixo foram o DMV para o Agro'óleo 5% e $DV_{0,1}$ para o Agrex Oil 10%.

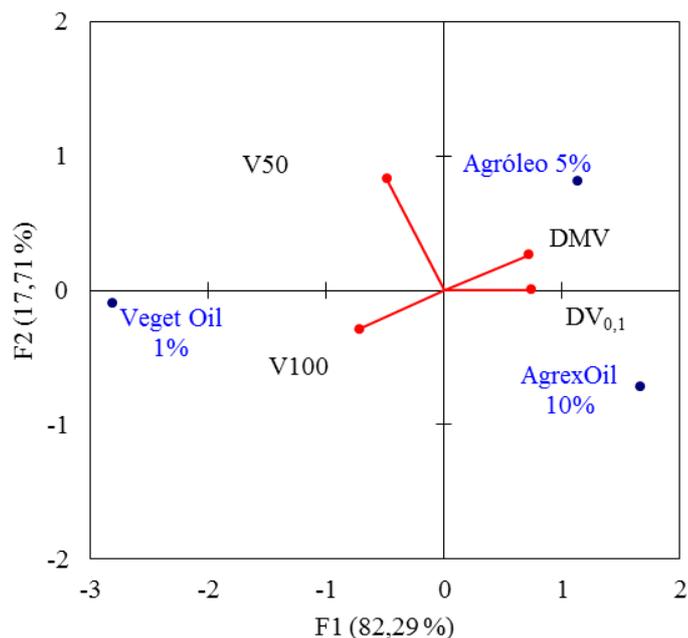


Figura 47. Análise de componentes principais (Fator 1 e Fator 2) das relações entre as variáveis e a contribuição dentro dos fatores para os adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais.

O percentual de deriva em função da distância de coleta dentro do túnel de vento para os diferentes grupos de adjuvantes está apresentado na Figura 48. Todos os grupos apresentam a mesma tendência de deposição ao longo do túnel de vento, ou seja, na medida que aumenta a distância de coleta dentro do túnel de vento, observa-se uma redução dos depósitos coletados. Observa-se que os óleos minerais apresentaram significativamente os menores valores de depósitos, independente da distância dentro do túnel de vento. Os surfatantes e a água apresentaram os maiores valores de deriva, sendo os surfatantes apresentando menor deriva que a água até a 1 m de distância e a partir de 1 m observa-se comportamento semelhante entre eles. Os óleos (Mineral e Vegetal) e os Redutores de Deriva apresentaram os menores valores de deriva em relação a água e os surfatantes.

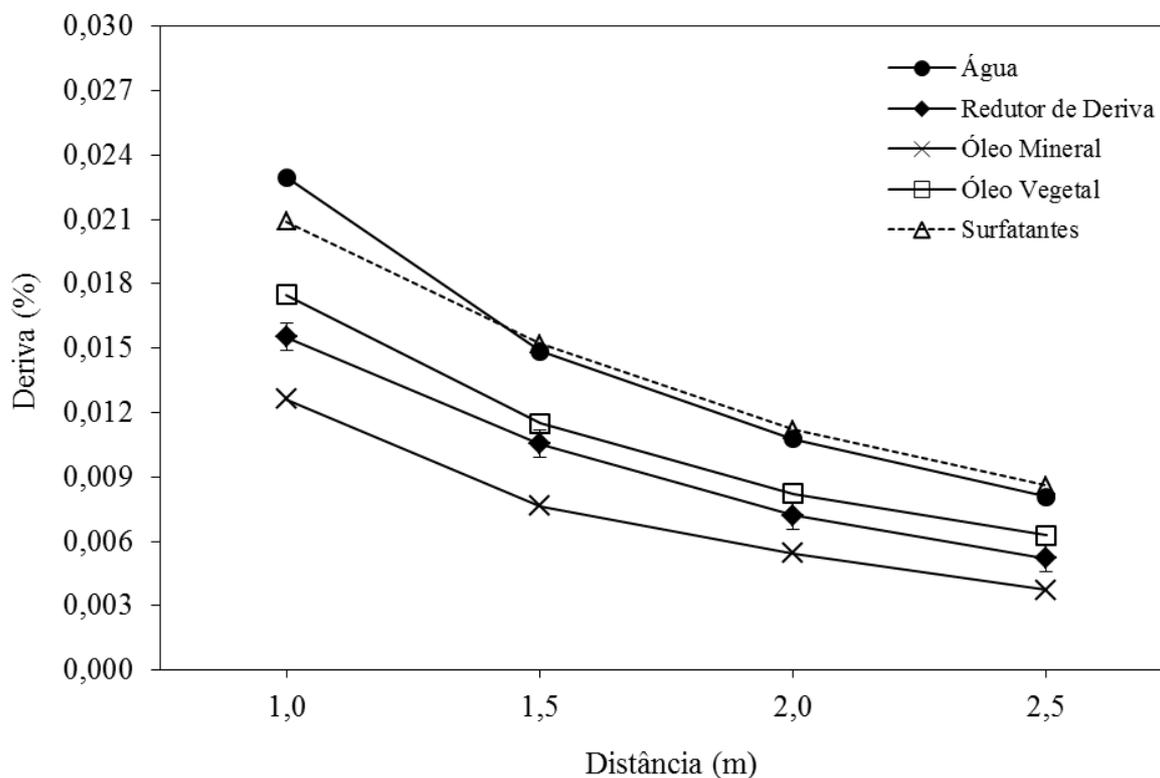


Figura 48. Percentual de deriva para os grupos de adjuvantes em função das distâncias de coleta dentro do túnel de vento.

Na Figura 49, está apresentado o percentual de deriva médio proporcionado pelos diferentes grupos de adjuvantes. Verifica-se que os Surfataentes apresentam os maiores valores de deriva, porém sem diferença significativa para o grupo dos Óleos Vegetais. Os resultados estão de acordo com Butler Ellis e Tuck (1999) que concluíram que a adição de surfataentes à calda aumenta o risco de deriva, pois diminui o espectro das gotas. Estes autores também verificaram que a adição de emulsão à calda aumentou o espectro das gotas em 8% e a adição de surfataentes diminuiu o espectro das gotas em 12%, utilizando pontas do tipo jato plano.

Os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais e Redutores de Deriva apresentaram os menores valores de deriva, sem diferenças significativas entre si.

Os Óleos Minerais e vegetais não apresentaram diferenças significativas, porém os óleos minerais apresentam tendências de maior eficiência na redução de deriva. Segundo Antuniassi et al. (2010), este fato pode ser ocasionado pelas diferenças nos

componentes de cada formulação dentre os adjuvantes utilizados, visto que todos eles se apresentam na forma de produtos formulados e não há conhecimento dos demais componentes além dos “princípios ativos” a que se referem, ou seja, os próprios óleos (minerais ou vegetais).

Em geral, cada grupo possui características particulares, ou seja, alguns aumentam a deriva e outros reduzem, indicando que o seu uso depende da finalidade, característica desejada nas misturas e, principalmente das condições das aplicações e risco de deriva. Por exemplo, os adjuvantes do grupo dos surfatantes Nonil Fenol Etoxilado indicam baixa capacidade de redução de deriva, porém eles são substâncias importantes como agentes molhantes que adicionados as caldas de pulverização aumentam o desempenho e eficiência no molhamento e que, conseqüentemente, podem proporcionar maior absorção do ingrediente ativo aplicado. Então quando se busca maior espalhamento eles devem ser escolhidos em supressão aos outros adjuvantes.

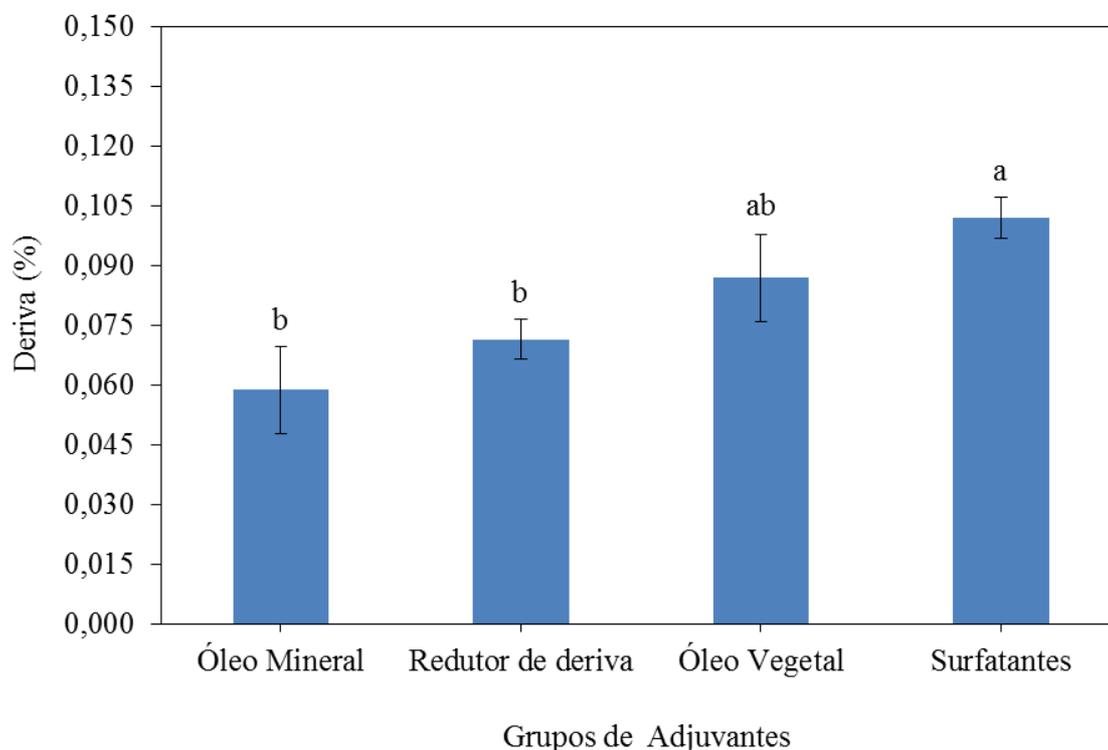


Figura 49. Porcentagens de Deriva (médias \pm IC_{5%}) proporcionada pelos diferentes grupos de adjuvantes.

A correlação entre a deriva e o DMV (μm) para os diferentes grupos de adjuvantes está apresentada na Figura 50. Verifica-se uma alta correlação e inversamente proporcional entre a deriva e o DMV ($r=-0,59$). Os adjuvantes redutores de deriva apresentaram os menores valores de deriva e maiores DMV, enquanto que os adjuvantes do grupo dos surfatantes apresentaram a maior deriva, os menores valores de DMV e com apenas uma fração de adjuvantes com valores menores que água. Observa-se que a dispersão dos óleos minerais (Nimbus 0,5% e 1% e Joint Oil 1%) apresentaram 100% abaixo da água. Os adjuvantes Redutores de Deriva apresentam apenas o Antideriva com os pontos dispersos acima da água.

Em geral, para todos os grupos observa-se a mesma tendência, ou seja, a medida que aumenta o DMV reduz a deriva.

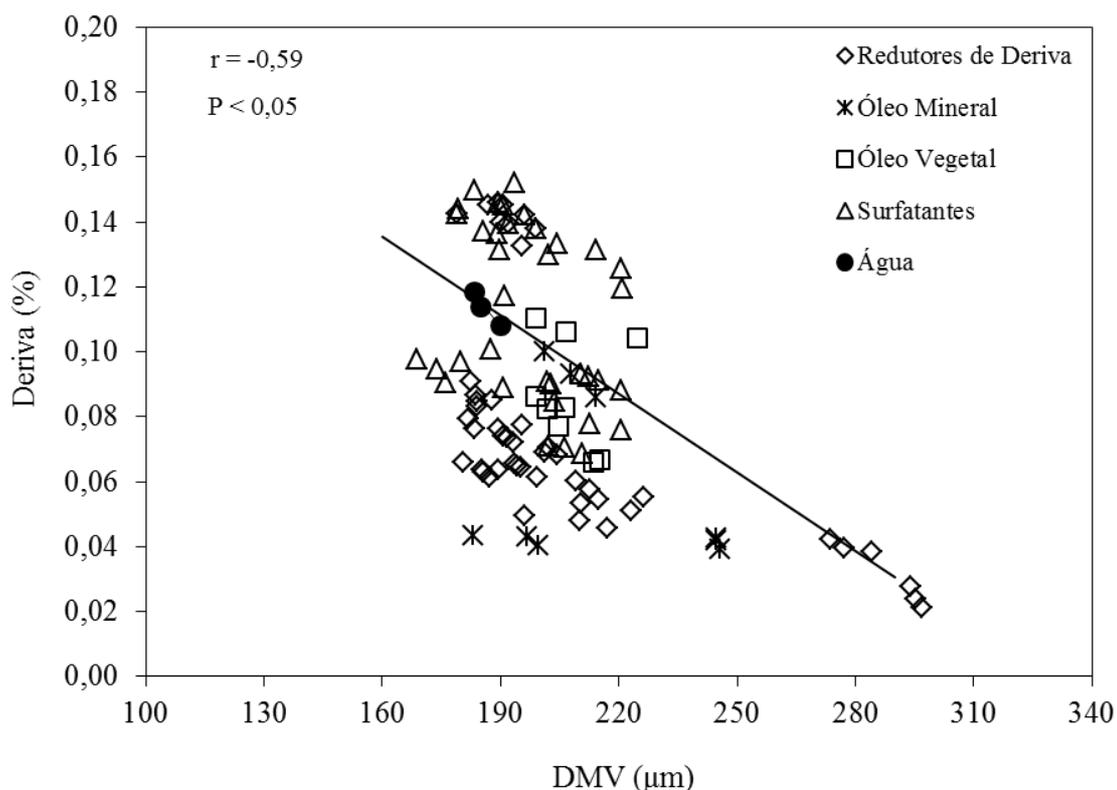


Figura 50. Correlação entre a deriva (%) e o DMV para os diferentes grupos de adjuvantes.

A correlação entre a deriva e o V100 está apresentada na Figura 51. Em geral, observa-se alta correlação positiva ($r = 0,44$), ou seja, adjuvantes que proporcionam aumento no V100 também proporcionam aumento significativo no potencial risco de deriva nas pulverizações. Stainier et al.(2006), comparando os seus dados com aqueles obtidos por Butler Ellis e Bradley (2002) sobre o efeito da formulação e adjuvantes no potencial risco de deriva, confirmaram claramente que a deriva é primeiramente afetada pelo espectro de gotas gerado na pulverização.

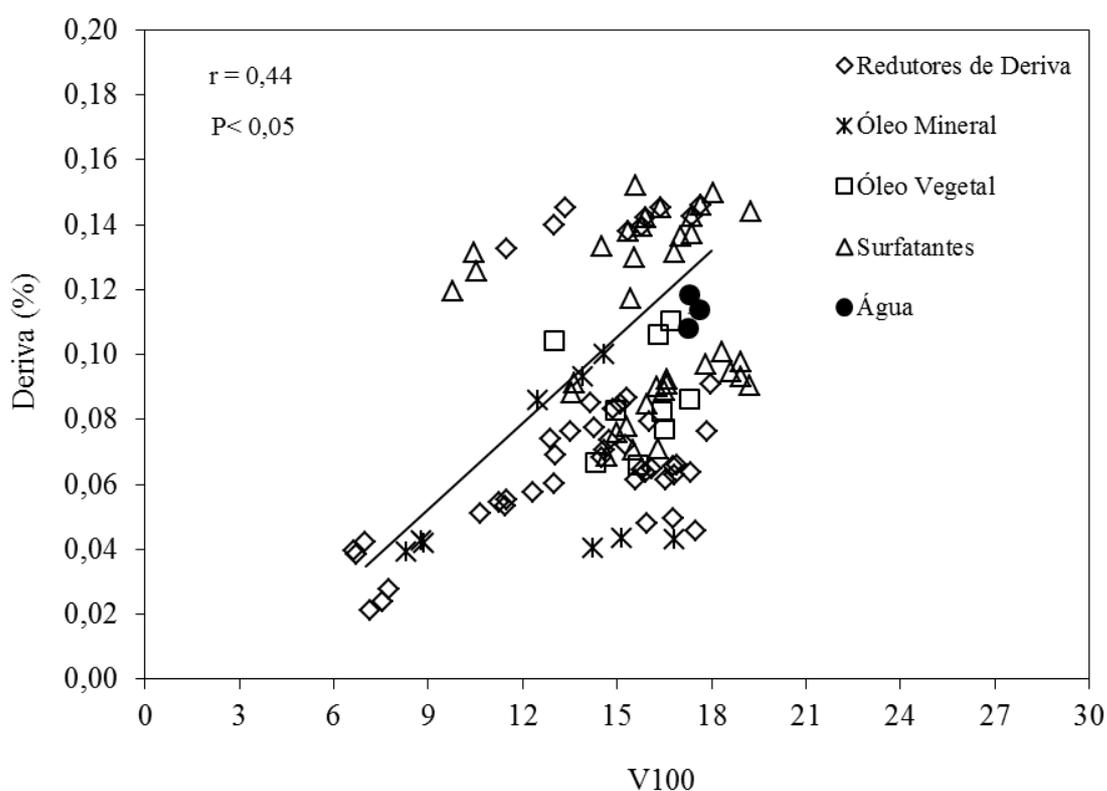


Figura 51. Correlação entre a Deriva (%) e o V100 para os diferentes grupos de adjuvantes.

A análise comparativa entre as funções indicadas nos rótulos dos adjuvantes pelos fabricantes e os resultados encontrados nesta pesquisa em relação ao potencial de molhamento e espalhamento e o potencial de deriva, para os grupos dos adjuvantes surfataentes, quando comparados com a água, está apresentada na Tabela 8.

Quanto ao espalhamento todos adjuvantes descrevem a função de espalhamento, estando de acordo com os resultados encontrados, ou seja, todos reduzem a tensão superficial quando comparados com a água. Na prática, os resultados estão de acordo com Gaskin e Zabkiewicz (1992), indicando que os surfatantes organosilicones tem alta capacidade de reduzir a tensão superficial da solução, os quais são atribuídos como excelente agente molhante da superfície foliar, neste caso os adjuvantes BreakThru e Silwet. Em relação as demais características verifica-se que os adjuvantes In-Tec e Antideriva descrevem a função de agentes redutores de deriva, porém os resultados mostram que eles não apresentam ação no espectro de gotas e proporcionam um aumento na deriva em comparação com a água. O adjuvante BreakThru 0,1% não apresentou ação no espectro de gotas e também proporciona aumento na deriva em comparação com a água, porém não descreve o seu potencial de ação no espectro de gotas e redução de deriva. O surfatante Haiten aumentou o DMV e reduz o V100, entretanto, não proporcionou ação como redutor de deriva em comparação a água. Os demais surfatantes (Agral, Silwet e TA35) apresentaram ação no espectro de gotas com aumento de DMV e redução do V100 e, conseqüentemente, apresentam redução de deriva quando comparados com a água e os demais surfatantes (Antideriva, In-Tec e BreakThru).

Tabela 8. Análise comparativa entre a função indicada no rótulo ou nas bulas e os resultados encontrados para os adjuvantes do grupo dos surfatantes quando comparados com a água

Nome Comercial ^{1/}	Função descrita pelo fabricante	TS	DMV	V100	Deriva
Antideriva	Adjuvante Redutor de deriva e anti espumantes	Reduz	Sem ação	Sem Ação	Aumenta
Agral	Espalhante adesivo, formação de película protetora auxiliando na absorção e penetração	Reduz	Aumenta	Reduz	Reduz
Break Thru	Espalhante Adesivo não-iônico com ação penetrante	Reduz	Sem Ação	Sem Ação	Aumenta
Haiten	Espalhante Adesivo não iônico	Reduz	Aumenta	Reduz	Sem Ação
In-Tec	Espalhante Adesivo e Adjuvante; Atua como redutor de Deriva, Evaporação e Anti espumantes	Reduz	Sem Ação	Sem Ação	Aumenta
Silwet	Espalhante adesivo não iônico que reduz a tensão superficial e aumenta o tamanho de gotas	Reduz	Aumenta	Reduz	Reduz
TA35	Adjuvante sequestrante de cátions, reduz a tensão superficial e o efeito negativo das chuvas após aplicação	Reduz	Reduz	Aumenta	Reduz

^{1/} A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor; ^{2/}TS - Tensão Superficial mN m⁻¹; ^{3/}DMV - Diâmetro Mediano Volumétrico (µm).

Na Tabela 9 está apresentada a análise comparativa para os adjuvantes do grupo dos Redutores de Deriva. Quanto ao espalhamento todos adjuvantes descrevem a função de espalhamento, estando de acordo com os resultados encontrados, ou seja, todos reduzem a tensão superficial quando comparados com a água. Em relação as demais características verifica-se que os adjuvantes Antideriva, AgBem e TacTic não apresentam ação no espectro de gotas (DMV e o V100). O adjuvante Grip apresenta sem ação no DMV, porém reduz o V100. Os demais adjuvantes aumentam o DMV e reduzem o V100.

Com exceção do adjuvante Antideriva que, ao contrário, aumenta a deriva, os demais adjuvantes proporcionaram redução da deriva quando comparados com a água.

Tabela 9. Análise comparativa entre a função indicada no rótulo e os resultados encontrados para os adjuvantes do grupo dos Redutores de Deriva quando comparados com a água

Nome Comercial ^{1/}	Fabricante	TS ^{2/}	DMV ^{3/}	V100	Deriva
AntiDeriva	Adjuvante Redutor de deriva e anti espumante	Reduz	Sem Ação	Sem Ação	Aumenta
AgBem	Espalhante adesivo; auxilia no tempo de persistência dos agrotóxicos sobre as folhas	Reduz	Sem Ação	Sem Ação	Reduz
Define	Resina vegetal em grânulos dispersíveis com características de redução de deriva e evaporação	Reduz	Aumenta	Reduz	Reduz
Grip	Espalhante Adesivo de alta deposição e retenção	Reduz	Sem Ação	Reduz	Reduz
LI700	Acidificante; penetrante e redutor de deriva	Reduz	Aumenta	Reduz	Reduz
NutriFix	Espalhante e Adjuvante que reduz a tensão superficial aumentando a molhabilidade	Reduz	Aumenta	Reduz	Reduz
TacTic	Espalhante Adesivo	Reduz	Sem Ação	Sem Ação	Reduz

^{1/} A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor; ^{2/} TS – Tensão Superficial mN m⁻¹;

^{3/} DMV - Diâmetro Mediano Volumétrico (µm).

Na Tabela 10 está apresentada a análise comparativa para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais. Quanto ao espalhamento os óleos minerais descrevem no rótulo a função de espalhamento, estando de acordo com os resultados encontrados, ou seja, todos reduzem a tensão superficial quando comparados com a água. O Nimbus altera o espectro de gotas com aumento do DMV e redução do V100, enquanto o Joint Oil não altera o espectro de gotas, porém ambos proporcionam redução na deriva quando comparados com a água.

Tabela 10. Análise comparativa entre a função indicada no rótulo e os resultados encontrados para os adjuvantes do grupo dos Óleos Minerais quando comparados com a água

Nome Comercial ^{1/}	Fabricante	TS ^{2/}	DMV ^{3/}	V100	Deriva
Joint Oil	Adjuvante do grupo dos hidrocarbonetos alifáticos (Óleo mineral); reduz a tensão superficial e evaporação	Reduz	Sem Ação	Sem Ação	Reduz
Nimbus	Adjuvante que auxilia na distribuição uniforme das gotas sobre as superfícies, auxiliando na penetração e absorção	Reduz	Aumenta	Reduz	Reduz

^{1/} A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor; ^{2/}TS – Tensão Superficial mN m⁻¹; ^{3/}DMV - Diâmetro Mediano Volumétrico (µm);

Na Tabela 11 está apresentada a análise comparativa para os adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais.

Quanto ao espalhamento os fabricantes descrevem no rótulo a função de espalhamento para todos os óleos vegetais, concordando com os resultados encontrados, ou seja, todos reduzem a tensão superficial quando comparados com a água. Com exceção do Veget Oil que não apresentou alteração no V100, os demais óleos vegetais apresentaram ação nas duas variáveis do espectro de gotas (DMV e V100) e todos os óleos vegetais proporcionaram redução da deriva quando comparados com a água.

Tabela 11. Análise comparativa entre a função indicada no rótulo e os resultados encontrados para os adjuvantes do grupo dos Óleos Vegetais quando comparados com a água

Nome Comercial ^{1/}	Fabricante	TS ^{2/}	DMV ^{3/}	V100	Deriva (%)
Agro' óleo	Espalhante adesivo do grupo químico Ésteres graxos; auxilia na distribuição e aderência da calda	Reduz	Aumenta	Reduz	Reduz
Agrex Oil	Inseticida e adjuvante do grupo químico Ésteres graxos com ação de contato	Reduz	Aumenta	Reduz	Reduz
Veget Oil	Inseticida de contato adjuvante	Reduz	Aumenta	Sem Ação	Reduz

^{1/} A citação de nomes comerciais não indicam a recomendação ou anuência do autor; ^{2/}TS – Tensão Superficial mN m^{-1} ; ^{3/}DMV - Diâmetro Mediano Volumétrico (μm);

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS: CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL DE ADJUVANTES

A maior parte dos adjuvantes que são registrados junto aos órgãos competentes são classificados de maneira simplificada como “adjuvantes”, “espalhantes” ou “espalhantes-adesivos”. Alguns produtos apresentam ainda registro para funções fitossanitárias, como o caso de óleos que são registrados como inseticidas ou acaricidas. Considerando toda a gama de funções descritas na literatura técnica sobre o assunto, esta classificação simplificada pouco colabora para o entendimento do posicionamento dos produtos registrados, principalmente no que se refere às suas funções reais no contexto da tecnologia de aplicação.

Todos os adjuvantes avaliados neste trabalho reduziram a tensão superficial (TS) da solução em comparação à água, com menores valores para as maiores concentrações. A maioria dos produtos reduziu a TS para valores abaixo de 40 mN m^{-1} , sendo que apenas os organossilicones (Silwet e BreakThru) e o TacTic 0,26% alcançaram valores próximos ou abaixo de 20 mN m^{-1} . No outro extremo da escala, os produtos Define, Nutrifix, AgBem e Grip 0,165% foram aqueles que resultaram nas maiores tensões, demonstrando menor poder surfatante.

Analisando-se os resultados de maneira geral, observa-se que a simples classificação de “espalhante” poderia ser adotada para a maioria dos adjuvantes, mas isso não representa a realidade da ação dos mesmos. Se observada apenas pela ótica da tensão superficial, a classificação se torna muito simplista, colocando no mesmo grupo funcional adjuvantes como o Agral e os óleos vegetais Veget Oil e Agrex Oil, produtos com funções claramente distintas. Ainda, apenas no caso de Silwet, BreakThru e TacTic 0,26% o efeito de redução de tensão foi tão evidente que justificaria a classificação simples como “espalhante”. Entende-se, portanto, que é necessário definir critérios mais objetivos quanto ao poder de redução da tensão superficial para que se possa classificar e registrar produtos como “espalhantes”.

Apesar de haver influência significativa dos adjuvantes utilizados neste trabalho na condutividade elétrica, a magnitude de valores obtidos não apresentaram resultados práticos que possam fundamentar uma classificação ou registro para esta característica.

A presença de adjuvantes reduziu a densidade das soluções, com algumas diferenças significativas entre tratamentos, mas os valores encontrados foram todos próximos à densidade da água. Entretanto, a análise da correlação entre os fatores mostrou relação inversa significativa entre densidade e deriva, indicando que este pode se tornar um fator a ser melhor estudado no que se refere à classificação e registro de adjuvantes quanto ao efeito de redução de deriva.

A viscosidade apresentou correlações significativas com o DMV (positiva) e com o V100 (negativa). No caso da deriva, a correlação também foi negativa e significativa, ou seja, aumentos na viscosidade resultaram em reduções dos níveis de deriva. Na comparação entre adjuvantes, apenas o Agral a 0,1% e o AgBem a 0,05% reduziram a viscosidade em comparação com a água, porém sem diferença significativa. Os demais aumentaram a viscosidade, sendo que os maiores valores foram encontrados para Define, Agrex Oil, LI700 e Agro'óleo. Para todos os adjuvantes observa-se que o aumento na concentração dos mesmos propiciou incrementos nos valores de viscosidade. Estes resultados mostram que a viscosidade das caldas pode ser um indicativo de ação antideriva, notadamente em função das correlações entre esta característica e o DMV e o V100, com potencial para utilização em sistemas de classificação e registro de adjuvantes.

Em geral, todos os adjuvantes proporcionam alteração no DMV, com o adjuvante TA35 (0,2%), diminuindo o DMV significativamente e os demais aumentando o DMV em comparação com a água. O DMV foi dependente da concentração dos adjuvantes. Com exceção do Define e do Nutrifix, os demais reduziram os valores de DMV com o aumento de suas concentrações na calda. O uso do DMV isoladamente requer estudos complementares no que se refere à classificação dos adjuvantes. Apesar de todos os produtos apresentarem influência no DMV, as informações sobre o comportamento deste fator perante as diferentes concentrações requer aprofundamento. Apenas o Define mostrou aumento do DMV quando do aumento da concentração, comportamento que possibilitaria uma classificação direta como redutor de deriva, por exemplo, facilitando as decisões nos processos de registro.

O V100 apresentou melhor correlação com as variáveis em comparação com o V50, mostrando ser mais indicada para ser correlacionada com os fatores que afetam a pulverização, e conseqüentemente, para a classificação e registro de adjuvantes. Isto pode ocorrer devido a maior variabilidade proporcionada pelo V50 nos tratamentos e a magnitude de seus valores, o que inibe a interação com as outras variáveis. Entretanto, é interessante observar que houve tendência de maiores valores de V50 para os óleos vegetais (Agro'óleo, Agrex Oil e Veget Oil), sendo que o menor valor foi obtido pelo Define.

Na análise do V100, os menores valores foram obtidos para o LI700 0,5% (6,8%), Define 0,12% (7,5%) e Nimbus 0,5% (8,65%). Comparando os valores do LI700 0,5 (6,8%) e o Agral 0,1% (15,62%), observa-se que o LI700 0,5% reduziu em 43,44% o V100. Considerando a correlação positiva significativa entre o V100 e o índice de deriva, entende-se que esta característica do espectro de gotas pode ser utilizada para classificação e registro de adjuvantes quanto ao seu efeito redutor de deriva.

A maioria dos adjuvantes melhorou o espectro de gotas, reduzindo o valor da Amplitude Relativa em relação à água, com destaque para os adjuvantes Nutrifix, Grip LI700 e Nimbus. As diferenças observadas entre tratamentos indicam que há potencial para classificar e registrar os adjuvantes quanto ao poder de melhorar o espectro de gotas, visto que esta é uma característica desejável no que se refere à tecnologia de aplicação.

A adição dos adjuvantes proporcionou alterações no percentual de deriva para todas as soluções formuladas. Verificou-se que 78% dos adjuvantes apresentaram

deriva menor que a água, com destaque para o Define a 0,12% que reduziu a deriva em 78,60%. No que se refere ao comportamento das diferentes concentrações dos adjuvantes, apenas o Define apresentou comportamento inversamente proporcional com diferença significativa das concentrações com relação à deriva, ou seja, o aumento da concentração promoveu redução do risco de deriva. Nos demais adjuvantes esta relação foi diretamente proporcional, ou seja, o aumento da concentração proporcionou maior deriva, assim como, em muito casos, as diferenças não foram significativas.

Assim como na análise da tensão superficial e do DMV, a medida direta do índice de deriva apresenta potencial de utilização para classificação e registro de adjuvantes. Entretanto, é necessário que os estudos do potencial de uso desta ferramenta sejam aprofundados, visto que as diferenças entre adjuvantes são muito pequenas, havendo necessidade de melhor discussão de valores-padrão ou limites mínimos para comparação de resultados.

Na análise das correlações entre os fatores, observou-se uma correlação positiva entre a viscosidade e o DMV ($r=0,67$). Correlação negativa entre DMV e o V100 ($r=-0,84$), entre a viscosidade e o V100 ($r=-0,48$), entre a densidade e o V100 ($r=-0,26$). Em geral, verificou-se que a deriva foi mais influenciada pelas variáveis inversamente proporcionais, como o DMV ($r=-0,54$), a densidade ($r=-0,47$) e a viscosidade ($r=-0,46$). Ainda, obteve-se correlação positiva entre a deriva e o V100 ($r=0,46$). Em todos estes casos, as correlações significativas indicam que as variações dos fatores não foram aleatórias e que há potencial de que tais características possam ser usadas nos processos de classificação funcional e registro de adjuvantes.

É importante salientar que algumas classes funcionais podem ser comprovadas de maneira rápida e direta apenas com ensaios simples de laboratório, como é o caso de medidas do espectro de gotas, da viscosidade ou densidade da calda e o índice de deriva em túnel de vento. Deste modo, abriria-se caminho para processos de classificação e registro mais simples e diretos, facilitando o registro formal de uma grande quantidade de adjuvantes que são comercializados sem a devida oficialização.

8 CONCLUSÕES

De acordo com as condições em que foi realizado este trabalho pode-se concluir que:

A adição de adjuvantes alterou as propriedades físicas e químicas das soluções aquosas em diferentes magnitudes, dependendo da concentração utilizada.

O Silwet 0,1% e 0,2% e BreakThru 0,1% proporcionaram maior redução na tensão superficial, enquanto que os adjuvantes redutores de deriva a base de polímeros (Define 0,06% e 0,12%) proporcionaram maior aumento nos valores de viscosidade e densidade das soluções.

Os adjuvantes modificam o espectro de gotas e o potencial risco de deriva. Os adjuvantes Define (0,06% e 0,12%) Nimbus (0,5% e 1%) e LI700 (0,5% e 1%) apresentam os maiores valores de DMV e menores de V100 e menor deriva. Os adjuvantes Antideriva, In-Tec e BreakThru não proporcionam alteração no espectro de gotas, apresentando maior deriva, quando comparados com a água.

A maioria dos adjuvantes é posicionada como espalhante, estando de acordo com os resultados encontrados, ou seja, todos reduziram em algum grau a tensão superficial quando comparados com a água.

Para muitos adjuvantes existe defasagem entre o que está descrito na especificação técnica (rótulo) ou no posicionamento dos fabricantes com relação às reais funções observadas nos ensaios que foram realizados neste trabalho.

A classificação do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA) para registro dos adjuvantes em “espalhantes, espalhantes- adesivos e adjuvantes” não contempla as reais funções destes produtos. Desta forma abre-se caminho para o emprego errôneo de informações de rótulo, bula ou do próprio posicionamento dos produtos por parte dos fabricantes.

As características avaliadas e suas respectivas metodologias de determinação apresentam potencial de aplicação na classificação e registro dos adjuvantes.

9 REFERÊNCIAS

ABBOTT, H. A.; VAN DYK, L. P.; GROBBELAAR, N. Spreading of spray mixtures on leaf surfaces. **Pesticide Science**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 419-429, 1990.

ANTUNIASSI, U. R. **Avaliação de sistemas de injeção de defensivos para utilização em agricultura de precisão**. 1999. 83 f. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

ANTUNIASSI, U. R. Avanços na tecnologia de aplicação de defensivos. In: HIROMOTO, D. (Org.). **Boletim de Pesquisa de Soja**. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, v.1, 2003. p. 168-171.

ANTUNIASSI, U. R. **Aplicação aérea no controle da ferrugem da soja**. In: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. Qualidade em tecnologia de aplicação. Botucatu: Fepaf, 2004. p. 167-176.

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

ANTUNIASSI, U. R. et al. Influência de adjuvantes e períodos de chuva na aplicação de Haloxyfopmetil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010. p. 3419-3423.

ASTM - Terminology relating to agricultural tank mix adjuvants. In: ASTM International. **Annual book of ASTM standards**. v 11.05. Biological effects and environmental fate: biotechnology, pesticides, Philadelphia: ASTM International, 1995. p. 955-967.

AZEVEDO, L. A. S. **Proteção integrada de plantas com fungicidas**. Campinas: Emopi Gráfica, 2001. 230 p.

BAKER, E. A., CHAMEL, A. R. Herbicide penetration across isolated and intact leaf cuticles. **Pesticide Science**, Oxford, v. 29, p. 187-96, 1990.

BARLOW, J. B.; RAE, W. H.; POPE, A. **Low-speed wind tunnel testing**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1999. 703 p.

BERGERON, V.; MARTIN, J. Y.; VOVELLE, L. **Use of polymers as sticking agents**. US Patent 6, p. 534-563, 2003.

BODE, L. E.; BUTLER, B. J.; GOERING, C. E. Spray drift and recovery as affected by spray thickener, nozzle type, and nozzle pressure. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 213-218, 1976.

BOUSE, L. F.; CARLTON, J. B.; JANK, P. C. Effect of water soluble polymers on spray droplet size. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 31, p. 1633-1641, 1988.

BUHLER, D. D.; BURNSIDE, O. C. Effect of water quality, carrier volume, and acid on glyphosate phytotoxicity. **Weed Science**, Champaign, v. 31, n. 2, p. 163-169, 1983.

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**, Guildford, v. 16, n. 1, 1997.

- BUTLER ELLIS, M. C.; TUCK, C. R. How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. **Crop Protection**, Guildford, v. 18, n. 1, p. 101-109, 1999.
- BUTLER ELLIS, M. C.; BRADLEY, M. C. The influence of formulation on spray drift. **International Advances in Pesticide Application**, Cambridge, v. 66, p. 257-259, 2002.
- CHI, L.; KUSHWAHAR, R. L.; BIGSBY, F. W. Chemical flow rate control for an injection type sprayer. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 5, p. 339-343, 1989.
- CHORILLI M. et al. Influência da viscosidade do veículo na liberação *in vitro* da cafeína. **Revista Farmácia**, Anápolis, n. 4, p. 52-60, 2007.
- CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: Teejet South América, 1999. 15 p. (Boletim técnico 5).
- COMBELLACK, J. H.; WESTERN, N. M.; RICHARDSON, R. G. A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. **Crop Protection**, Guildford, v. 15, n. 2, p. 147-152, 1996.
- COSTA, E. A. D. **Efeito de surfactantes sobre a tensão superficial de soluções de Rodeo**. 1997. 84 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.
- COSTA, A. G. F. **Determinação da deriva da mistura 2,4-D e glyphosate com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes**. 2006. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.
- COSTA, A. G. F.; MILLER, P. C. H.; TUCK, C. R. The development of wind tunnel protocols for spray drift risk assessment. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 77, p. 289-294, 2006.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.
- CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.

CURRAN, W. S. et al. Adjuvants for enhancing herbicide performance. **Agronomy Facts**, Pennsylvania, v. 37, p. 1-5, 1999.

DE RUITER, H. Developments in adjuvant use for agrochemicals. **Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkd Toegep Biol Wet**, Cieszyński, v. 67, n. 2, p.19-25, 2002.

DERKSEN, R. C. et al. Droplet spectra and wind tunnel evaluation of venturi and pre-orifice nozzles. **ASABE**, St. Joseph, v. 42, n. 6, 1573-1580, 1999.

ETHERIDGE, R. E.; WOMAC, A. R.; MUELLER, T. C. Characterization of the spray droplet spectra and patterns of four venturi-type drift reduction nozzles. **Weed Technology**, Lawrence, v. 13, n. 4, p. 765-70, 1999.

FARRIS, M. E. The effect of penetrator and plus on pesticide deposition, evaporation, and foliage residue in cotton. **Proceedings of the Beltwide Cotton Conference**, San Antonio, v. 2, p. 768-771, 1991.

FERREIRA, M. C. et al. Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica Adga 110015 para pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v. 27, n. 2, p. 471-478, 2007.

FIETSAM, J. F. W.; YOUNG, B. G.; STEFFEN, R. W. Herbicide drift reduction to drift control agents with glyphosate. **ASABE**, St. Joseph, v. 47, n. 5, p. 1405-1411, 2004.

FLECK, N. G. **Controle químico de plantas daninhas**. Porto Alegre: UFRGS, 1993. 132 p.

GARCIA, M. H. F.; FARIAS, S. B.; FERREIRA, B. G. Determinação quantitativa da concentração de silicone em antiespumantes por espectroscopia FT-IR / ATR e calibração multivariada. **Polímeros**, São Carlos, v. 14, n. 5, p. 322-325, 2004.

GASKIN, R. E.; ZABKIEWIC, Z. Effect of plant age and adjuvant on the foliar penetration and translocation of glyphosate in pampas Grass (Cortadeira Selloana). In: FOY, C. L. **Adjuvants for agrichemicals**. Boca Raton: Library of Congress, 1992. Cap. 37, p. 399-403.

GORECKI, J. P. **Túneis aerodinâmicos**: passado, presente e futuro. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIAS TÉRMICAS, 2., 1988, Águas de Lindóia, **Resumos...** Águas de Lindóia, 1988. 53 p.

GREEN, J. M. **Herbicide adjuvants**. Woodland: **Weed Science School**, 2001. p. 26-28.

GREEN, J. M.; BEESTMAN, G. B. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. **Crop Protection**, Guildford, v. 26, n. 3, p. 320-327, 2007.

GULER, H. et al. Spray characteristics and wind tunnel evaluation of drift reduction potential with air induction and conventional flat fan nozzle. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2006, Portland. **Abstracts...** Portland: ASABE Oregon Convention Center, 2006. Paper No. 06111.

HAAPALA, E. The effect of a nonionic detergent on some plant cells. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 23, p. 187-201, 1970.

HAZEN, J. L. Adjuvants: terminology, classification, e chemistry. **Weed Technology**, Champaign, v. 14, p. 773-784, 2000.

HERBST, A. **A method to determine spray drift potential from nozzles and its link to buffer zone restrictions**. Paper number: 01-1047, an ASAE Meeting presentation, 2001.
HESS, F.D.; FOY, C. L. Interaction of surfactants with plant cuticles. **Weed Technology**, Champaign, v. 14, p. 807-813, 2000.

HEWITT, A. J. et al. Effect of adjuvants and formulations on aerial spray drift potential. **Pesticide Science**, Oxford, v. 37, p. 209-211, 1993.

HOCK, W. K. **Horticultural spray adjuvantes**. Pennsylvania: Pennsylvania State Univesity, 1998. p. 1-4. (Agrichemical fact Sheet, 10).

HOCK, W. K. **Horticultural spray adjuvantes**. Pennsylvania: Pennsylvania State Univesity, 2004. p. 1-4. (Agrichemical fact Sheet 11).

HOLLOWAY, P. J.; EDGERTON B. M. Effects of formulation with different adjuvants on foliar uptake of difenzaquat and 2,4-D : model experiments with wild oat and field bean. **Weed Research**, Oxford, v. 32, p. 183-195, 1992.

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)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

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

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

KISSMANN, K. G. **Adjuvantes para caldas de defensivos agrícolas**. BASF: São Paulo, 1996. 45 p.

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

LEFEBVRE, A. H. **Basic processes in atomization**. Philadelphia: Hemisphere Publishing Corporation, 1989. p. 27-78.

LIMA, P. H. Planejamento e desenvolvimento de um túnel aerodinâmico do tipo soprador visando o ensino e a pesquisa em engenharia. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA, 11., 2004, Nova Friburgo. **Anais...** Nova Friburgo: Instituto Politécnico, 2004.

LUND, I. Nozzles for drift reduction. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 57, p. 97-102, 2000.

MANTHEY, F. A. et al. Epicuticular wax solubility in petroleum solvents relative to herbicide phytotoxicity. In: HAZEN, J. L. (Ed.). **Pesticide formulations and application systems: international aspects**. Philadelphia: ASTM, 2000. p. 56-73.

MATTHEWS, G. A. **Application of pesticides to crops**. London: Imperial College Press, 2000. 325 p.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Funep, 1990. 139 p.

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. 163-173, 1989.

McMULLAN, P. M. Emulsifier surfactant-oil combinations with tralkoxydim. **Journal Plant Science**, Ottawa, v. 73, n. 4, p. 1275-1281, 1993.

McMULLAN, P. M. Utility adjuvants. **Weed Technology**, Champaign, v. 14, p. 792-797, 2000.

McWHORTER, C. G.; OUZTS, R. Leaf surface morphology of *Erythoxylum* sp. and droplet spread. **Weed Science**, Champaign, v. 42, p. 18-26, 1994.

MENDONÇA, C. G. et al. Efeitos de surfatantes sobre a tensão superficial e a área de molhamento de soluções de glyphosate sobre folhas de tiririca. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 355-365, 1999.

MENDONÇA, C. G.; RAETANO, C. G.; MENDONÇA, C. G. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. especial, p. 16-23, 2007.

MILLER, P.C.H. Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. Application technology for crop protection. Trowbridge: CAB International, 1993. p. 101-122.

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

MILLER, P. C. H. Reducing the risk of drift from boom sprayers. In: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: Fepaf, 2004. p. 110-124.

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

MILLER, D. R.; STOUGHTON, T. E. Response of spray drift from aerial applications at a forest edge to atmospheric stability. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 100, p. 49-58, 2000.

MONTÓRIO, G. A. **Eficiência dos surfatantes agrícolas na redução da tensão superficial.** 2001. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

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)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

MOTA, A. A. B. et al. Espectro de gotas da pulverização de herbicida com e sem a adição de adjuvante de calda. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010. Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010. p. 3419-3423.

MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H.; PARKIN, C. S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Camden, v. 75, p. 127-137, 2000.

NALEWAJA, J. D. Esterified seed oil adjuvants. **Proceedings North Central Weed Science Society**, Champaign, v. 49, p. 149-156, 1994.

NEUMANN, P. M.; PRINZ, R. The effect of organosilicone surfactants on foliar nutrient sprays on increased adsorption of phosphate and iron salts through stomatal infiltration. **Israel Journal of Agricultural Research**, Rehovot, v. 23, p. 123-128, 1974.

NEWSOM, L. J., SHAW, D. R., HUBBARD, T. F. Absorption, translocation and metabolism of 263,222 in peanut (*Arachis hipogaea*), soybean (*Glycine max*) and selected weeds. **Weed Science**, Champaign, v. 41, p. 523-27, 1993.

NUYTTENS, D. et al. Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers, Part 1: Meteorological conditions. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 77, p. 321-329, 2006a.

NUYTTENS, D. et al. Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers, Part 2: Spray application technique. **Aspects Applied Biology**, Wellesbourne, v. 77, p. 331-339, 2006b.

NUYTTENS, D. et al. Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods. **Biosystems Engineering**, London, n. 3, p. 271-280, 2009.

OZKAN, H. E. **New nozzles for spray drift reduction**. Ohio, USA: Ohio State University, 2000. (Boletim 816-00). Disponível em: <<http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0523.html>>. Acesso em 4 mar. 2010.

OZKAN, H. E. **Reduzindo a deriva nas pulverizações**. Boletim 816-00 – 2001. Departamento de Alimentação, Agricultura e Engenharia Biológica. Universidade de Ohio - USA. Disponível em: <http://www.e-sprinkle.com.br/br/includes/downloads/Artigos/Como_Reduzir_a_Deriva.doc>. Acesso em: 5 fev. 2010.

OZKAN, H. E. et al. Shields to reduces spray drift. **Jounal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 67, p. 311-322, 1997.

OZKAN, H. E. et al. Effect of shielding spray boom on spray deposition. In: GOSS, G. R.; HOPKINSON, M. J.; COLLINS, H. M. (Eds.). **Pesticide formulations and application systems**. Ann Arbor: ASTM, 1997. p. 129-142.

PALLADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111 f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

PARKIN, C. S.; WHEELER, P. N. Influence of spray induced vortices on the movement of drops in wind tunnels. **Journal Agricultural Engineering Research**, London, v. 63, p. 35-44, 1996.

PARR, J. F.; NORMA, A. G. Considerations in the use of surfactants in plant systems: a review, **Botanical Gazette**, Chicago, v. 126. p. 86-96, 1965.

PENNER, D. Activator adjuvants. **Weed technology**, Champaign, v. 14, p. 785-791, 2000.

PHILLIPS, J.C.; MILLER, P.C.H. Field and wind tunnel measurements of the airborne spray volume downwind of single flat-fan nozzles. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 72, p. 161-170, 1999.

POPE, A. **Low speed wind tunnel testing**. New York: John Wiley & Sons, 1966. p. 44-73.

PRINGNITZ, B. Clearing up confusion on adjuvants and additives. Iowa of University Extension Agronomy. 1998. Disponível em: <<http://www.weeds/iastate.edu/mgmt/qtr98-2/cropoils.htm>>. Acesso em: 4 mar. 2010.

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

RHEINHEIMER, D. S.; SOUZA, R. O. Condutividade elétrica e acidificação de águas usadas na aplicação de herbicidas no Rio grande do sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 97-104, 2000.

RICHARD, M. D.; HOLLOWAY, P. J.; STOCK, D. Structure-sprayre tention enhancement relationships for some polymers and polymeric surfactants. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS, 5., 1998, Memphis. **Proceedings...** Memphis: Chemicals Producers, 1998. v. 1, p. 79-84.

SANDERSON, R. et al. Relative drift potential and droplet size spectra of aerially applied propanil formulations. **Crop Protection**, Guildford, v. 16, n. 8, p. 717-721, 1997.

SCHAMPHELEIRE, M. et al. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture**, Bedford, v. 9, p. 1-12, 2008.

SCHAMPHELERE, M. et al. The assessment of spray drift damage for grassland in Belgium. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 77, p. 275-280, 2006.

SHARMA, S. D., SINGH, M. Surfactants increase toxicity of glyphosate and 2,4-D to Brazil pusley. **Horticultural Science**, Kolkata, v. 36, p. 726-728, 2001.

SINGH, M., MACK, R. E. Effect of organosilicone-based adjuvants on herbicide efficacy. **Pesticide Science**, Oxford, v. 38, p. 219-25, 1993.

SNOO, G. R. Unsprayed field margins: effects on environment, biodiversity and agricultural practice. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 151-160, 1999.

- SPANOGHE, P. et al. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pesticide Management Science**, Oxford, v. 64, p. 4-16, 2007.
- STAINIER, C.; DESTAIN, B. S.; LEBEAU, F. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulatin and four adjuvants mixtures. **Crop Proctetion**, Guildford, v. 25, p. 1238-1243, 2006.
- STAT SOFT Inc. **Programa Statistica for Windows 8.0**. Tulsa, EUA: Stat Soft, Inc, 2007. 1 CD-ROM.
- STEVENS, P. J. G. Organosilicone surfactants as adjuvants for agrochemicals. **Pesticide Science**, Oxford, v. 38, n. 3, p. 103-122, 1993.
- STEVENS, P. J. G. et al. Organosilicone surfactants: tools for horticultural crop protection. **Proceedings of Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases**, Thornton Heath, p. 755-760. 1994.
- STEVENS, P. J. G. et al. Spray formulation with Silwet® organosilicone surfactants. In: FOY, C. L. **Adjuvants for agrichemicals**. Boca Raton: Library of Congress, 1992. chap. 37, p. 399-403.
- STICKER, W. E. The importance of adjuvants to the agricultural chemical industry. In: FOY, Chester L. **Adjuvants for agrichemicals**. New York: Marcell Dekker, 1992. p. 247-249.
- STOCK, D.; BRIGGS, G. Physiochemical properties of adjuvants: values and applications. **Weed Technology**. Champaign, v.14, p. 798-806, 2000.
- STOUGAARD, R.M. Adjuvant combinations with quizalofop for wild oat (*Avena fatua*) control in pepermit (*Mentha piperita*). **Weed Technology**, Champaign, v. 11, p. 45-50, 1997.
- TANG, X.; DONG, J. A comparison of spreading behaviors of Silwet l-77 on dry and wet lotus leaves. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 325, p. 223-227, 2008.
- TU, M.; RANDALL, J. M. Adjuvants. In: TU, M. et al. **Weed control methods handbook the nature conservancy**. Davis: TNC, 2003. p. 1-24

UNDERWOOD, A. K. Adjuvant trends for the new Millennium. **Weed Technology**, Champaign, v. 14, n. 4, p. 765-772, 2000.

VAN DE ZANDE, J. C.; HOLTERMAN, H. J.; WENNEKER, M. Nozzle classification for drift reduction in orchard spraying: identification of drift reduction class threshold nozzles. **Agricultural Engineering International**, Gainesville, v. 10, p. 12, may, 2008.

VAN VALKENBURG, J. W. Terminology, classification, and chemistry. In: **Adjuvants for herbicides**. Champaign: WSSA, 1982. p. 1-9.

WAGNER, P. et al. Quantitative assessment to the structural basis of water repellency in natural and technical surfaces. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54. n. 385, p. 1295-1303, 2003.

WALKLATE, P. J. et al. Drift classification of boom sprayers based on single nozzle measurements in a wind tunnel. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 57, p. 49-56, 2000.

WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. Kansas: Kansas State University, 2000. 4 p. (Application Technology Series).

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. ABEAS. **Curso de proteção de plantas, módulo 7: controle de doenças de plantas**. Brasília, DF: ABEAS, 1998. 42 p. Curso de Especialização por Tutoria à Distância.

ZHU, H. et al. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 5, p. 1401-1407, 1994.

ZHU, H. et al. Effects of polymer composition and viscosity on droplet size of recirculated spray solutions. **Journal Agricultural Engineer Resource**, London, v. 67, p. 35-45, 1997.

ZHU, H. et al. A system to determine lag time a mixture uniformity for online injection sprayers. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 14, n. 2, p. 103-110, 1998.