

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

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS PARA ESTIMAR A  
QUANTIDADE DE AR INCLUÍDO ÀS GOTAS POR PONTAS DE  
PULVERIZAÇÃO COM INDUÇÃO DE AR**

**FRANCISCO FAGGION**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP

Dezembro – 2002

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

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS PARA ESTIMAR A  
QUANTIDADE DE AR INCLUÍDO ÀS GOTAS POR PONTAS DE  
PULVERIZAÇÃO COM INDUÇÃO DE AR**

**FRANCISCO FAGGION**

Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

Co-Orientador: Paul Charles Harvey Miller

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP

Dezembro – 2002

## AGRADECIMENTOS

À Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP e ao *Silsoe Research Institute* – SRI por possibilitar a realização desse trabalho.

Aos Departamentos de Ciências Econômicas e Engenharias, Arquitetura e Ciências Agrárias da UNISC; ao Programa de Pós Graduação em Agronomia e a Área de Concentração em Energia na Agricultura da FCA; ao *Process Engineering Division* e ao *Chemical Application Group* do SRI.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio para a realização do Doutorado Sanduíche.

Ao Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi e ao *Professor* Paul C. H. Miller pela orientação, amizade e confiança.

Aos colegas da UNISC, aos Professores da FCA: Sérgio H. Benez, Carlos A. Padovani, José A. Furlani Junior, Carlos A. Gamero, Kléber P. Lanças, Gastão M. da Silveira e Lincoln G. Cardoso e aos Pesquisadores SRI: C. Steve Parkin, M. C. Butler-Ellis, D. Webb, G. Richardson e P. Walklate.

Aos técnicos das bibliotecas e demais setores das instituições envolvidas pela colaboração para a realização do trabalho, especialmente à Maria do Carmo Fernandes D'Áuria.

Aos amigos Sidnei Osmar Jadoski e Denise Mahl pelo apoio prestado durante o meu afastamento do país.

Aos colegas Renildo L. Mion, Moisés da S. Néry, Edmilson R. da S. Ruiz, Caetano Grossi, Maurício J. de Léon, Renato de A. Lara, Wellington P. A. de Carvalho e Adrian Watts.

Aos meus pais Olímpio e Ignez por terem me dado a vida, pela compreensão e por tudo o que fizeram por mim.

Aos familiares Erno, Lili, Zeni, Marli, Amauri, Marcos e Sandra pelo apoio.

À esposa Válmi pelo incentivo, compreensão e companheirismo dedicados durante essa caminhada.

À todos os que colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>VII</b>
<b>1 RESUMO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 SUMMARY.....</b>	<b>3</b>
<b>3 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>8</b>
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DA CALDA.....	9
4.2 FORMAÇÃO, TRANSPORTE E DEPOSIÇÃO DE GOTAS.....	10
4.3 COBERTURA DE ALVOS .....	12
4.4 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO.....	13
4.5 PONTAS DE PULVERIZAÇÃO COM INDUÇÃO DE AR.....	15
4.5.1 <i>Características</i> .....	15
4.5.2 <i>Princípios de funcionamento</i> .....	17
4.5.3 <i>Características das gotas geradas</i> .....	17
4.5.4 <i>Principais usos</i> .....	20
4.6 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE AR INCLUÍDO ÀS GOTAS.....	21
4.7 DIFICULDADES EXISTENTES PARA DETERMINAR O VOLUME DE AR INCLUÍDO ÀS GOTAS...	22
4.8 CLASSIFICAÇÃO DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO.....	23
4.9 LEGISLAÇÃO, NORMAS E CONTROLE DAS ATIVIDADES DE APLICAÇÃO.....	25
4.9.1 <i>Situação no Brasil</i> .....	25
4.9.2 <i>Situação no exterior</i> .....	27
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
5.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO.....	29
5.2 PONTAS DE PULVERIZAÇÃO .....	29
5.3 LÍQUIDO DE PULVERIZAÇÃO.....	30
5.4 PRESSÕES IMPOSTAS AO LÍQUIDO .....	30
5.5 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS DIVERSOS .....	32
5.6 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	33
5.7 MÉTODO DA CAPTURA DAS GOTAS DO SPRAY E DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE AR .....	34
5.8 MÉTODO DA MEDIDA DAS FORÇAS DE IMPACTO DAS GOTAS.....	37
5.8.1 <i>Forças de impacto</i> .....	37
5.8.2 <i>Fluxo de líquido</i> .....	39
5.9 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DAS GOTAS .....	41

<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
6.1 AR INSERIDO AO LÍQUIDO PELO MÉTODO DA CAPTURA DAS GOTAS.....	42
6.1.1 <i>Ajuste do método</i> .....	42
6.1.2 <i>Resultados definitivos</i> .....	43
6.2 FORÇAS DE IMPACTO DAS GOTAS E FLUXO DE LÍQUIDO.....	53
6.2.1 <i>Ajuste do método</i> .....	53
6.2.2 <i>Forças de impacto das gotas</i> .....	54
6.2.3 <i>Fluxo de massa do líquido</i> .....	57
6.2.4 <i>Velocidade das gotas</i> .....	58
6.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	62
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>64</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>72</b>
APÊNDICE 1. FORÇAS DE IMPACTO DAS GOTAS GERADAS POR DUAS PONTAS 04 A 400 KPA, POSICIONADAS 200 MM ACIMA DA PLACA DE IMPACTO, DESLOCANDO-SE A $0,11 \text{ m.s}^{-1}$ E COM O JATO PARALELO À PLACA.....	73

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Distribuição do mercado mundial de agroquímicos.....	8
2	Constituição geral de uma ponta de pulverização com indução de ar.....	16
3	Sensor de pressão, registro de saída do líquido e posição de uma ponta de pulverização com indução de ar durante a coleta de uma amostra.....	31
4	Mostrador digital de pressão, válvula reguladora de pressão e recipiente de armazenamento do líquido de pulverização.....	32
5	Funil para captura das gotas, proveta graduada, suporte com ponta, sensor de pressão e registro.....	35
6	Placa de impacto com uma ponta pulverizando.....	37
7	Coletor de fluxo com uma ponta em operação.....	40
8	Porcentagem de ar capturado com o líquido aspergido por cinco modelos de pontas de pulverização 02 trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão.....	49
9	Porcentagem de ar capturado com o líquido aspergido por cinco modelos de pontas de pulverização 04 trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão.....	50
10	Média das forças de impacto das gotas geradas por pontas de pulverização 02 trabalhando em diferentes pressões.....	55
11	Média das forças de impacto das gotas geradas por pontas de pulverização 04 trabalhando em diferentes pressões.....	56
12	Forças de impacto das gotas de parte de uma repetição geradas por duas pontas 03, uma com indução de ar e outra convencional, trabalhando a 300 kPa de pressão.....	57
13	Média do fluxo de massa de líquido de duas pontas 02 (vazio) e 04 (cheio), uma com indução de ar e outra convencional, trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão.....	58
14	Velocidade das gotas geradas por pontas de pulverização 02 trabalhando em diferentes pressões.....	59

15	Velocidade das gotas geradas por pontas de pulverização 04 trabalhando em diferentes pressões.....	60
16	Porcentagem de ar capturado em relação a velocidade das gotas para pontas de pulverização 02 (vazio) e 04 (cheio) trabalhando a 300 kPa de pressão.....	61

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro</b>		<b>Página</b>
1	Denominação dos tratamentos e descrição dos fatores avaliados na determinação do ar incluído às gotas por diferentes pontas de pulverização.....	44
2	Análise de variância dos valores de porcentagem de ar incluído nas gotas.....	44
3	Porcentagem de ar capturado no estudo da interação entre modelo e vazão: análises das vazões em função do modelo.....	45
4	Porcentagem de ar capturado no estudo da interação entre modelo e vazão: análise dos modelos em função da vazão.....	46
5	Porcentagem de ar capturado no estudo da interação entre modelo e pressão: análise das pressões em função do modelo.....	47
6	Porcentagem de ar capturado no estudo da interação entre modelo e pressão: análise dos modelos em função da pressão.....	48
7	Porcentagem de ar capturado com o líquido aspergido por cinco pontas de pulverização com indução de ar 02 de dois modelos trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão.....	52
8	Porcentagem de ar capturado com o líquido aspergido por cinco pontas de pulverização com indução de ar 04 de dois modelos trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão.....	53

## 1 RESUMO

As pontas de pulverização são componentes importantes dos sistemas utilizados para a aplicação de defensivos agrícolas por permitirem a alteração das características da aplicação. Às pontas de pulverização com indução de ar, desenvolvidas recentemente, é atribuída a possibilidade de redução da deriva, o que tem contribuído para sua popularização. O objetivo do trabalho foi desenvolver e avaliar métodos para determinar a quantidade de ar incluído às gotas do líquido aspergido por diferentes pontas de pulverização. O spray de gotas com ar em seu interior foi capturado em um funil para determinar a porcentagem de ar nelas contido. Para medir as forças de impacto das gotas foi utilizada uma placa de impacto. Um coletor com as mesmas dimensões de coleta que a placa foi posicionado na mesma posição e orientação do spray, para medir o fluxo de líquido. Em seguida foi calculada a velocidade das gotas. Quatro modelos de pontas de pulverização de jato plano com indução de ar e um modelo convencional foram utilizados. Em cada modelo utilizou-se uma série de pontas com vazões 015, 02, 03 e 04, todas com ângulo de aspersão do jato de 110°. Foram utilizadas, ainda, outras cinco diferentes pontas com indução de ar 02 e 04, de dois modelos, para avaliações de homogeneidade dos resultados entre pontas de mesmo modelo e vazão. Para realizar os testes foi utilizada a solução obtida da mistura de água com 0,1% de um adjuvante não iônico (Agral). Essa solução foi submetida às pressões de trabalho 200, 250, 300, 350 e 400 kPa em todas as pontas de pulverização testadas. Os métodos estudados foram desenvolvidos e avaliados e metodologias de trabalho foram propostas. O método de captura das gotas e a determinação da porcentagem de ar quantificou acuradamente o ar induzido e diferenciou pontas de pulverização quanto a quantidade de ar induzido. O método de captura

das gotas pode ser utilizado numa eventual norma de classificação das pontas de pulverização com indução de ar. Conhecendo as forças de impacto das gotas e o fluxo de líquido é possível encontrar a velocidade das gotas.

Palavras-chave: indução de ar; inclusão de ar; forças de impacto; desempenho de pontas de pulverização; velocidade das gotas

**DEVELOPMENT OF METHODS TO ASSESS THE QUANTITY OF AIR INCLUDED TO THE DROPLETS BY AIR INDUCTION NOZZLES.** Botucatu, 2002. 80p. Thesis (PhD in Agronomy/Agricultural Energy) – Agronomic Sciences Faculty, São Paulo State University.

Author: FRANCISCO FAGGION

Supervisor: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Second Supervisor: PAUL CHARLES HARVEY MILLER

## **2 SUMMARY**

Agricultural nozzles are important components of the systems used to apply agrochemicals because they allow alterations in terms of the characteristics of an application. To the recently developed air induction nozzles it is attributed the possibility of drift reduction, which contributes to make them more popular. The aim of this study was to develop and to evaluate methods for assessing the amount of air included in the droplets spread by different agricultural nozzles. The spray droplets with air in their interior were captured in a funnel in order to determine the percentage of air in them. An impact plate to measure the droplets impact forces was used. In order to measure the liquid flow a collector with the same area of the impact plate was placed on the same position and orientation of the spray. After data collection the droplets velocity was calculated. Four designs of air induction nozzles and one design of flat fan nozzle were used. In each design a series of nozzles with output of 015, 02, 03 and 04, all with 110o spray angle was used. It was used other five different air induction nozzles 02 and 04 with two different designs to evaluate the homogeneity of results between nozzles with the same design and output. To do the tests it was used the solution obtained from the mixture of tap water with 0,1% of a non-ionic adjuvant (Agral). That solution was submitted to 200, 250, 300, 350, and 400 kPa work pressures in all nozzles tested. The studied methods were developed and tested and working methodologies were proposed. The method of capturing the spray droplets and the determination of the percentage of air included quantified accurately the air induced and established the differences among the nozzles according to the quantity of air induced. That

method can be used when setting up norms in order to classify the air induction nozzles. Knowing the impact forces of the droplets and the flow rate it is possible to find out the velocity of the droplets.

Keywords: air induction; air inclusion; impact forces; nozzle performance; droplet velocity

### 3 INTRODUÇÃO

As pontas de pulverização são componentes importantes de diferentes pulverizadores hidráulicos agrícolas utilizados para a aplicação de produtos fitossanitários. Existem vários tipos de pontas de pulverização disponíveis no mercado. Um deles, de desenvolvimento recente, é o com indução de ar que tem como característica básica a geração de gotas com ar em seu interior, utilizando o princípio de Venturi. Várias empresas fabricam essas pontas existindo variações no desenho tanto do formato externo quanto das partes que as compõem, especialmente do orifício de entrada de ar.

Sabe-se que é possível obter o controle desejado utilizando baixos volumes de aplicação para a maioria dos produtos fitossanitários. Um dos problemas do uso de baixos volumes é a deficiência de cobertura dos alvos. A utilização de gotas finas pode ser uma alternativa para obter boa cobertura. No entanto, isto facilita a deriva ou o transporte das gotas para locais indesejáveis, pelo fato das mesmas possuírem pouca massa. Ainda, devido a grande superfície específica, em condições de temperatura elevada e de baixa umidade relativa do ar essas gotas evaporam rapidamente.

As pontas de pulverização com indução de ar geram menor número de gotas, porém de tamanho maior e, mesmo com a presença de ar em seu interior, sua massa é maior que as gotas geradas por pontas convencionais equivalentes. Com isso, as gotas geradas por algumas pontas com indução de ar sofrem menor efeito de deriva e sua evaporação é menor, nas mesmas condições operacionais. Existem indicações de que as gotas com ar em

seu interior têm comportamento de cobertura do alvo semelhante às gotas finas, possibilitando a aplicação de menores volumes de calda para se obter efeito de controle equivalente.

Atualmente, é grande a pressão social para minimizar o impacto ambiental causado pela aplicação de produtos fitossanitários, especialmente quanto a poluição de águas, tanto superficiais quanto profundas e do solo. Utilizar baixa quantidade de calda e de princípio ativo por área contribui para a redução desses problemas. Minimizar a deriva e deixar faixas sem aplicar próximas a rios, canais e lagos reduz as contaminações dos mananciais de água superficiais e quando a aplicação for feita próxima de outras áreas, minimiza efeitos indesejáveis sobre esses locais. Explorar esses fatores contribui para preservar o ambiente além de melhorar a economicidade da aplicação e da atividade agrícola como um todo.

Comparando-se com países da Comunidade Européia, tanto a pesquisa quanto a legislação e a orientação disponíveis aos agricultores sobre o controle da poluição ambiental pelo uso de defensivos agrícolas ainda são incipientes no Brasil. No entanto, os mercados (consumo interno e exportação) estão passando a exigir alimentos mais “limpos” e com rastreabilidade, o que torna obrigatória a utilização de recomendações que minimizem danos ambientais para produzi-los. Desta forma, para que os produtos agrícolas brasileiros continuem a ter ou melhorem a sua aceitação pelos consumidores é necessário qualificar os produtores através de orientações e minimizar a poluição no processo de produção.

As classificações existentes para pontas de pulverização baseiam-se na qualidade do espectro de gotas por elas gerado e no potencial de deriva dessas gotas, que é determinado em condições pré-estabelecidas de temperatura, umidade relativa e vento. Uma importante demanda nesta área de pesquisa é encontrar métodos que sejam capazes de oferecer informações confiáveis sobre a quantidade de ar adicionado ao líquido por diferentes pontas de pulverização, o que possibilitaria caracterizar pontas como sendo com indução de ar e classificá-las entre si.

Existem vários métodos que podem ser utilizados para encontrar o volume de ar contido nas gotas do spray; porém, até o momento não existem métodos publicados que sejam confiáveis, simples e de execução rápida. Além desses aspectos, a maioria dos equipamentos propostos até o momento para esta finalidade têm alto custo de aquisição e exigem profissionais altamente qualificados e treinados para realizar as análises.

Isso dificulta a caracterização, a diferenciação e a consequente classificação das pontas com indução de ar.

Portanto, este trabalho tem por objetivo desenvolver e avaliar métodos para a determinação da quantidade de ar incluído às gotas do líquido aspergido por pontas de pulverização com indução de ar.

#### 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Anualmente é comercializado o montante mundial de 31 bilhões de dólares em agroquímicos, dos quais cerca de 50% em herbicidas, 25% em inseticidas, 20% em fungicidas e 5% em outros produtos, estima Underwood (2001). O valor anual mundial e as porcentagens de produtos comercializados conferem com os citados por Matthews (1999). Esse autor apresenta, ainda, a distribuição do mercado mundial por região (Figura 1). A venda média anual de defensivos agrícolas no Brasil chega a 2,5 bilhões de dólares (Lei, 2002).

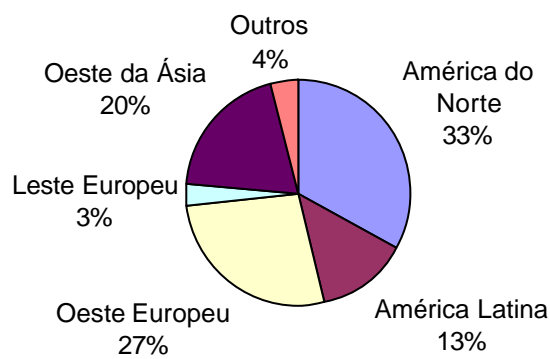


Figura 1. Distribuição do mercado mundial de agroquímicos. Adaptado de Matthews (1999).

Estes dados mostram a importância da eficiência na aplicação de agroquímicos para a redução dos custos econômicos e a consequente minimização dos danos ambientais causados pela sua utilização.

#### 4.1 Propriedades físicas da calda

A água é considerada um solvente universal e é amplamente utilizada para a aplicação de agroquímicos. As suas características e as dos adjuvantes adicionados ao produto comercial ou ao reservatório influenciam a estrutura das gotas. A elevada tensão superficial da água ( $72,6 \text{ mN.m}^{-1}$ ) dificulta a sua retenção por superfícies hidrofóbicas. A maioria dos adjuvantes utilizados causam o abaixamento da tensão superficial do líquido (Matuo 1990; Palladini, 2000; Hess & Foy, 2000; Montório, 2001).

A alta tensão superficial da água faz com que a gota depositada numa superfície permaneça na forma esférica, fazendo com que tenha pouca superfície de contato (Bergeron et al., 1999). Segundo Matthews (1999), as gotas de tamanho grande tendem a escorrer da superfície foliar, especialmente das cerosas, a menos que a calda contenha uma concentração suficiente de surfactante para reduzir a tensão superficial do líquido.

A tensão superficial da água destilada baixa rapidamente com o aumento da concentração do surfactante agral, atingindo o valor mínimo de  $30,5 \text{ mN.m}^{-1}$ , antes mesmo da concentração atingir 0,1%. Aumentando a concentração, a tensão superficial permanece próxima desse valor e a curva do coeficiente de micelização estabiliza próximo ao valor máximo de 100%, de acordo com Montório (2001).

Segundo Palladini (2000), a redução da tensão superficial da calda de  $72,6$  para  $36,5 \text{ mN.m}^{-1}$  induziu maior uniformidade na deposição em ambas as superfícies das folhas, aumentou a quantidade de calda depositada por folha e diminuiu a porcentagem de folhas das plantas de citros com depósitos menores. Este fato melhorou a deposição justamente nas folhas com maior probabilidade de apresentar deficiência em relação ao controle fitossanitário; porém, esse autor alerta que a redução da tensão superficial pode provocar maiores perdas por escorrimento.

Costa (1997) menciona que a avaliação da tensão superficial de soluções elaboradas exclusivamente com surfactantes apresenta pouca utilidade para definir o potencial de uso dos mesmos pois a presença do herbicida condiciona valores de tensão superficial diferentes daqueles verificados na sua ausência. Apesar de ter ocorrido correlação negativa entre a área de molhamento e a tensão superficial, Mendonça et al. (1999) alertam que não basta um surfactante reduzir a tensão superficial da água destilada para que possa ser recomendado uso agrícola e sugere que sejam feitos testes preliminares com os defensivos em que serão conjugados para posterior recomendação. Velini et al. (2000) chamam a atenção sobre a possibilidade de alguns herbicidas reduzirem o efeito de espalhantes adesivos no abaixamento da tensão superficial, o que pode exigir doses maiores de herbicida para realizar o controle de algumas espécies.

Hess & Foy (2000) comentam que os benefícios do abaixamento da tensão superficial são bem conhecidos mas os mecanismos como os surfactantes atuam para que os produtos passem pela cutícula da folha e na difusão dos herbicidas na planta ainda não são.

#### **4.2 Formação, transporte e deposição de gotas**

Segundo Butler-Ellis et al. (1997), as mudanças nas propriedades dos líquidos causadas pela adição de adjuvantes podem levar a mudanças na qualidade do spray produzido por diferentes pontas de pulverização. Ainda de acordo com os mesmos autores, a inclusão de bolhas de ar no interior das gotas pode alterar o diâmetro e a velocidade das mesmas, além de alterar a estrutura do espectro de gotas. Os mecanismos de rompimento da lâmina de líquido foram estudados por Butler-Ellis e Tuck (1999) para cinco modelos de pontas convencionais e sete diferentes líquidos. Segundo estes autores, os padrões obtidos foram o de “perfuração” para as emulsões e “oscilação” para as soluções, sendo que o aumento do comprimento da lâmina resulta em gotas menores.

Butler-Ellis et al. (2001b) mencionam que existe uma relação entre a tensão superficial do líquido no momento do seu rompimento e o diâmetro mediano

volumétrico. Especialmente em pontas convencionais a redução do tamanho de gotas é maior em soluções com surfactantes do que com líquido puro, relatam esses autores.

Dentre as características que influenciam na trajetória da gota em direção ao alvo, Matuo (1990) relaciona a temperatura, a umidade relativa, o vento e a pressão barométrica. Em condições tropicais de alta temperatura, o fenômeno da evaporação das gotas é bastante problemático, agravando-se em dias muito secos, com baixa umidade relativa do ar. Neste caso as gotas médias e pequenas muitas vezes não chegam a atingir o alvo, desaparecendo antes. As gotas que se extinguem no percurso para o alvo deixam o ingrediente ativo solto no ar (partícula flutuante), que é captado pela corrente aérea e arrastado a regiões distantes, onde posteriormente vêm se depositar, fazendo parte principalmente do núcleo de condensação das nuvens.

Segundo Bergeron et al. (1999), é normal que menos de 50% da quantidade inicial de calda aplicada seja retida pela superfície da planta, o que aumenta o custo e o risco de contaminação ambiental. Para Matuo (1990), o tamanho, o formato e a natureza da superfície do alvo são características que influenciam o impacto e a retenção das gotas. De acordo com Matthews (1999), devido a característica hidrofóbica da superfície das plantas, as soluções aquosas produzem gotas com tendência a respingar, especialmente em superfícies cerosas e pouco rugosas, causando baixa adesão e retenção do material ativo sobre o alvo.

Bergeron et al. (1999) dividem o fenômeno do impacto das gotas em três estágios: impacto, expansão e retração. O impacto e a expansão ocorrem nos 2 milissegundos após o impacto e os fenômenos físicos que ocorrem são controlados pelas forças da inércia, da viscosidade e da capilaridade. No estágio da retração, que ocorre durante os 10-50 milissegundos subsequentes, a gota pode respingar da superfície ou simplesmente retrair lentamente até a sua posição de equilíbrio. Esses eventos são controlados pela competição entre as forças de dissipação viscosa das gotas e as forças de capilaridade que tentam minimizar a área superficial das gotas. Após a retração, os eventos de longo tempo são controlados pelas leis clássicas da termodinâmica, como as do coeficiente de dispersão e do ângulo de contato.

Ainda de acordo com Bergeron et al. (1999), diminuir a tensão superficial irá decrescer as forças de retração, enquanto aumentar a viscosidade irá aumentar a

dissipação viscosa na solução. Ambos os efeitos irão provocar velocidades baixas de retração das gotas o que previne o respingo. Para selecionar um adjuvante, os autores alertam sobre o curto espaço de tempo em que esses eventos ocorrem e a necessidade de uma viscosidade reduzida da calda para garantir o bombeamento e a pulverização.

Farooq et al. (2001), afirmam que as gotas da descarga de uma ponta desaceleram verticalmente durante o deslocamento e, quando houver a ação de vento lateral, também ocorre desaceleração horizontal. Os autores justificam essa redução da velocidade pela diminuição da inércia das gotas, determinada basicamente pelo seu peso ao invés da sua energia inicial. Próximo da ponta, as gotas menores se deslocam mais lentamente que as maiores e afastado da ponta as gotas pequenas podem ter velocidade negativa, indicando que elas estão se deslocando para cima.

Gilbert (2000) menciona que o desempenho relativo das pontas de pulverização pode ser avaliado pela aspersão de uma solução de água e agroquímico ou numa solução de água com 0,1% de um surfactante não iônico. Entretanto, o autor lembra que as propriedades específicas do líquido em uso têm influência significativa no controle da deriva, concluindo que o líquido a ser utilizado para a pulverização a campo deveria ser utilizado para realizar os testes do comportamento da ponta.

### **4.3 Cobertura de alvos**

O spray formado por gotas pequenas possui grande superfície específica, conforme descreve Matthews (2000). Assim, um determinado volume de gotas pequenas possui superfície total maior que o mesmo volume de líquido de gotas grandes, o que gera comportamento distinto das gotas. Normalmente, o espectro de gotas de um spray é estudado pelo seu diâmetro mediano volumétrico (dmv), diâmetro mediano numérico (dmn), coeficiente de dispersão ( $r$ ) e amplitude relativa.

Courshee (1967), appud Matuo (1990), apresentou a fórmula da cobertura (Equação 1), expressa em porcentagem, para gotas homogêneas, o que representa a parte da área-alvo coberta pelo produto aplicado:

$$C = 15 \frac{VRK^2}{AD} \quad (1)$$

Onde,

C = Cobertura, % da área

V = Volume de aplicação, L.ha<sup>-1</sup>

R = Taxa de recuperação, % do volume aplicado captado pelo alvo

K = Fator de espalhamento de gotas

A = Superfície vegetal existente num hectare

D = Diâmetro de gotas

Neste caso, o fator de espalhamento (K) atua sensivelmente na cobertura, por ter função quadrática, menciona Matuo (1990). Daí a importância da aplicação de gotas que possuam alta capacidade de expansão, o que normalmente é conseguido com a adição de adjuvantes.

Utilizando a fórmula de Courshee (1967), com o aumento do diâmetro das gotas ocorre a diminuição da cobertura. No entanto, se o aumento do diâmetro ocorrer devido a presença de ar no interior das gotas esta relação pode ser alterada em função da diferença no fator de espalhamento entre as gotas com e sem inclusões de ar.

Etheridge et al. (2001) encontraram comportamento semelhante quanto a cobertura de folhas em diferentes volumes de aplicação de herbicidas em pós emergência entre um modelo de ponta com indução de ar e um convencional. Os autores chamam a atenção sobre as diferenças entre os vários modelos de pontas com indução pois um deles apresentou cobertura inferior em relação a outros dois.

#### **4.4 Tecnologia de aplicação**

Mesmo sendo umas das menores partes que compõem um pulverizador hidráulico, as pontas de pulverização são fundamentais para uma correta aplicação de

agroquímicos. Seu desenho, material de construção, modo de operação e manutenção influenciam a qualidade da aplicação, de acordo com Matthews (1999).

Numa descrição sobre a baixa eficiência da aplicação de agroquímicos, Matuo (1990) acredita que esta deverá ser melhorada através da evolução do processo de aplicação nos seus mais variados aspectos. Dentre eles, o autor cita o melhor treinamento do operador do equipamento aplicador como um fator importante. Porém, alerta que há uma série de outros aspectos, como a necessidade de desenvolvimento de novos equipamentos capazes de cumprir essa tarefa com maior eficiência. Neste sentido, Gandolfo (2002) sugere a normatização e a inspeção periódica de pulverizadores, a qual seria acompanhada da assistência técnica para efetuar consertos, reposição de peças e ajustes necessários de forma a solucionar os problemas das máquinas no local inspecionado.

Segundo Antuniassi (1998), a agricultura de precisão pode contribuir para a aplicação de menores volumes de produtos pela possibilidade da redução de doses em locais de menor incidência de organismos indesejáveis, ou onde estes apresentam sensibilidade a doses menores em relação a outros, na mesma área de controle.

Segundo Matthews (1999), para reduzir perdas e causar menos poluição tem sido dada ênfase na legislação ambiental, no desenvolvimento de formulações e na melhoria das embalagens (o que ajuda a minimizar o contato do operador durante o transporte dos produtos e a preparação da calda). Ainda, em alguns países exige-se o treinamento de operadores, a inspeção dos equipamentos e a aplicação de normas técnicas internacionais, para garantir uma qualidade mínima da aplicação e disponibilizar produtos de qualidade aos agricultores. Esse mesmo autor descreve, ainda, que utilizar pontas de pulverização que gram gotas de tamanho grande é uma das medidas utilizadas para reduzir a deriva. No entanto, isto pode aumentar a poluição do solo, especialmente se ocorrer chuva logo após a aplicação. Esta situação aumenta o potencial de poluição das águas subterrâneas, a menos que os produtos que se depositam no solo sejam rapidamente degradados.

## 4.5 Pontas de pulverização com indução de ar

As pontas com indução de ar surgiram do aperfeiçoamento das pontas geradoras de espuma (Matthews, 2000) e das pontas com duplo fluido\* que também geram gotas de líquido com ar em seu interior. As pontas geradoras de espuma são utilizadas na agricultura para demarcar a faixa de aplicação em pulverizadores de barras, enquanto as de duplo fluido podem ser encontradas tanto na agricultura como em outras aplicações, como os injetores de combustível em turbinas de aviação. Nas pontas de espuma o ar é misturado ao líquido pelo princípio de Venturi e nas de duplo fluido por um sistema forçado de dupla entrada.

As pontas com indução de ar foram desenvolvidas visando um melhor controle da deriva, Miller (2001). Para estas pontas, a aplicação de calda com adjuvantes torna as gotas geradas mais estáveis, o que mantém a estrutura das gotas com ar em seu interior por um período maior.

### 4.5.1 Características

Além de serem mais alongadas que as do tipo convencionais tanto de jato plano quanto cônico, as pontas de pulverização com indução de ar (Figura 2) possuem um ou mais orifícios laterais que comunicam o seu interior com o ambiente externo. Os orifícios estão posicionados na direção perpendicular ou oblíquo ao deslocamento do líquido. Na extremidade existe uma ponteira com orifício maior que o das pontas convencionais equivalentes. Quando a ponteira for do mesmo material que a ponta, o próprio corpo possui um orifício de saída.

A forma e as dimensões da ponta tem influência sobre a vazão e a quantidade de ar adicionado ao líquido. Merecem destaque os orifícios de entrada de líquido e de ar, a câmara de mistura interna e o orifício da ponteira. Este, além do descrito, influencia a homogeneidade das gotas e o formato do seu espectro.

---

\* PARKIN, C. S. (*Silsoe Research Institute*, Inglaterra). Comunicação Pessoal, 2001.

Em manuais de fabricantes de pontas de pulverização encontra-se a recomendação de uso das pontas com indução de ar em amplitudes de pressão de trabalho maiores que as convencionais. O catálogo Teejet (1998) recomenda o uso das pontas com indução que fabrica nas pressões de 200 a 800 kPa, enquanto para a maioria das pontas de convencionais recomenda a sua utilização na faixa de 200 a 400 kPa de pressão. O catálogo de pontas da Máquinas Agrícolas Jacto S.A. (Bicos, s.d.) recomenda o uso de pontas com indução de ar na faixa de pressão de 220 a 740 kPa enquanto para algumas pontas de outros tipos, a recomendação da pressão inicia em 110 kPa e atinge o máximo de 640 kPa. Logo, é possível deduzir que as pontas com indução devem funcionar melhor em pressões mais elevadas. Cabe ressaltar que estão sendo desenvolvidas pontas com indução de ar para operarem em baixas pressões, como é o modelo IDK da Lechler (Agrardüsen, 2002).

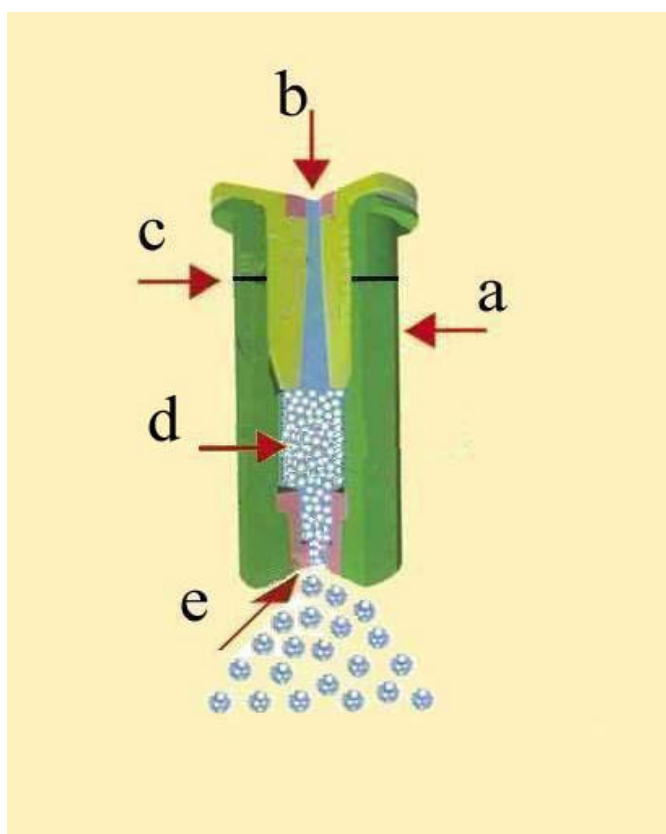


Figura 2. Constituição geral de uma ponta de pulverização com indução de ar. a) corpo; b) orifício de entrada do líquido; c) orifício de entrada do ar; d) câmara de mistura; e) ponteira com orifício de saída da mistura. Adaptado de Bicos (2001).

#### 4.5.2 Princípios de funcionamento

O diâmetro do orifício de entrada de líquido da ponta de pulverização é menor que o diâmetro da mangueira que conduz o líquido até ela. Antes de entrar na ponta o líquido está sob pressão e, ao passar pelo orifício de entrada, a sua velocidade de deslocamento aumenta. Isto causa diminuição da pressão interna e faz com que seja succionado ar para dentro da ponta de pulverização através dos orifícios laterais. Líquido e ar vão para a câmara interna onde se misturam. Sob pressão essa mistura passa pela ponteira e, ao entrar em contato com o ar exterior, é fracionada em gotas as quais contém ar em seu interior.

O diâmetro do orifício de entrada de líquido controla o fluxo e o do orifício da ponteira controla o tamanho das gotas, o que é independente da vazão da ponta, relata Butler Ellis et al. (2001a).

#### 4.5.3 Características das gotas geradas

As pontas de pulverização com indução de ar produzem gotas grandes, muitas delas contém uma ou mais bolhas de ar (Matthews, 2000). Cecil (1997), Matthews (1999) e Piggott & Matthews (1999) acrescentam que, geralmente, essas pontas de pulverização produzem gotas com baixo risco de deriva. No entanto, Piggott & Matthews (1999) alertam que existe grande variação nas características do spray produzido por diferentes modelos de pontas devido aos diferentes desenhos do sistema de indução de ar que utilizam o princípio de Venturi.

Utilizando o *Malvern laser droplet/particle size analyzer* para determinar o espectro de gotas do spray produzido pela mistura de água com surfactante, Etheridge et al. (1999) verificaram que as pontas do tipo Venturi produziram maior diâmetro mediano volumétrico que as pontas convencionais para uma mesma calda, ponta de mesma vazão e pressão. A porcentagem de gotas com diâmetro menor que 205  $\mu\text{m}$  foi menor para as

pontas do tipo Venturi (17%) que as convencionais (65%). As pontas do tipo Venturi produzem uma variabilidade maior na distribuição volumétrica do espectro de gotas que as convencionais.

Referindo-se a pontas de pulverização que geram gotas com ar em seu interior, como as de duplo fluido e as com indução de ar, Southcombe et al. (1997) afirmam que mesmo utilizando água pura as gotas do spray geradas são de tamanho maior em relação as geradas por pontas convencionais equivalentes, porém com densidade menor.

Miller e Butler Ellis (2000) constataram que o desempenho das pontas de pulverização com indução de ar é dependente da geração de gotas grandes, que são menos suscetíveis a deriva baseado na sua maior massa, ao invés da sua baixa densidade. Muitas das gotas do spray geradas por pontas de pulverização com indução de ar são maiores em comparação com aquelas convencionais (Miller, 2001) e de deflexão (Matthews, 1999). As pontas de pulverização com indução de ar reduzem o potencial de deriva em relação as convencionais, especialmente em distâncias menores que 0,30 m da ponta onde é capturado o maior volume de produto, independente da velocidade do vento variar de 2 a 6  $\text{ms}^{-1}$  (Lund, 2000a). Miller (2001) atribui o menor risco de deriva causado por pontas de pulverização com indução de ar à geração de gotas grandes.

Matthews (1999) alerta para o menor número de gotas depositadas nas plantas devido ao tamanho grande das gotas o que deixa o efeito biológico dependente da distribuição de uma gota individual ou da mobilidade do agente nocivo. Etheridge et al. (1999) mencionam que a utilização de pontas do tipo Venturi pode minimizar o potencial de deriva mas alerta para a possibilidade de gerar uma aplicação irregular com um subsequente controle deficiente das plantas daninhas.

Estudando o efeito da pressão de trabalho sobre a eficiência de diferentes pontas de pulverização no manejo químico de picão preto (*Bidens spp.*) em soja, Machry (2002) verificou que a ponta AI 110015 mostrou-se imprópria para a aplicação do herbicida de contato bentazon. Entretanto, o autor menciona que esta restrição de uso pode ser parcialmente compensada pelo aumento da pressão e recomenda o uso dessas pontas em pressões superiores a 300 kPa. As pontas de pulverização XR, DG, TT e AI 110015 não influenciaram o controle de papuã (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch.) quando da aplicação do herbicida sistêmico tepraloxidyn com adjuvante dash nas pressões de 100, 200 e 300 kPa

para as pontas convencionais e 200, 300 e 400 kPa para a ponta com indução de ar. As médias de controle ficaram acima de 90% para todas as pontas e pressões estudadas relata o autor.

É comum relacionar o risco de deriva de uma determinada ponta de pulverização pela porcentagem volumétrica de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro, relatam (Miller e Butler Ellis, 2000). Os autores alertam que existe a necessidade de medir os parâmetros físicos do espectro de gotas incluindo a distribuição do tamanho e a velocidade, a estrutura do espectro de gotas e a velocidade do vento no interior do spray.

As pontas de pulverização com indução de ar são cruciais para modificar o comportamento das gotas no momento do impacto com a superfície alvo, resultando em retenção e dispersão com características muito próximas daquelas produzidas por pontas de pulverização convencionais, de gotas finas, segundo Miller e Butler Ellis (2000). Southcombe et al. (1997) mencionam que a presença de bolhas de ar dentro das gotas influencia o seu transporte e deposição. Combellack & Miller (2001) vão além, dizendo que a presença de ar dentro das gotas influencia o tamanho, a velocidade, a forma de impacto, a retenção e a deriva dessas gotas.

A velocidade das gotas na saída das pontas de pulverização com indução de ar geralmente é menor que a velocidade das gotas geradas pelas pontas convencionais e, por causa da elevada força de retenção em relação a massa, elas normalmente tem velocidade menor quando impactam com a superfície, de acordo com Miller (2001).

Comparando um modelo de ponta de pulverização que utiliza o princípio de Venturi para induzir ar com outros dois modelos convencionais, Derksen et al. (1999) concluíram que trabalhando na mesma vazão e pressão que os demais, o com indução de ar produz diâmetro mediano volumétrico maior, menor depósito no fundo do túnel de vento e menor transporte de gotas. Trabalhando nas mesmas condições, esses autores relatam que as pontas de pulverização com indução de ar estudadas apresentam menor risco de deriva.

Denominando as pontas com indução de ar como nova tecnologia, Wolf et al. (1999) encontraram diferenças no espectro de gotas entre quatro modelos de pontas com indução de ar e três convencionais, especialmente em altas pressões. As pontas com indução de ar foram capazes de reduzir a quantidade de gotas com classe de tamanho pequeno. No

entanto, o autor menciona que ainda é difícil recomendar o uso dessas pontas em substituição às normalmente utilizadas.

Trabalhando com diferentes pontas de pulverização com indução de ar Butler Ellis et al. (s.d.) appud Butler Ellis et al. (2001a) demonstraram que a quantidade de ar presente nas gotas foi influenciada pela proporção de ar que sai das pontas e que as pontas 04 geraram gotas com menos ar que as 02 equivalentes.

Utilizando o equipamento a laser *Dantec PDA-analyser*, Lund (2000b) alterando a pressão de trabalho, verificou que com o aumento da vazão em 50% ocorre uma redução de 25% no tamanho de gotas produzidas por uma ponta de pulverização convencional. Para uma ponta com indução de ar, o autor acredita ser possível aumentar a vazão em aproximadamente 100% sem alterar a distribuição do tamanho de gotas, o que possibilita a sua utilização para aplicar doses variadas mantendo a distribuição do tamanho de gotas.

#### **4.5.4 Principais usos**

Dentre os diversos usos, as pontas de pulverização com indução de ar são utilizadas para a aplicação de produtos que controlam vegetais indesejáveis, especialmente herbicidas sistêmicos, no preparo da área de semeadura no sistema de cultivo plantio direto. Independente do sistema de cultivo, essas pontas também são utilizadas para aplicar herbicidas pré ou pós-emergentes, além de inseticidas e fungicidas. A área cultivada sob o sistema de cultivo plantio direto tem aumentado no Brasil, de acordo com Pereira (1997), o que certamente tem contribuído para o aumento do uso de pontas de pulverização com indução de ar pelos agricultores brasileiros.

Além do fator citado, as características de algumas dessas pontas em gerar gotas com baixo potencial de deriva e possibilitar a aplicação de baixo volume minimiza danos ambientais e pode reduzir os custos de produção. Esses fatores têm contribuído para o aumento do uso das pontas de pulverização com indução de ar apesar do seu alto custo de aquisição. No entanto, há que se alertar para o conhecimento de até quanto é possível reduzir o volume aplicado mantendo o efeito de cobertura do alvo e por conseguinte a eficácia tanto do produto quanto do controle, especialmente para os produtos que não sejam sistêmicos.

Gandolfo (2002), trabalhando com 76 pulverizadores de barra em uso nos estados brasileiros de São Paulo e Paraná, encontrou pontas de pulverização com indução de ar em menos de 10% deles. Num levantamento para a caracterização da tecnologia de aplicação de herbicidas no Brasil, Antuniassi & Veiga (2002) relatam que as pontas de pulverização com indução de ar são utilizadas em média por 34,8% dos produtores de soja em sistema de plantio direto nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, sendo que no Rio Grande do Sul o valor chega a 69,2%.

Os percentuais citados nos trabalhos acima sobre o uso de pontas com indução de ar no Brasil podem ser pouco representativos sobre a área total dos estados devido aos diferentes objetivos. Mesmo assim, é possível constatar o uso de pontas com indução de ar pelos agricultores.

#### **4.6 Métodos de determinação do volume de ar incluído às gotas**

Os métodos para quantificar o ar incluído ao líquido por pontas com indução de ar não são bem conhecidos e mais trabalhos são necessários para entender melhor o funcionamento dessas pontas (Miller & Butler Ellis, 2000).

Qualquer sistema utilizado para classificar sprays com ar incluso necessita um método para encontrar o volume de ar contido nas gotas, segundo Miller & Butler Ellis (2002). Esses autores citam quatro métodos de determinação do volume de ar inserido às gotas, mas alertam que eles necessitam ser melhor estudados para serem utilizados com confiança. Os métodos citados são os seguintes:

- a) capturar as gotas numa superfície com óleo e visualizar as bolhas de ar usando microscópio;
- b) medir a velocidade das gotas em dois pontos do spray e estudar as alterações na velocidade;
- c) capturar as gotas do spray, conduzir o líquido com ar para um becker e determinar a sua densidade;
- d) medir as forças de impacto das gotas de uma determinada área do spray.

#### 4.7 Dificuldades existentes para determinar o volume de ar incluído às gotas

A captura das gotas numa superfície com óleo e a visualização das bolhas de ar contidas em seu interior utilizando microscópio é uma aproximação pouco precisa, já que as gotas grandes normalmente estouram quando impactam com a superfície do óleo, especialmente as que tem ar incluso (Combella et al., 1996). Além disso, os resultados obtidos do volume de ar contido no líquido pela utilização deste método podem variar dependendo do profissional que está realizando as análises.

A medida da velocidade das gotas em dois pontos do spray e o cálculo da sua redução exige uma complexa interpretação dos resultados para se chegar ao volume de ar contido nas gotas. Usando o *Particle Measuring Systems imaging probe* (PMS), Butler Ellis & Tuck (2000) relatam que as gotas com ar em seu interior possuem velocidades menores que as gotas produzidas por pontas de pulverização convencionais e isto pode ser afetado pelo tipo de líquido utilizado. O custo elevado dos equipamentos a laser utilizados para medir a velocidade das gotas é outro fator limitante.

Utilizando dois equipamentos *Phase Doppler Systems* (Aerometrics e Dantec), Combella et al. (1996), estudando gotas geradas por pontas de duplo fluido, obtiveram resultados pouco confiáveis e de baixa validade, confirmando a dificuldade para encontrar o volume de ar contido nesse tipo de gotas.

Cada instrumento de análise de gotas a laser interpreta o espectro de gotas com ar em seu interior de forma diferente, impossibilitando a utilização dos resultados gerados para classificar pontas de pulverização com indução de ar e de duplo fluido, segundo Southcombe et al. (1997). Usando o *Phase Doppler Analyser* (PDA), Tuck et al. (1997) verificaram que a estrutura interna das gotas interfere na refração da luz que passa pelas gotas e, com isso, bolhas com ar são medidas como gotas causando um erro no cálculo do seu diâmetro. Os autores Tuck et al. (1997); Piggott & Matthews (1999); Matthews (2000) mencionam que a presença de bolhas de ar dificulta a análise do espectro de gotas formado utilizando equipamentos a laser.

#### 4.8 Classificação de pontas de pulverização

A classificação de pontas de pulverização, de acordo com Southcombe et al. (1997), tem duas funções principais:

a) definir o tipo de espectro de gotas mais apropriado para o produto, espécie a ser controlada e características do alvo, o que pode ser informado no próprio rótulo do produto;

b) evitar pulverizações ambientalmente inaceitáveis.

Em 1985 o *British Crop Protection Council* (BCPC) propôs um sistema para classificar pontas de pulverização de acordo com a qualidade do spray produzido em uma determinada pressão (Doble et al., 1985; Parkin & Wheeler, 1996; Southcombe et al., 1997). A metodologia proposta consiste em analisar o espectro de gotas produzido pelas pontas em teste, ou seja, a qualidade do spray, e comparar os resultados com um grupo de pontas de pulverização padrão.

Southcombe et al. (1997) relatam que as três principais categorias (fina, média e grossa) englobam a maioria das pontas de pulverização, justificando que essa nomenclatura foi atribuída para que o usuário final tenha facilidade em identificar as pontas que está utilizando.

Mesmo verificando a existência de vórtices induzidos pelo spray que alteram o movimento de gotas em túnel de vento, Parkin & Wheeler (1996) afirmam que medidas feitas em túnel de vento são importantes para aperfeiçoar o sistema de classificação baseado na qualidade do espectro de gotas e passar a considerar o potencial de deriva das gotas geradas pelas pontas de pulverização. Os autores chamam a atenção para a necessidade de realização de ensaios em vários locais, ou seja, em túneis de vento com dimensões diferentes para a elaboração de uma metodologia de análise satisfatória.

Ao verificar a deficiência da classificação considerando apenas a qualidade do espectro de gotas, o BCPC imediatamente reconheceu a necessidade de desenvolver uma metodologia de análise que considere o potencial de deriva das pontas de pulverização. Um novo sistema de classificação foi apresentado por Southcombe et al. (1997) que manteve a preocupação sobre a qualidade do spray e incluiu a deriva ou seja, o efeito da

velocidade do vento sobre o arraste das gotas em túnel de vento. Para a realização das análises foram sugeridas velocidades do vento entre 2 e 2,5 m.s<sup>-1</sup>.

Ainda de acordo com Southcombe et al. (1997), os protocolos existentes até aquele momento não foram capazes de classificar eficientemente o espectro de gotas produzido por pontas de pulverização que geram gotas com ar em seu interior porque os sprays são fisicamente diferentes dos gerados pelas pontas convencionais usadas como referência.

Um método para avaliar o risco de contaminação local por agroquímicos medindo a distribuição horizontal da deriva de uma ponta operando em condições controladas em túnel de vento foi proposto por Walklate et al. (2000). Esse método posiciona uma ponta de pulverização numa altura de 0,6 m do fundo do túnel de vento em condições saturadas do ar e numa velocidade do vento de 2 m.s<sup>-1</sup>. A coleta das gotas do spray arrastadas pelo vento é feita utilizando uma série de tubos de polietileno com 2 mm de diâmetro externo afastadas verticalmente 0,1 m e horizontalmente 2, 3, 4, 5, 6 e 7 m a partir da ponta, no sentido de deslocamento do vento.

Miller & Butler Ellis (2002) propõem que a classificação de pontas quanto ao risco de contaminação ambiental local seja baseada na medida da deriva vertical medida a 2 m da ponta com velocidade do vento de 2 m.s<sup>-1</sup> em túnel de vento com nível de turbulência baixo. Para realizar os testes seria utilizada uma ponta convencional F110/1.2/3.0 trabalhando a 600 mm de altura do fundo do túnel numa pressão de 3 bar, como referência. As amostras seriam feitas num conjunto de tubos com diâmetro externo de 2 mm espaçados 1 m horizontalmente e 100 mm verticalmente. Um tapete para cobrir o fundo do túnel seria colocado na direção do vento para evitar o respingo das gotas. Poderia se utilizar 0,1% de um surfactante solúvel em água e um marcador para medir os depósitos nos tubos com resolução melhor que 1,0µL. Os resultados da deriva seriam expressos em porcentagem da vazão.

Gilbert (2000) cita que um sistema de trabalho convergente é necessário para padronizar a forma de avaliar o risco de contaminação do ar por resíduos de agroquímicos, sendo necessário o desenvolvimento de modelos comuns para a emissão, dispersão, transporte, transformação e deposição de agroquímicos levados pelas correntes de ar. Esse autor lembra, ainda, que existem alguns grupos de trabalho que estão buscando

integrar as informações dos diversos países. Esses grupos estão trabalhando para aperfeiçoar o *Decision Making Scheme for Environmental Risk Assesment* (EPPO) de 1993 que visa a harmonizar internacionalmente a forma de se obter o risco de contaminação ambiental local pelo uso de agroquímicos.

O sistema de classificação internacional de sprays e de pontas de pulverização está baseado em dois componentes, um relacionado a distribuição do tamanho de gotas e o outro ao risco de deriva (Miller & Butler Ellis, 2002). Para melhorar esse sistema de classificação e acomodar as pontas com indução de ar os autores propõem um organograma para orientar a reclassificação das pontas que induzem mais de 10% de ar. Neste caso, sprays grosseiros e muito grosseiros podem ser classificados como médios.

#### **4.9 Legislação, normas e controle das atividades de aplicação**

As formas de avaliação, inspeção ou fiscalização variam entre os países que adotam algum tipo de controle dos sistemas de pulverização, tanto para equipamentos novos quanto em uso, além da própria atividade de aplicação.

##### **4.9.1 Situação no Brasil**

No Brasil ainda não existe legislação específica sobre o uso de faixas de segurança sem aplicação de agroquímicos (*buffer zones*) próximo a cursos de água ou de áreas a serem protegidas, sendo que até mesmo a discussão sobre o assunto ainda é incipiente, de acordo com Antuniassi\*, tendo mencionado que isto se deve à característica agrária do país, com grandes áreas cultivadas e normalmente afastadas de populações vizinhas. Entretanto, a Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, alterada pela Lei Federal nº 7.803, de 18 de julho de 1989, instituiu o novo Código Florestal, que no seu Artigo 2º considera de preservação permanente as faixas próximas aos cursos d'água, cujas dimensões variam em

---

\* ANTUNIASSI, U. R. (FCA/UNESP – Campus de Botucatu). Comunicação Pessoal, 2002.

função das características destes cursos. Ainda, o Código Florestal faz referência a outras áreas não agrícolas e a perímetros urbanos.

A Lei Federal nº 9.605, de fevereiro de 1998 dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, conhecida como Lei dos crimes ambientais. Dentre os crimes contra o meio ambiente essa Lei menciona o uso de produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou nos seus regulamentos.

Visando à melhoria da qualidade da aplicação de agroquímicos e o controle das máquinas utilizadas, Gandolfo (2002) sugere a inspeção periódica de pulverizadores. O modelo por ele proposto realiza avaliações qualitativas e quantitativas dos pulverizadores de barra em uso, iniciando pela entrevista com o usuário da máquina, onde são coletadas informações gerais e as características do pulverizador, além de se realizar uma avaliação dos seus conhecimentos. Em seguida são feitas avaliações qualitativas e quantitativas para verificar o estado geral do pulverizador.

Dentre as várias avaliações adotadas pelo autor, o vazamento, o espaçamento, o tipo, o estado de conservação e a uniformidade de distribuição da barra estão relacionados diretamente com as pontas de pulverização. O autor relata que em 81,6% dos pulverizadores estudados as pontas de pulverização apresentaram vazão maior ou menor que o limite de 10% do valor desejado; 69,2% deles apresentaram CV da vazão da barra superior a 15,0%. Havia 5,5 pontas ruins por máquina, com média de erro na vazão de 39,9%. O coeficiente de variação da vazão das pontas considerando todas as unidades avaliadas foi de 11,6%, com valor máximo de 62,1%.

Além dos problemas com as pontas de pulverização, outros fatores colaboraram para a reprovação dos pulverizadores de barras testados que apresentaram uma condição de uso e manutenção inadequadas. Assim, os pulverizadores necessitam de ajustes, reparos e/ou substituição de componentes para que possam melhorar a eficiência da aplicação dos agroquímicos. Gandolfo (2002) conclui que isso justifica a implantação de inspeções periódicas de pulverizadores no Brasil.

#### 4.9.2 Situação no exterior

A Inglaterra passou a utilizar a partir de 1985 o modelo parcialmente descrito no item 4.8 baseado na qualidade do spray, que posteriormente incorporou a deriva das gotas geradas pelas pontas de pulverização e a observação de faixas sem aplicação próximo a canais de água ou áreas vizinhas. Um guia prático com efeito a partir de março de 1999 foi produzido pelo Ministério da Agricultura, Pesca e Alimentação para avaliação do risco ambiental local para agroquímicos (*Local Environmental Risk Assessments for Pesticides - A Practical Guide - LERAP*, England, 1999).

Um sistema voluntário de avaliação dos novos equipamentos de aplicação de agroquímicos, que avalia partes como pontas de pulverização e bombas, entre outras, foi iniciado em 1960 e, após vários avanços, a inspeção de pulverizadores a campo (a cada 2 anos) tornou-se obrigatória na Alemanha em 1992, relata Koch (2001). Esse autor informa que o rótulo dos defensivos faz referência a uma lista de máquinas ou pontas de pulverização comprovadas e registradas sobre a redução da deriva em um órgão oficial e orienta para a observação da faixa sem aplicação de acordo com o equipamento em uso.

Rautmann (2000) menciona que em 1993 foi introduzido o registro de equipamentos de redução de deriva na Alemanha. Para registrar e utilizar esses equipamentos em faixas de segurança reduzidas, é necessário realizar experimentos a campo que comprovem a redução da deriva em todas as distâncias medidas comparadas com valores básicos. Em alguns casos não é necessário o teste a campo, como para elaborar a lista do potencial de deriva, que pode ser feito em túnel de vento. Esse autor informa que muitas vezes a autorização para o uso de alguns produtos não é obtida ou são exigidas grandes faixas sem aplicação próximas a cursos d'água.

Ainda de acordo com Rautmann (2000), pulverizadores equipados com pontas de pulverização com indução de ar testados a campo proporcionaram redução da deriva de até 80%. Atualmente os pulverizadores equipados com pontas com indução de ar 03 estão na classe com 50% de redução da deriva e com pontas 04 estão na classe com 75% de redução na classificação alemã.

Zande et al. (2001) mencionam que vários resultados de pesquisa realizados por órgãos como o IMAG têm sido introduzidos na legislação holandesa. Nos atos

que regulamentam a poluição da superfície da água e o uso de agroquímicos, dependendo da tecnologia utilizada, da faixa sem aplicação e do ciclo da cultura na qual esta é realizada, são utilizados diferentes critérios para caracterizar a deriva.

Vários países da Europa desenvolveram o seu próprio regulamento para avaliar o risco de contaminação ambiental pelo uso de agroquímicos, com procedimentos distintos para avaliar a deriva, relata Gilbert (2000). A Itália utiliza a inspeção a campo dos pulverizadores em uso, com a participação dos agricultores. As avaliações são feitas por diversas equipes de trabalho distribuídas por região pertencentes a órgãos governamentais. Os técnicos são periodicamente treinados e cada equipe possui o seu instrumental de trabalho.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Local de realização do trabalho

As atividades aqui descritas foram realizadas nos laboratórios do *Chemical Application Group* da *Process Engineering Division* do *Silsoe Research Institute*, na Inglaterra. Os equipamentos e os materiais de laboratório utilizados pertencem ao *Chemical Application Group*, bem como a maioria das pontas de pulverização. Os trabalhos foram conduzidos em laboratório sem controle da temperatura do ar ambiente.

### 5.2 Pontas de pulverização

As pontas com indução de ar utilizadas neste trabalho foram fabricadas por Billericay Farm Services, Billericay, Essex, England (denominadas pontas Modelo A); Hardi International, Taastrup, Denmark (B); Spraying Systems, Wheaton, Illinois, USA (C); Sprays International, Paul Street, London, England (D). As pontas de pulverização convencionais do tipo XR foram fabricadas pela Spraying Systems (E).

Uma série com quatro pontas de diferentes vazões foi utilizada em cada modelo. As quatro séries de pontas de pulverização de jato plano com indução de ar (de A a D) foram identificadas com a sigla IA (indução de ar) e a série de pontas convencional (E) foi identificada pela sigla PC (ponta convencional), ou seja, sem indução de ar. As vazões da série

de pontas de cada modelo foram: 015, 02, 03 e 04 (galões americanos por minuto). Além dessas, foram utilizadas outras quatro pontas com indução de ar 02 e quatro 04 dos modelos C e D. Todas as pontas testadas foram fabricadas para gerar um ângulo de aplicação de 110°.

### **5.3 Líquido de pulverização**

O líquido de pulverização ou calda utilizado para a realização dos testes foi água com 0,1% em volume do surfactante não iônico Agral formulado numa solução não aquosa concentrada. O surfactante Agral provoca o abaixamento da tensão superficial da água, atingindo o patamar mínimo antes mesmo da concentração atingir 0,1% e, aumentando a concentração, a tensão superficial do líquido permanece estável de acordo com Montório (2001). Esse produto é amplamente utilizado nos laboratórios do *Silsoe Research Institute* para a realizar avaliações de rotina de pontas de pulverização. Além disso, Gilbert (2000) também indica o uso de surfactante não iônico para a realização de testes do desempenho das pontas. O surfactante utilizado foi comercializado pela Zeneca Crop Protection, Fernhurst, Haslemere, Surrey, UK.

Para o preparo da solução foi medido 20 mL de Agral numa proveta graduada, vertido o seu conteúdo num recipiente de 20 litros e adicionado água até que o líquido atingisse a marca de 20 L. A água foi colocada com uma mangueira diretamente no recipinete de forma lenta para evitar a formação de espuma. Em seguida o recipiente foi fechado e agitado para homogeneizar o seu conteúdo. Em todas as coletas de dados realizadas a solução foi utilizada imediatamente após o preparo e, quando o conteúdo do recipiente esgotava, era preparada uma nova solução, repetindo as operações descritas.

### **5.4 Pressões impostas ao líquido**

Foram aplicadas cinco pressões de trabalho ao líquido (200, 250, 300, 350 e 400 kPa) em todos os tratamentos.

Para regular a pressão de trabalho foi colocado um sensor de pressão na tubulação, próximo da ponta de pulverização (Figura 3).

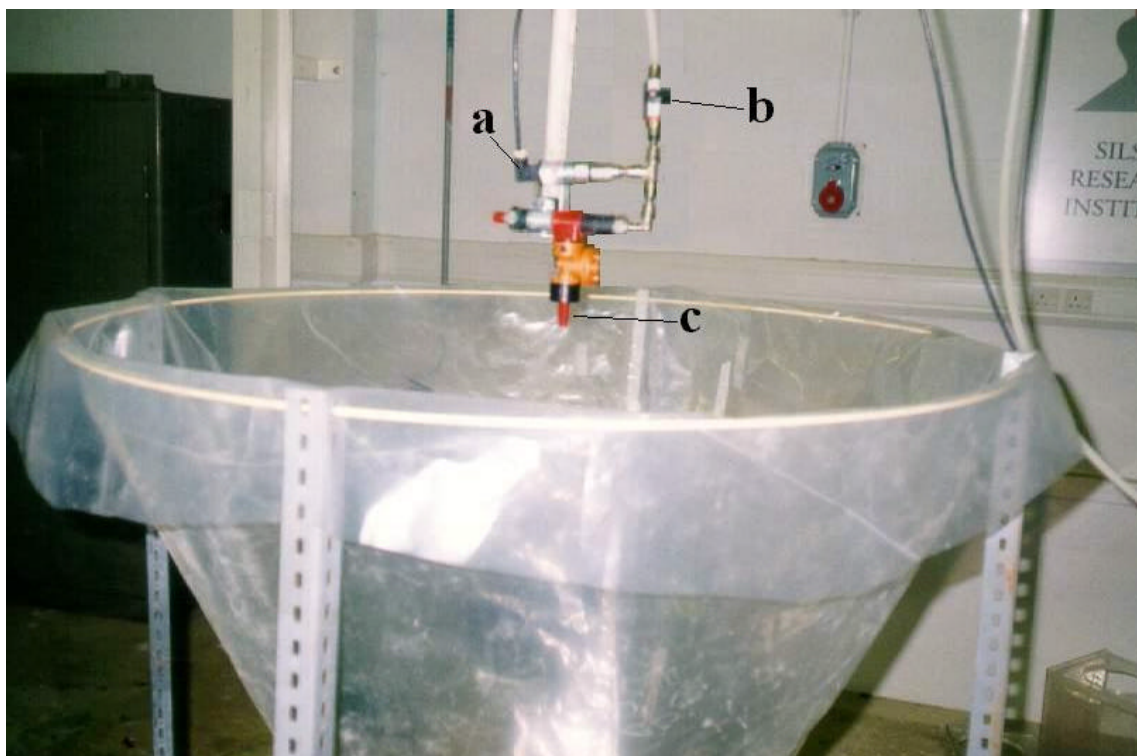


Figura 3. Sensor de pressão (a), registro de saída do líquido (b) e posição de uma ponta de pulverização com indução de ar (c) durante a coleta de uma amostra.

O sensor foi conectado a um mostrador digital onde era feita a leitura. A pressão de trabalho foi ajustada variando a entrada de ar no recipiente de armazenamento da calda, utilizando uma válvula reguladora de pressão (Figura 4).

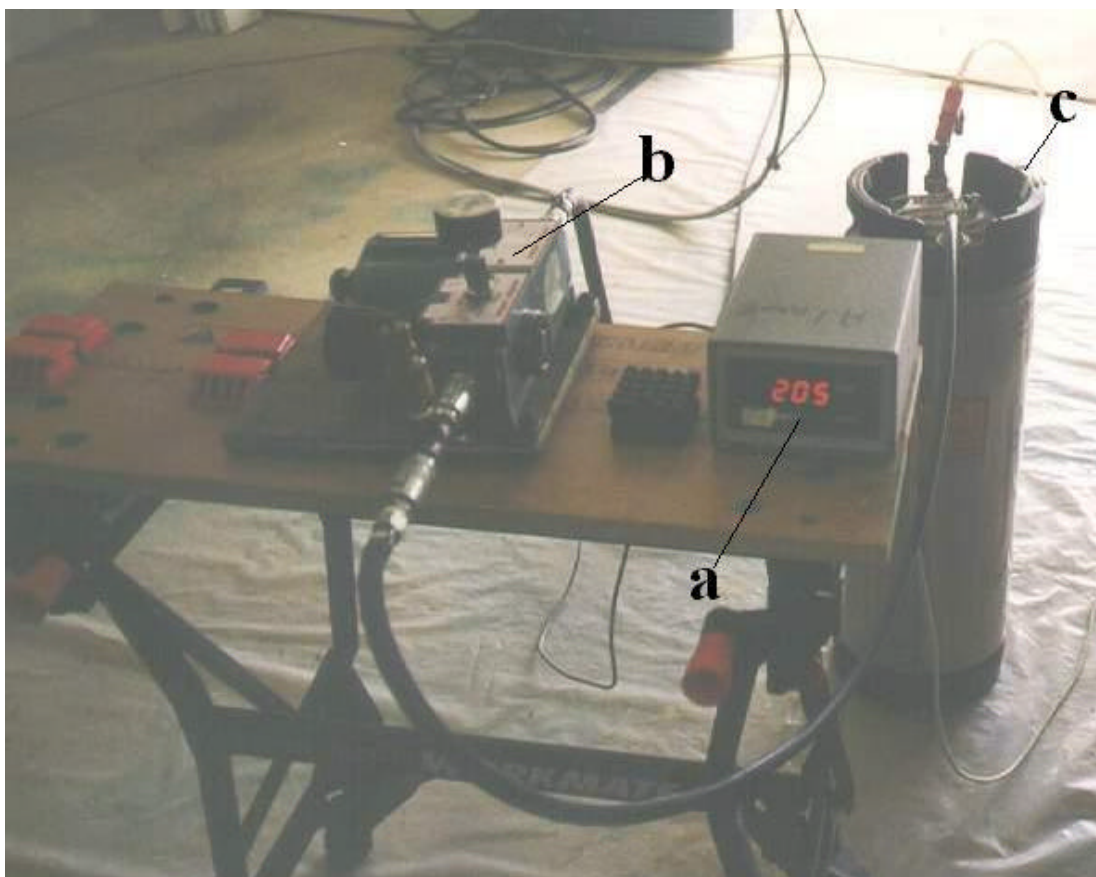


Figura 4. Mostrador digital de pressão (a), válvula reguladora de pressão (b) e recipiente de armazenamento do líquido de pulverização (c).

### 5.5 Equipamentos e materiais diversos

Uma barra de 10 m de comprimento com um carro de fixação do suporte da ponta foi utilizado. A barra possui dispositivos com controle eletroeletrônico que permite posicionar e movimentar a ponta de pulverização para a realização de ensaios. Essa barra possibilitou o ajuste do posicionamento vertical e a velocidade de deslocamento horizontal das pontas em estudo. Os ajustes da altura e da velocidade de deslocamento foram utilizados principalmente na realização dos testes preliminares, onde foi estudada a influência

da distância da ponta em relação ao topo do funil e a passagem da ponta aspergindo sobre a placa de impacto em baixa velocidade.

O deslocamento horizontal do suporte com a ponta foi controlado por um sistema eletrônico. Devido a inconstância do deslocamento do transportador em baixas velocidades foi feita a regulagem do avanço antes de realizar os testes definitivos. A menor velocidade relativamente constante conseguida e adotada para a realização dos testes foi de  $0,11 \text{ m.s}^{-1}$ .

Além de outros equipamentos e materiais que serão citados na descrição dos métodos, foram utilizados ainda: mesas, suporte metálico do funil, suporte metálico regulável, suportes de madeira, régua de madeira de 2 m, compressor de ar, mangueiras, registros, ar comprimido, proveta graduada de 25 mL, trena metálica, fita adesiva, cabos, conexões, fios elétricos, bandejas de PVC, etc.

## **5.6 Descrição do experimento e delineamento experimental**

O experimento consistiu da coleta de dados em três fases:

- a) captura das gotas do spray, leitura do volume da mistura de líquido e ar e determinação da massa do líquido;
- b) medição das forças de impacto das gotas na seção central longitudinal do spray;
- c) determinação do fluxo de massa do líquido que passa pela mesma seção do spray onde foram medidas as forças de impacto das gotas.

Foi utilizado o delineamento experimental parcelas sub-subdivididas. Nas determinações do volume de ar, da força de impacto e do fluxo de líquido, os tratamentos foram organizados no esquema  $5 \times 4 \times 5$  (5 diferentes modelos de pontas  $\times$  4 vazões  $\times$  5 pressões), com 3 repetições. Um conjunto suplementar de ensaios foi realizado para as pontas dos modelos C e D, considerando o esquema de  $2 \times 5 \times 5$  (2 vazões  $\times$  5 pressões  $\times$  5 pontas de cada modelo), visando a análise da variabilidade dos resultados dentro de uma amostra de pontas. Foram utilizadas as pontas 02 e 04.

Na coleta de dados para determinar as forças remanescentes sobre a placa de impacto, realizou-se outro ensaio suplementar com pontas do modelo C de acordo com o esquema 2 x 2 (2 vazões x 2 pressões), com 3 repetições. Foram utilizadas as pontas 02 e 04 nas pressões de 200 e 400 kPa.

Após a coleta dos dados, com as médias das forças de impacto das gotas e os respectivos fluxos de líquido, foi calculada a velocidade das gotas numa determinada área do spray. Os resultados gerais obtidos no experimento foram submetidos a análise da variância utilizando o SAS<sup>®</sup> e quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas através do teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Foi calculado, ainda, o desvio padrão da porcentagem de ar capturado e das forças de impacto das gotas, bem como foram encontradas a equação de calibração e o coeficiente de correlação entre a porcentagem de ar capturado e a velocidade das gotas.

### **5.7 Método da captura das gotas do spray e determinação da porcentagem de ar**

Para capturar as gotas do spray gerado por diferentes pontas de pulverização foi construído um funil com 1,0 m de altura e 0,98 m de diâmetro no topo, modificado de Combellack & Miller (2001). Na construção do funil foi utilizada uma lâmina fina de polivinilcarbono, por possuir superfície flexível, com a finalidade de absorver parte do impacto das gotas, de forma a evitar a sua ruptura e a conseqüente perda do ar. Abaixo da saída do funil foi colocada uma proveta graduada de 250 mL para receber e armazenar a mistura, conforme pode ser visto na Figura 5.

Antes de realizar o trabalho definitivo foram feitos testes para verificar a influência da distância entre a ponta de pulverização e a parede interna do funil, das diferentes pontas, vazões e do ângulo de aspersão das pontas em relação ao funil sobre a quantidade de ar capturado com o líquido. Para a realização destes testes foi utilizado o mesmo líquido (água com 0,1% de Agral) a 300 kPa de pressão.

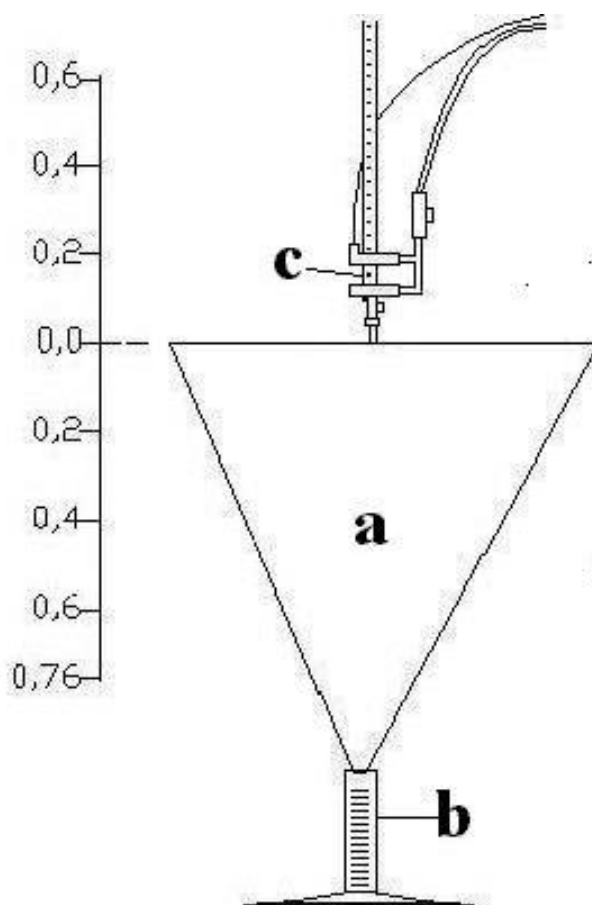


Figura 5. Funil para captura das gotas (a), proveta graduada (b), suporte com ponta, sensor de pressão e registro (c). Escala em metros.

Duas pontas AI do modelo C, uma com vazão 02 e outra 04, mais duas pontas PC do modelo E, de mesmas vazões, foram posicionadas de 0,6 m acima até 0,76 m abaixo do nível do topo do funil, variando em 0,20 m cada coleta, com exceção da última, que correspondeu a 0,16 m. Essas pontas foram estudadas em duas posições: vertical (90°) e inclinada (45°).

Outro teste preliminar realizado foi, ao invés de coletar a mistura de líquido e ar até atingir  $\frac{3}{4}$  da proveta graduada e encerrar a coleta da amostra, optou-se por deixar a pulverização transcorrer até que a mistura transbordasse e, em seguida determinar a massa do líquido. Conhecendo-se o volume total que a proveta contém e a massa do líquido, seria possível encontrar a porcentagem de ar de cada amostra.

Para realizar o trabalho definitivo as pontas de pulverização foram posicionadas verticalmente, no centro e ao mesmo nível do topo do funil. A pulverização foi feita até que a mistura completasse aproximadamente  $\frac{3}{4}$  da proveta, quando foi encerrada fechando-se o registro de saída de líquido. Imediatamente após o encerramento de cada coleta, a proveta graduada foi colocada numa superfície plana para realizar a leitura do volume da mistura e, em seguida, foi transferida para uma balança onde foi determinada a massa do líquido. O volume total coletado em cada amostra foi de aproximadamente 220 mL.

O anel superior da mistura de líquido e ar foi utilizado como referência para conhecer o volume total. Finalmente foi calculada a porcentagem de ar capturado com o líquido considerando o volume da mistura.

A leitura em mililitros feita na proveta corresponde ao volume da mistura de líquido e ar. A massa em gramas lida na balança corresponde ao volume do líquido contido na proveta em mililitros, pois o líquido utilizado nesse trabalho possui densidade igual a 1. Conhecendo-se o volume do líquido e o volume da mistura, foi possível relacioná-los e encontrar a porcentagem volumétrica de ar capturado com o líquido em cada repetição (Equação 2).

$$Ar(\%) = \frac{V_m - V_l}{V_m} * 100 \quad (2)$$

Onde,

Ar (%) = Porcentagem volumétrica de ar

$V_m$  = Volume da mistura, mL

$V_l$  = Volume do líquido, mL

## 5.8 Método da medida das forças de impacto das gotas

### 5.8.1 Forças de impacto

Para medir as forças geradas pelo impacto das gotas do spray foi utilizada uma placa de impacto medindo 25 por 150 mm suspensa por uma célula de carga com sensibilidade de 0,005 Newton (Figura 6), baseando-se na descrição de Murphy (2000). A célula de carga foi conectada a um computador para registrar as forças de impacto das gotas da seção do spray que atingia a superfície sólida da placa.

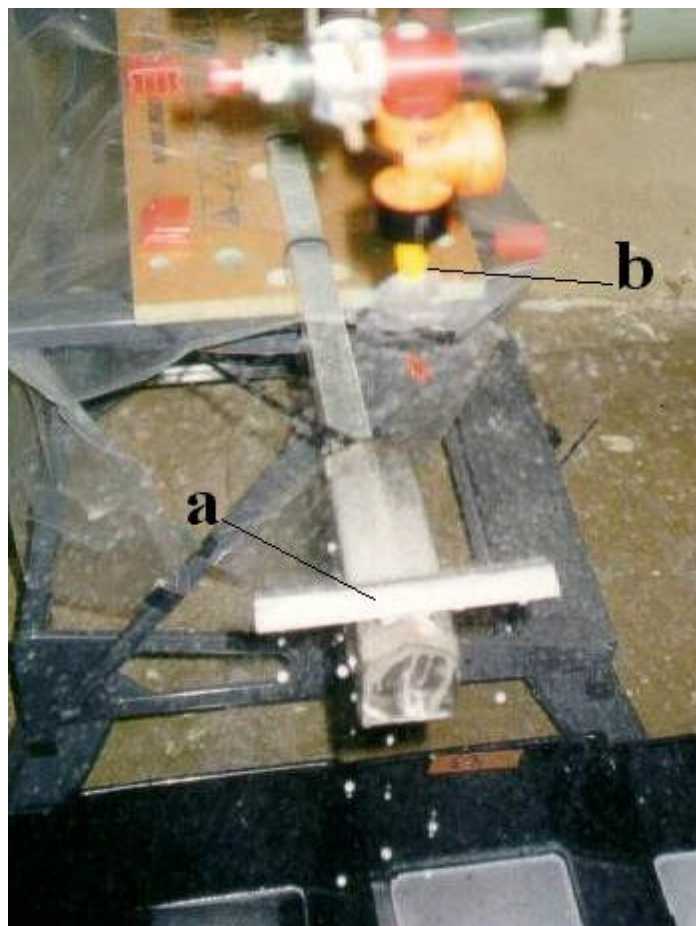


Figura 6. Placa de impacto (a) com uma ponta pulverizando (b).

As forças de impacto foram gravadas no computador no formato texto, usando o software *Sprayforce V2.01* (Paul Twydell, 1999, *Silsoe Research Institute*). O software foi programado para registrar 10 leituras das forças de impacto por segundo. O tempo de coleta de cada amostra foi de 20 segundos. Posteriormente, os dados foram transferidos para o Microsoft Excel<sup>®</sup> onde foram organizados e analisados. Esse procedimento foi realizado tanto nos testes preliminares quanto no trabalho definitivo.

Neste método também foram realizados testes preliminares visando o seu ajuste. Num deles, a placa de impacto foi posicionada paralela ao maior eixo do spray, 200 mm abaixo do orifício de saída da ponteira. A barra transportadora conduzia um suporte onde estava acoplada a ponta de pulverização, passando sobre a placa de impacto numa velocidade média de  $0,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . A posição inicial da ponta ficava afastada da placa de impacto de modo que as gotas do spray por ela gerado não atingissem a placa. Foi iniciada a pulverização e em seguida acionado o transportador para que se deslocasse. Antes que as gotas do spray atingissem a placa de impacto, foi acionado o software para que registrasse as forças de impacto das gotas. A coleta dos dados foi feita durante 20 segundos mesmo que as gotas do spray não mais atingissem a placa de impacto.

Na coleta de dados para o trabalho definitivo, a placa de impacto também foi posicionada 200 mm abaixo de cada orifício de saída da ponteira, no centro do spray, paralela ao seu maior eixo. A diferença foi que a ponta de pulverização permaneceu estática, não sendo movimentada pelo transportador. A regulagem da pressão de trabalho em cada amostra foi feita antes de iniciar a coleta. O ajuste da pressão foi realizado pulverizando-se durante alguns segundos, usando-se como referência o mostrador digital.

Antes de cada coleta a placa de impacto foi seca usando toalha de papel, nomeado o arquivo a ser gravado no computador e zerado o sistema. Iniciou-se a pulverização sobre a placa de impacto e em seguida foi acionado o software para que registrasse as forças de impacto. Tendo encerrado a coleta de cada amostra foi fechado o registro e alterada a pressão ou substituída a ponta de pulverização para realizar a coleta das forças da próxima amostra.

Durante as pulverizações, uma quantidade de líquido permanecia sobre a placa de impacto gerando um erro de leitura. As forças geradas por este líquido foram

medidas usando uma ponta de vazão 02 e outra 04 do modelo C, ambas nas pressões de 200 e 400 kPa. Foi utilizado o mesmo procedimento adotado para as coletas do trabalho definitivo, porém, após 10 segundos do início da pulverização foi cortado o fluxo das gotas e mantido o registro das forças de impacto no computador até completar 20 segundos. Para cortar o fluxo das gotas foi utilizando um recipiente e em seguida foi fechado o registro de saída do líquido. A média das forças registradas nos últimos 10 segundos de coleta foi subtraída de cada registro das forças em todos os tratamentos.

### **5.8.2 Fluxo de líquido**

Para obter a massa de líquido contida nas gotas que atingiram a placa de impacto no tempo de coleta foi construído um coletor de fluxo com a mesma área de captura que a placa de impacto (Figura 7). Na parte inferior do coletor foi colocado um recipiente para receber e armazenar o líquido que passava pela área de coleta.

O coletor foi colocado na mesma posição que havia sido colocada a placa de impacto, no centro do spray, paralelo com o seu maior eixo, 200 mm abaixo de cada ponta de pulverização. Antes de iniciar a pulverização, foi colocada uma chapa na parte superior do coletor, fechando a sua entrada. Abriu-se o registro de saída do líquido para iniciar a aspersão e em seguida removeu-se a chapa que estava sobre o coletor. Após 60 segundos de coleta a chapa foi recolocada e o registro de saída fechado. Em seguida o recipiente com o líquido foi levado a uma balança para determinar a massa do líquido.



Figura 7. Coletor de fluxo (a) com uma ponta em operação (b).

O fluxo de líquido foi encontrado dividindo a massa do líquido pelo tempo de coleta (Equação 3).

$$Fl = \frac{Ml}{T} \quad (3)$$

Onde,

Fl = Fluxo de líquido,  $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$

Ml = Massa do líquido, kg

T = Tempo de coleta, s

### 5.9 Determinação da velocidade das gotas

Tendo a força de impacto das gotas sobre uma superfície de área conhecida e o fluxo de massa do líquido que passa na mesma área, foi possível encontrar a velocidade das gotas. Assumiu-se que a massa do líquido que passou pela área de coleta do coletor de fluxo é equivalente a que atingiu a placa de impacto em cada amostra, por terem área de coleta equivalentes e as coletas terem sido feitas em igual período de tempo.

Inicialmente foram ajustadas as unidades dos dados para após dividir as forças de impacto pelo fluxo, obtendo-se como resultado a velocidade das gotas a 200 mm da ponta, dada em  $\text{m.s}^{-1}$  (Equação 4).

$$Vg = \frac{F}{Fl} \quad (4)$$

Onde,

$Vg$  = Velocidade das gotas,  $\text{m.s}^{-1}$

$F$  = Média das forças de impacto das gotas, N

$Fl$  = Fluxo de líquido,  $\text{kg.s}^{-1}$

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Ar inserido ao líquido pelo método da captura das gotas**

Na maioria dos tratamentos foram observados três níveis de fluído dentro da proveta: líquido, mistura de líquido com ar e espuma. Em alguns deles foram observados quatro níveis: líquido, mistura mais densa, mistura menos densa e espuma. Independente disso, a leitura do volume da mistura de líquido com ar foi feita na base do anel que separa a espuma da mistura. A espuma formada no topo da proveta não foi considerada pois pode ter se formado pelo impacto das gotas com a superfície interna do funil ou pela descida do líquido até a proveta. Além disso, essa espuma contém baixo volume de líquido.

#### **6.1.1 Ajuste do método**

No início dos trabalhos em laboratório havia a expectativa de que a variação da distância entre as pontas de pulverização e a parede interna do funil, assim como a inclinação da ponta, causariam alterações na porcentagem de ar capturado com o líquido, na comparação entre diferentes condições de trabalho.

Os resultados obtidos nos testes preliminares utilizando a técnica de coleta até que a mistura atingisse  $\frac{3}{4}$  da proveta mostraram que ao colocar as pontas de pulverização em posições mais elevadas que 0,20 m do topo do funil, tanto na posição vertical

quanto na inclinada, parte do spray foi aspergido para fora do funil, inviabilizando o seu uso. Posicionando as pontas a 0,40 m abaixo do topo do funil ou mais abaixo, existe influência na porcentagem de ar adicionado ao líquido. O volume de ar capturado com o líquido foi semelhante para uma mesma ponta, colocando na posição vertical ou inclinada na faixa de altura de 0,20 m acima até 0,40 m abaixo do topo do funil.

A técnica de coleta da mistura até que essa transbordasse não foi utilizada para o trabalho definitivo pois a parte mais densa da mistura permanece no fundo da proveta e a que contém mais ar vai para a parte superior. No início do transbordo perde-se mais ar do que líquido. As características da mistura variam com os tratamentos, enquanto uns geram misturas mais homogêneas outros distinguem melhor as diferentes partes. A vazão das pontas de pulverização é dependente das suas características e da pressão de trabalho, o que torna difícil definir o tempo em que cada coleta deve transbordar para obter perdas de espuma ou de mistura equivalentes. Esses fatores inviabilizaram a utilização dessa técnica para realizar os trabalhos definitivos.

Entretanto, os testes preliminares contribuíram para aperfeiçoar o método da captura do líquido com ar e determinação da porcentagem de ar, bem como para padronizar as técnicas de trabalho. Além disso, foi demonstrada a viabilidade do uso deste método para encontrar o volume de ar capturado com o líquido aspergido por diferentes pontas de pulverização.

### **6.1.2 Resultados definitivos**

O Quadro 1 mostra um resumo da nomenclatura utilizada para descrever os tratamentos, apresentado com o objetivo de facilitar a visualização dos resultados nos demais Quadros e Figuras.

Quadro 1. Denominação dos tratamentos e descrição dos fatores avaliados na determinação do ar incluído às gotas por diferentes pontas de pulverização.

Denominação dos tratamentos	Descrição dos fatores avaliados
Modelo A	IA - indução de ar - Billericay Farm Services
Modelo B	IA - indução de ar - Hardi International
Modelo C	IA - indução de ar - Spraying Systems
Modelo D	IA - indução de ar - Sprays International
Modelo E	XR - convencional - Spraying Systems
Vazão 015	110015
Vazão 02	11002
Vazão 03	11003
Vazão 04	11004
Pressão 200	200 kPa
Pressão 250	250 kPa
Pressão 300	300 kPa
Pressão 350	350 kPa
Pressão 400	400 kPa

A análise de variância dos valores de porcentagem de ar incluído nas gotas é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Análise de variância dos valores de porcentagem de ar incluído às gotas.

Análise	Valor de F	Pr > F
Modelo	1311,93	0,0001
Vazão	247,30	0,0001
Pressão	26,26	0,0001
Modelo x Vazão	106,67	0,0001
Modelo x Pressão	3,86	0,0001
Modelo x Vazão x Pressão	0,68	0,9542
CV (%)	7,68	

Observa-se que houve significância da análise de todos os fatores, incluindo as interações Modelo x Vazão e Modelo x Pressão. Considerando a não significância da interação tripla, a análise dos resultados fundamentou-se nos desdobramentos das interações duplas.

Observando-se o Quadro 3, com os resultados das análises dos dados sem sofrerem transformação, nota-se que na análise das vazões em função dos modelos de pontas com indução de ar, apenas o modelo C não apresentou diferenças significativas na porcentagem de ar para as diferentes vazões. A ponta convencional (modelo E), além de apresentar valores substancialmente menores de ar capturado que as demais, também não apresentou diferença significativa entre as vazões.

Quadro 3. Porcentagem de ar capturado no estudo da interação entre modelo e vazão: análise das vazões em função do modelo.

Interação		Ar capturado (%)
Modelo A	Vazão 015	19,08 <sup>a</sup>
Modelo A	Vazão 02	16,43 <sup>b</sup>
Modelo A	Vazão 03	17,33 <sup>b</sup>
Modelo A	Vazão 04	8,74 <sup>c</sup>
Modelo B	Vazão 015	22,39 <sup>a</sup>
Modelo B	Vazão 02	18,73 <sup>bc</sup>
Modelo B	Vazão 03	18,27 <sup>c</sup>
Modelo B	Vazão 04	20,15 <sup>b</sup>
Modelo C	Vazão 015	21,97 <sup>a</sup>
Modelo C	Vazão 02	21,58 <sup>a</sup>
Modelo C	Vazão 03	20,90 <sup>a</sup>
Modelo C	Vazão 04	21,56 <sup>a</sup>
Modelo D	Vazão 015	22,75 <sup>a</sup>
Modelo D	Vazão 02	22,23 <sup>ab</sup>
Modelo D	Vazão 03	21,18 <sup>b</sup>
Modelo D	Vazão 04	9,73 <sup>c</sup>
Modelo E	Vazão 015	1,07 <sup>a</sup>
Modelo E	Vazão 02	1,06 <sup>a</sup>
Modelo E	Vazão 03	1,51 <sup>a</sup>
Modelo E	Vazão 04	1,74 <sup>a</sup>

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Uma análise mais detalhada destes resultados mostra que as pontas A e D apresentaram comportamento definido de diminuição da quantidade de ar com o aumento da vazão, enquanto a ponta B se comportou de maneira distinta, com porcentagens de ar menores nas vazões intermediárias.

Na análise dos modelos em função das vazões, mostrada no Quadro 4, nota-se que em todas as vazões estudadas houve diferença significativa na porcentagem de ar capturado entre os diferentes modelos. Os modelos C e D apresentaram a maior porcentagem de ar capturado nas vazões estudadas, exceto para o modelo de ponta D que diminuiu significativamente a porcentagem de ar capturado na vazão (04). Em todas as vazões o modelo de ponta convencional E apresentou a menor porcentagem de ar capturado que os modelos com indução de ar.

Quadro 4. Porcentagem de ar capturado no estudo da interação entre modelo e vazão: análise dos modelos em função da vazão.

Interação		Ar capturado (%)	
Vazão 015	Modelo A	19,08	b
Vazão 015	Modelo B	22,39	a
Vazão 015	Modelo C	21,97	a
Vazão 015	Modelo D	22,75	a
Vazão 015	Modelo E	1,07	c
Vazão 02	Modelo A	16,43	c
Vazão 02	Modelo B	18,73	b
Vazão 02	Modelo C	21,58	a
Vazão 02	Modelo D	22,23	a
Vazão 02	Modelo E	1,06	d
Vazão 03	Modelo A	17,33	b
Vazão 03	Modelo B	18,27	b
Vazão 03	Modelo C	20,90	a
Vazão 03	Modelo D	21,18	a
Vazão 03	Modelo E	1,51	c
Vazão 04	Modelo A	8,74	b
Vazão 04	Modelo B	20,15	a
Vazão 04	Modelo C	21,56	a
Vazão 04	Modelo D	9,73	b
Vazão 04	Modelo E	1,74	c

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Quadro 5 mostra que na análise das pressões em função dos modelos, os modelos A e D não apresentaram diferenças significativas na porcentagem de ar incluído para as diferentes pressões dentre as pontas com indução de ar. O mesmo ocorreu para a ponta convencional do modelo E. As pontas com indução de ar dos modelos B e C apresentaram aumento da porcentagem de ar capturado com o aumento da pressão de 200 para 400 kPa de forma semelhante, demonstrando que essas pontas de pulverização apresentam maior indução de ar em pressões maiores.

Quadro 5. Porcentagem de ar capturado no estudo da interação entre modelo e pressão: análise das pressões em função do modelo.

Interação		Ar capturado (%)
Modelo A	Pressão 200	14,88 a
Modelo A	Pressão 250	15,17 a
Modelo A	Pressão 300	15,48 a
Modelo A	Pressão 350	15,42 a
Modelo A	Pressão 400	16,03 a
Modelo B	Pressão 200	17,62 c
Modelo B	Pressão 250	18,92 bc
Modelo B	Pressão 300	20,11 ab
Modelo B	Pressão 350	20,94 a
Modelo B	Pressão 400	21,84 a
Modelo C	Pressão 200	19,97 c
Modelo C	Pressão 250	20,38 bc
Modelo C	Pressão 300	21,78 ab
Modelo C	Pressão 350	22,55 a
Modelo C	Pressão 400	22,84 a
Modelo D	Pressão 200	18,20 a
Modelo D	Pressão 250	18,75 a
Modelo D	Pressão 300	19,08 a
Modelo D	Pressão 350	19,26 a
Modelo D	Pressão 400	19,57 a
Modelo E	Pressão 200	1,29 a
Modelo E	Pressão 250	1,30 a
Modelo E	Pressão 300	1,21 a
Modelo E	Pressão 350	1,44 a
Modelo E	Pressão 400	1,48 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao analisar os modelos em função da pressão (Quadro 6) nota-se que em todas as pressões tanto os modelos de pontas com indução de ar quanto o convencional apresentaram diferenças significativas na porcentagem de ar capturado. No entanto, nas pressões superiores a 200 kPa não houve diferença significativa entre os modelos B e C. O modelo de ponta convencional E apresentou menor porcentagem de ar capturado em relação aos com indução de ar em todas as pressões estudadas.

Quadro 6. Porcentagem de ar capturado no estudo da interação entre modelo e pressão: análise dos modelos em função da pressão.

Interação		Ar capturado (%)
Pressão 200	Modelo A	14,88 <sup>c</sup>
Pressão 200	Modelo B	17,62 <sup>B</sup>
Pressão 200	Modelo C	19,97 <sup>A</sup>
Pressão 200	Modelo D	18,20 <sup>Ab</sup>
Pressão 200	Modelo E	1,29 <sup>d</sup>
Pressão 250	Modelo A	15,17 <sup>B</sup>
Pressão 250	Modelo B	18,92 <sup>A</sup>
Pressão 250	Modelo C	20,38 <sup>A</sup>
Pressão 250	Modelo D	18,75 <sup>A</sup>
Pressão 250	Modelo E	1,30 <sup>c</sup>
Pressão 300	Modelo A	15,48 <sup>c</sup>
Pressão 300	Modelo B	20,11 <sup>Ab</sup>
Pressão 300	Modelo C	21,78 <sup>A</sup>
Pressão 300	Modelo D	19,08 <sup>B</sup>
Pressão 300	Modelo E	1,21 <sup>d</sup>
Pressão 305	Modelo A	15,42 <sup>c</sup>
Pressão 305	Modelo B	20,94 <sup>ab</sup>
Pressão 305	Modelo C	22,55 <sup>a</sup>
Pressão 305	Modelo D	19,26 <sup>b</sup>
Pressão 305	Modelo E	1,44 <sup>d</sup>
Pressão 400	Modelo A	16,03 <sup>c</sup>
Pressão 400	Modelo B	21,84 <sup>a</sup>
Pressão 400	Modelo C	22,84 <sup>a</sup>
Pressão 400	Modelo D	19,57 <sup>b</sup>
Pressão 400	Modelo E	1,48 <sup>d</sup>

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As médias das porcentagens de ar capturado com o líquido aspergido por pontas de pulverização com vazão 02 dos modelos estudados trabalhando de 200 a

400 kPa de pressão são apresentados na Figura 8. Utilizando a ponta convencional foi capturado de 1,02 a 1,12% de ar e com as pontas de pulverização com indução de ar foi capturado de 13,40 a 23,41% de ar, dependendo da pressão de trabalho.

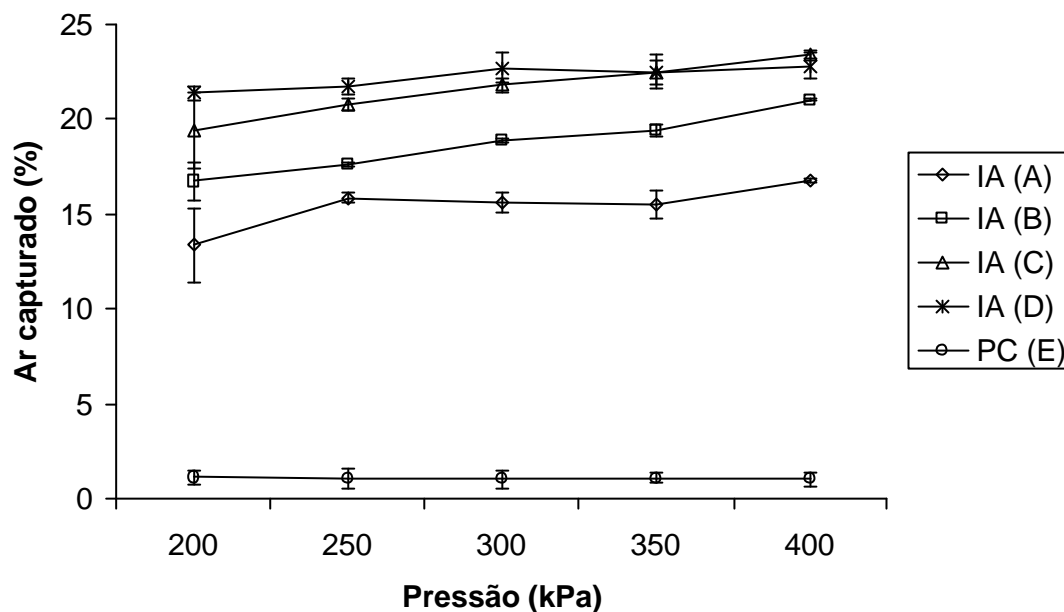


Figura 8. Porcentagem de ar capturado com o líquido aspergido por cinco modelos de pontas de pulverização 02 trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão. As barras verticais indicam o desvio padrão.

O desvio padrão de três repetições da porcentagem de ar capturado com o líquido para as diferentes pontas de pulverização 02 trabalhando de 200 a 400 kPa variou de 0,09 a 2,01. Os maiores valores de desvio padrão foram verificados quando da utilização das pontas de pulverização com indução de ar trabalhando a 200 kPa de pressão, situação em que os modelos de pontas em teste, normalmente, não funcionam adequadamente (pressão muito baixa).

A Figura 9 mostra as médias das porcentagens de ar capturado com o líquido aspergido pelas pontas de pulverização 04 estudadas trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão. Utilizando as pontas convencionais obteve-se a menor quantidade de ar capturado que

variou de de 1,43 a 2,00 %. Esses resultados são semelhantes aos encontrados para as pontas 02 descritas anteriormente. Para as pontas de pulverização com indução de ar foi capturado de 8,24 a 21,01% de ar.

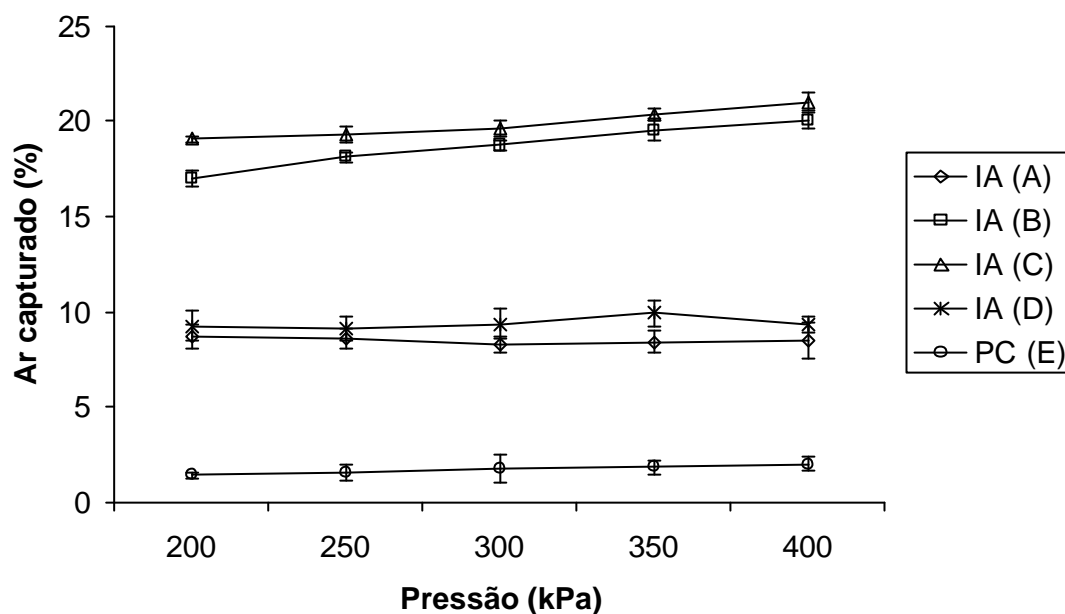


Figura 9. Porcentagem de ar capturado com o líquido aspergido por cinco modelos de pontas de pulverização 04 trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão. As barras verticais indicam o desvio padrão.

Trabalhando nas mesmas condições que as 02 descritas anteriormente, as pontas de pulverização 04 apresentam uma variação do desvio padrão de 0,15 a 0,92. Os baixos valores de desvio padrão encontrados tanto para as pontas 02 quanto para as 04 indicam que os dados são coerentes e as claras diferenças na porcentagem de ar entre as pontas demonstram que o método é confiável.

Estes resultados reforçam a importância e a acurácia do método da captura das gotas do spray e determinação da porcentagem de ar e da metodologia proposta para a sua utilização em uma eventual norma de classificação das pontas com indução de ar, dada a sua capacidade de diferenciar o comportamento entre as pontas.

Comparando as Figuras 8 e 9 nota-se que nas pontas A e D ocorreu redução significativa na porcentagem de ar capturado utilizando as pontas 04 em relação às 02. No entanto as linhas dos gráficos mantêm um comportamento definido e, onde a curva não tem um comportamento regular o desvio padrão é maior, indicando que nestes pontos a determinação teve menor precisão. Isto confirma os resultados de Butler Ellis et al. (2001a) que encontraram menor proporção de ar nas gotas geradas pelas pontas com indução 04 que nas equivalentes 02, utilizando o mesmo tipo de ponta e líquido a 300 kPa de pressão.

As porcentagens de ar capturado com o líquido aspergido por cinco diferentes pontas de pulverização com indução de ar 02 de cada modelo são apresentadas no Quadro 7. As pontas são dos modelos C e D, trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão em intervalos de medição de 50 kPa. Baixos valores de desvio padrão para diferentes pontas do mesmo modelo e vazão mostram que tais pontas apresentam comportamento homogêneo. Além disso, estes resultados indicam que o método é confiável e pode ser repetido.

No Quadro 8 são apresentadas as porcentagens de ar capturado com o líquido aspergido por cinco pontas de pulverização com indução de ar 04 dos modelos C e D, mostrados anteriormente, trabalhando nas mesmas condições. Novamente, baixos valores de desvio padrão e porcentagens de ar diferentes entre os modelos de pontas confirmam a confiabilidade do método e a homogeneidade das pontas.

Além de diferenciar a quantidade de ar capturado com as gotas por diferentes pontas com indução de ar com relação às convencionais, o método da captura das gotas do spray e determinação da porcentagem de ar detectou a redução da quantidade de ar entre as pontas do modelo D de vazão 02 e 04. Na média das pressões estudadas, utilizando as pontas 04 foi capturado 57,5% a menos de ar que as 02.

Quadro 7. Porcentagem de ar capturado com o líquido aspergido por cinco pontas de pulverização com indução de ar O<sub>2</sub> de dois modelos trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão.

<b>Pontas O<sub>2</sub></b>	<b>Pressão (kPa)</b>					
	<b>C</b>	200	250	300	350	400
1		20.50	20.40	21.40	21.82	23.25
2		19.38	20.37	21.08	21.97	22.37
3		17.69	18.99	20.04	21.18	21.89
4		18.30	18.72	19.52	20.74	21.58
5		18.70	19.31	19.44	20.77	20.99
Média		18.91	19.56	20.30	21.30	22.02
Desvio Padrão		1.08	0.78	0.90	0.57	0.85
<b>D</b>						
1		21.79	22.21	23.59	23.53	23.55
2		24.00	24.02	23.31	23.79	23.92
3		23.56	23.51	24.00	23.12	23.77
4		19.04	20.51	21.11	21.46	21.61
5		23.91	24.19	24.43	24.60	24.85
Média		22.46	22.89	23.29	23.30	23.54
Desvio Padrão		2.11	1.54	1.29	1.16	1.19

O método da captura das gotas pode sub estimar a porcentagem de ar adicionado ao líquido por diferentes pontas de pulverização devido a perdas durante o deslocamento das gotas no ar, no funil e na proveta; quando as gotas se chocam com a superfície interna do funil e da proveta, ou até mesmo dentro da proveta, antes da realização da leitura. Entretanto, esse método consegue detectar diferenças estatisticamente significativas na quantidade de ar capturado com o líquido por diferentes pontas de pulverização. Isso permite a sua utilização para diferenciar as pontas com indução de ar das demais e classificá-las entre si, de acordo com a quantidade de ar induzido.

Quadro 8. Porcentagem de ar capturado com o líquido aspergido por cinco pontas de pulverização com indução de ar 04 de dois modelos trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão.

<b>Pontas 04</b>	<b>Pressão (kPa)</b>					
	<i>C</i>	200	250	300	350	400
1		19.22	19.15	20.08	20.75	21.47
2		18.48	19.50	19.95	20.18	21.35
3		18.16	18.84	19.72	20.06	20.70
4		18.83	20.06	20.46	20.65	21.07
5		18.41	18.57	19.52	19.59	20.02
Média		18.62	19.22	19.95	20.25	20.92
Desvio Padrão		0.41	0.58	0.36	0.47	0.59
<b><i>D</i></b>						
1		9.49	9.62	9.54	10.31	9.32
2		9.80	9.39	10.07	9.63	10.29
3		10.08	10.45	10.16	9.94	10.64
4		10.18	10.00	10.39	9.73	9.86
5		9.24	9.33	9.06	9.83	9.42
Média		9.76	9.76	9.84	9.89	9.91
Desvio Padrão		0.39	0.47	0.54	0.26	0.56

## 6.2 Forças de impacto das gotas e fluxo de líquido

### 6.2.1 Ajuste do método

Esse método também passou por alguns ajustes iniciais. Antes de iniciar os trabalhos, havia a expectativa de melhor explicar os resultados coletando uma área mais

representativa do spray. A ponta passava em baixa velocidade pulverizando a uma distância de 200 mm acima da placa de impacto, enquanto as forças de impacto das gotas eram gravadas por um período de 20 segundos, mesmo que as gotas não mais atingissem a placa.

Uma série de fatores contribuíram para a alteração dessa técnica. Na fase inicial do registro das forças, parte do líquido foi acumulando sobre a placa, tornando difícil identificar as forças devidas exclusivamente ao impacto das gotas e, na fase final do registro, parte do líquido permanecia sobre a placa alterando os resultados.

As curvas dos gráficos das forças de impacto, Apêndice 1, registradas com a ponta em movimento possuem similaridade com a curva normal com variações entre pontas, vazões e/ou pressões. Algumas condições de trabalho geram gráficos mais achatados e outras mais curtos, o que dificultou a interpretação dos resultados. Contudo, a realização dos ensaios prévios possibilitou a discussão e o aperfeiçoamento do método.

### **6.2.2 Forças de impacto das gotas**

As forças de impacto das gotas geradas pelas pontas com indução de ar 02 e 04 trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão, apesar de normalmente serem menores, mostraram maior variabilidade do que as geradas pelas pontas convencionais equivalentes. Isto ocorreu em todas as pressões estudadas, como mostram as Figuras 10 e 11. Este fato comprova a influência das inclusões de ar na dinâmica do impacto das gotas nos alvos.

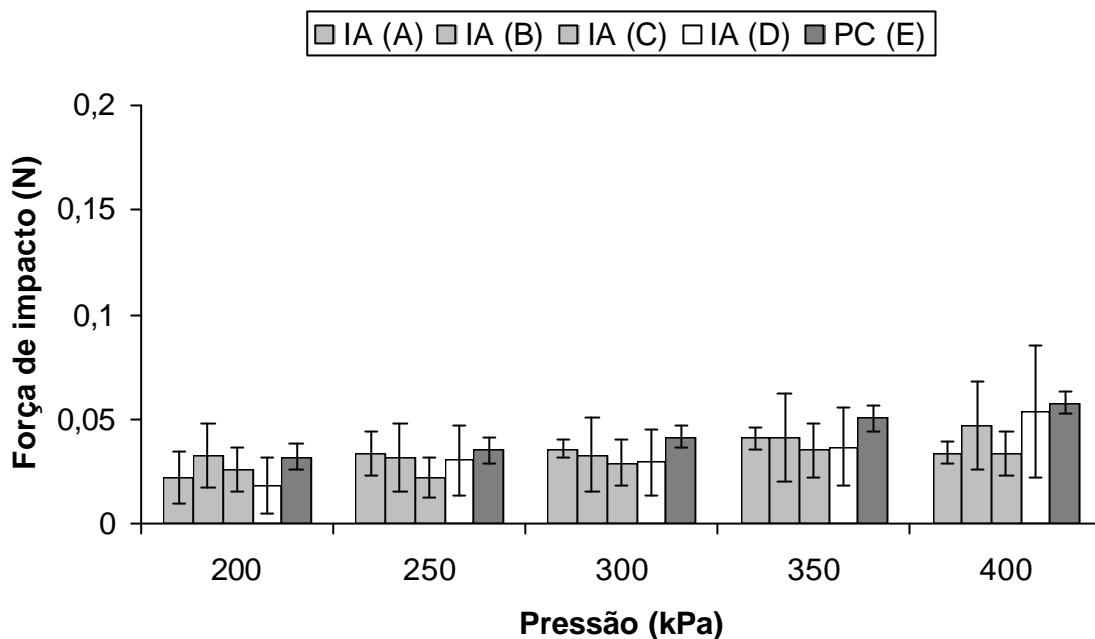


Figura 10. Média das forças de impacto das gotas geradas por pontas de pulverização 02 trabalhando em diferentes pressões. As barras verticais indicam o desvio padrão.

As forças de impacto das gotas geradas pelas pontas de pulverização 04 foram maiores que as geradas pelas pontas 02 equivalentes. Isto pode ser visto comparando as figuras 10 e 11, pois foram construídas na mesma escala. Esse fato pode ser parcialmente explicado pelo aumento da vazão passando das pontas 02 para as 04.

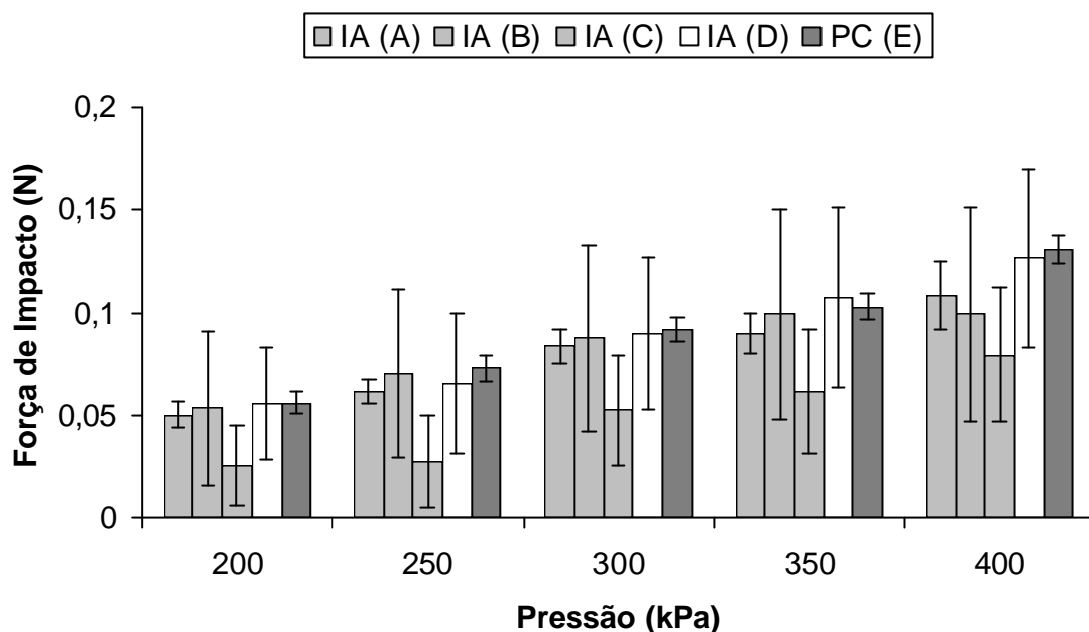


Figura 11. Média das forças de impacto das gotas geradas por pontas de pulverização 04 trabalhando em diferentes pressões. As barras verticais indicam o desvio padrão.

A Figura 12 apresenta o comportamento das forças de impacto das gotas do spray gerado por duas pontas 03, uma com indução de ar e outra de convencional, ambas trabalhando a 300 kPa de pressão. A variabilidade das forças de impacto é maior para as pontas com indução de ar em relação as convencionais. Isto evidencia que aquelas pontas geram gotas menos uniformes, algumas das quais de maior tamanho, concordando com Etheridge et al. (1999); Southcombe et al. (1997); Combella et al. (2001); Derksen et al. (1999).

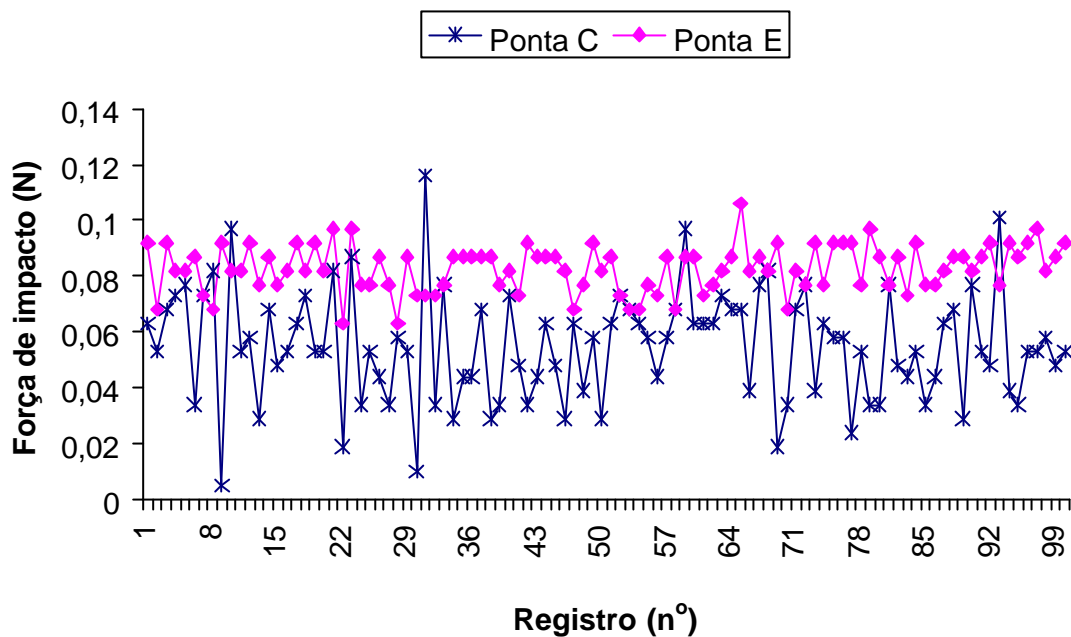


Figura 12. Forças de impacto das gotas de parte de uma repetição geradas por duas pontas 03, uma com indução de ar e outra convencional, trabalhando a 300 kPa de pressão.

As forças de impacto das gotas geradas pelas pontas de pulverização com indução de ar possuem maior variabilidade que as geradas pelas pontas convencionais trabalhando nas mesmas condições. Desta forma, as pontas com indução de ar geram gotas de tamanho maior e em menor número em relação as pontas convencionais equivalentes, mantida a mesma vazão.

### 6.2.3 Fluxo de massa do líquido

A média do fluxo de massa de líquido de três repetições utilizando as pontas da série C com indução de ar e da série E convencional com vazões 02 e 04 é apresentada na Figura 13. Os resultados obtidos mostram que o fluxo de massa aumenta com o aumento da pressão de trabalho e com a utilização de pontas de pulverização com vazões

maiores, como esperado. A média do fluxo de massa nas pontas com indução foi superior as convencionais equivalentes, especialmente para as 02.

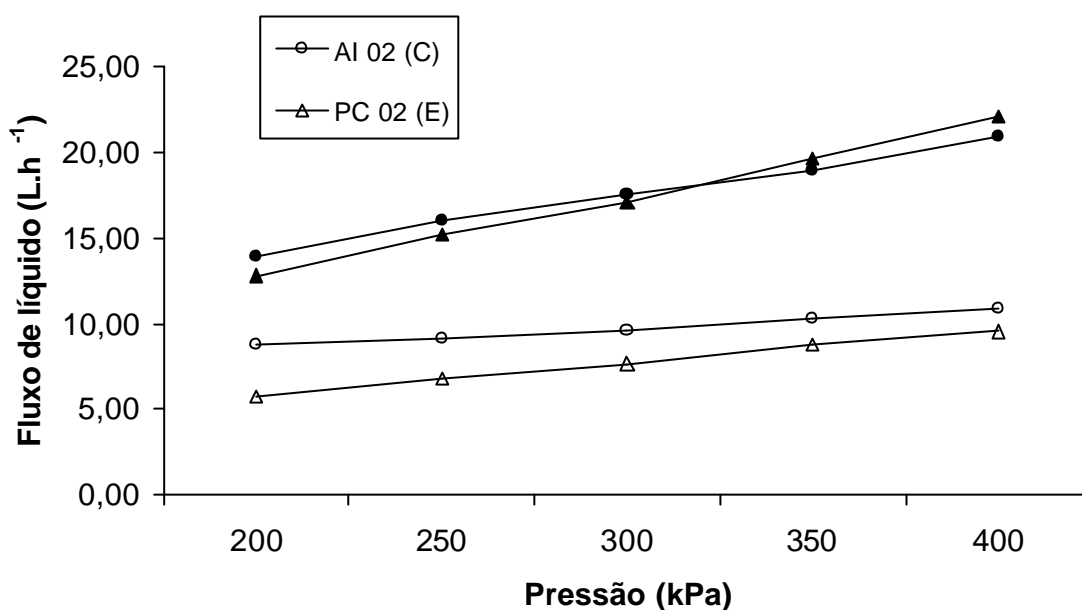


Figura 13. Média do fluxo de massa de líquido de duas pontas 02 (vazio) e 04 (cheio), uma com indução de ar e outra convencional, trabalhando de 200 a 400 kPa de pressão.

#### 6.2.4 Velocidade das gotas

A Figura 14 mostra a velocidade das gotas a 200 mm utilizando pontas 02. As gotas geradas pelas pontas de pulverização convencionais apresentam maior velocidade que as gotas geradas pelas com indução de ar. Foram encontradas menores e similares porcentagens de ar capturado com o líquido utilizando pontas de pulverização convencionais em ambas as vazões no método de captura das gotas e determinação da porcentagem de ar, o que é confirmado pela sua maior velocidade. Esses resultados mostram que os resultados encontrados em um dos métodos podem ser utilizados para comprovar os resultados do outro.

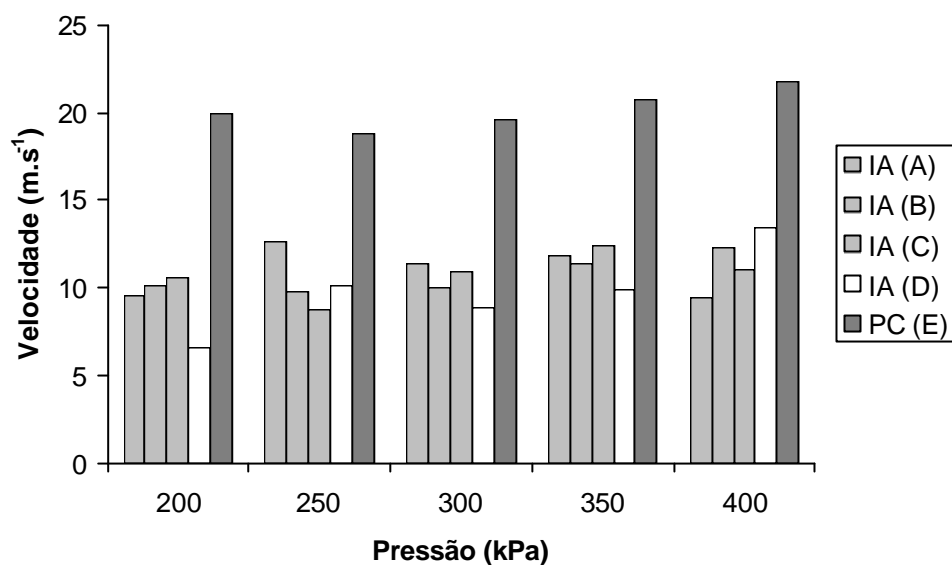


Figura 14. Velocidade média das gotas geradas por pontas de pulverização 02 trabalhando em diferentes pressões.

A velocidade das gotas é menor para as pontas de pulverização com indução de ar em relação às convencionais, concordando com Butler Ellis et al. (2001a) que encontraram resultados semelhantes usando uma calda com surfactante. Além disso, utilizando pontas de pulverização convencionais, esses autores verificaram que a velocidade das gotas foi a mesma em soluções contendo surfactante ou apenas água.

Da mesma forma que para as pontas 02 a Figura 15 mostra que as gotas geradas pelas pontas de pulverização convencionais apresentam maior velocidade que as gotas geradas pelas com indução de ar também para as pontas com vazão 04 nas diferentes pressões estudadas.

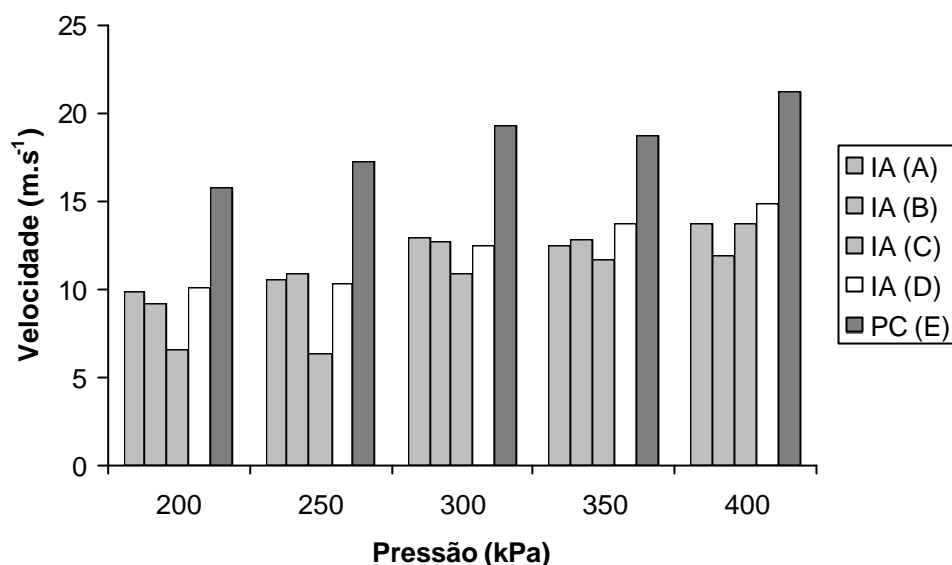


Figura 15. Velocidade média das gotas geradas por pontas de pulverização 04 trabalhando em diferentes pressões.

A velocidade das gotas aumenta com a diminuição da porcentagem de ar capturado para a maioria das pontas de pulverização 02 e 04 trabalhando a 300 kPa de pressão apresentada na Figura 16. Esses resultados foram esperados pois a presença de ar dentro das gotas aumenta o seu diâmetro e diminui a sua densidade. Em consequência a velocidade de deslocamento das gotas reduz pela força de resistência a passagem oferecida pelo ar.

A maior velocidade das gotas de maior densidade nos induz a pensar que essas gotas sofrem menor efeito de deriva. No entanto, as gotas com menor densidade, devido a presença de ar em seu interior podem sofrer menor efeito de deriva, provavelmente por serem de tamanho maior e possuírem maior massa.

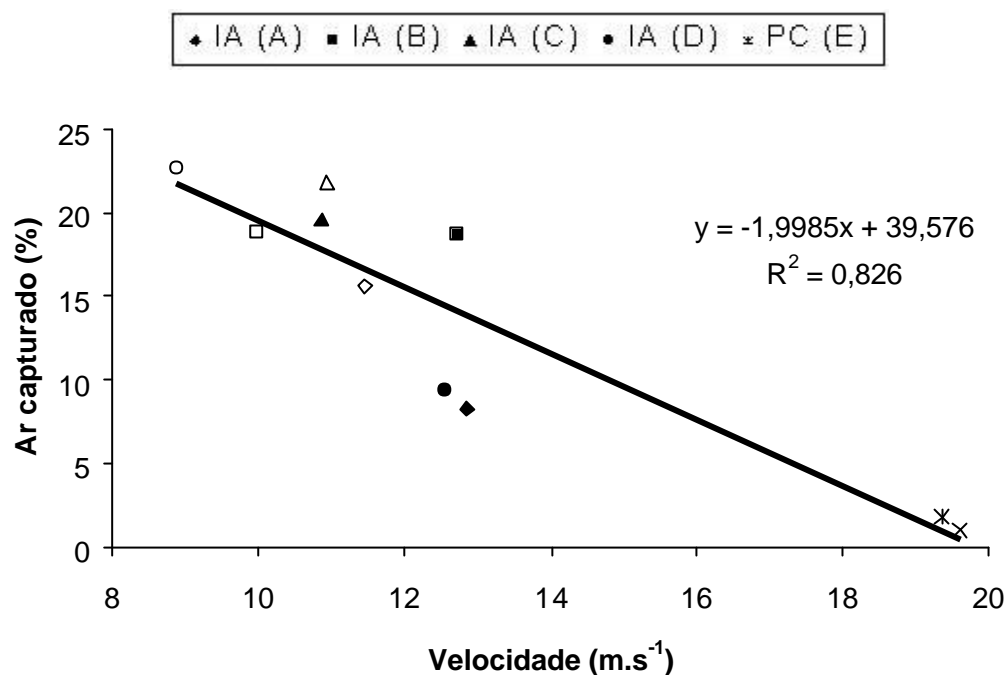


Figura 16. Porcentagem de ar capturado em relação a velocidade das gotas para pontas de pulverização 02 (vazio) e 04 (cheio) trabalhando a 300 kPa de pressão.

Alterando a vazão de 02 para 04 e mantendo a pressão em 3 bar, a velocidade das gotas produzidas por pontas de pulverização com indução de ar aumenta para a maioria delas, indicando que existe menos ar nas gotas geradas por pontas de pulverização 04 que nas equivalentes 02. Isto pode ser confirmado pelo método da captura das gotas do spray e determinação da porcentagem de ar, especialmente para as pontas A e D.

A velocidade média calculada das gotas 200 mm abaixo da ponteira da ponta convencional 015 trabalhando a 300 kPa de pressão foi de 23,76 m.s<sup>-1</sup>. Miller (1993) encontrou velocidade das gotas próxima de 20 m.s<sup>-1</sup> utilizando o equipamento *Aerometrics spray analyser* para uma ponta com as mesmas características, trabalhando na mesma pressão e utilizando água com 0,1% de um surfactante não iônico. Através de uma representação gráfica esse autor mostra que Dombrowski e Jones (1963), encontraram velocidades da lâmina formada na saída da ponteira entre 15 a 25 m.s<sup>-1</sup>.

Desta forma, com este método é possível encontrar a velocidade das gotas numa determinada posição do spray. Entretanto, mais estudos são necessários para comprovar os resultados do método e verificar a sua confiabilidade.

### **6.3 Considerações gerais**

Diferenças claras no volume de ar capturado com o líquido por diferentes modelos de pontas de pulverização e baixos valores de desvio padrão entre repetições mostram que os dados obtidos no método da captura das gotas do spray e determinação da porcentagem de ar são confiáveis e que é possível repetir o experimento.

Podem ocorrer perdas de ar durante o deslocamento das gotas no ar, no impacto com a superfície interna do funil, na descida da mistura dentro do funil, no choque dessa com as paredes internas da proveta e nas alterações que ocorrem na proveta antes de realizar a leitura da mistura. Desta forma, o método provavelmente sub estima o volume de ar adicionado ao líquido por pontas de pulverização com indução de ar sem, no entanto, comprometer a sua utilidade. Contudo, o método da captura das gotas do spray e determinação da porcentagem de ar pode ser utilizado para diferenciar e classificar pontas de pulverização quanto a indução de ar.

O método da medida das forças de impacto mostra maior variabilidade das forças de impacto das gotas do spray gerado por pontas de pulverização com indução de ar em relação às convencionais equivalentes. A maior variabilidade das forças indica que as pontas com indução de ar geram menor número de gotas e com massa variável, algumas dessas com massa maior que as maiores gotas geradas pelas pontas convencionais equivalentes.

Além disso, esse método fornece dados que permitem encontrar a velocidade das gotas numa determinada posição do spray. A velocidade das gotas pode ser utilizada para comprovar os resultados obtidos no método da captura das gotas do spray e determinação da porcentagem de ar pois a velocidade das gotas tende a ser menor onde ocorre maior quantidade de ar em seu interior.

Num estudo mais detalhado, o método da captura das gotas poderá ser adotado como padrão para encontrar as equações de calibração utilizando os dados de força de impacto, fluxo de líquido ou velocidade das gotas. Isto permitiria a obtenção da quantidade de ar inserido às gotas realizando apenas uma dessas determinações.

Esse estudo pode servir de base para a realização de futuras pesquisas, especialmente as que visem a utilização de baixos volumes de aplicação ou o controle da deriva. Contudo, mais estudos são necessários para caracterizar melhor o spray de gotas geradas por pontas de pulverização com indução de ar e para elaborar normas de classificação de pontas quanto a indução de ar.

## 7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram desenvolvidos e avaliados métodos para determinação da quantidade de ar inserido às gotas geradas por pontas de pulverização com indução de ar e propostas as respectivas metodologias de trabalho.

O método desenvolvido para quantificar o ar incluído às gotas por pontas de pulverização com indução de ar mostrou-se adequado, preciso e de execução relativamente rápida.

O método da captura das gotas do spray e determinação da percentagem de ar estima o ar induzido e possibilita a classificação de pontas de pulverização quanto a indução de ar.

O método da medida das forças de impacto das gotas detecta maior variabilidade das forças de impacto das gotas geradas por pontas de pulverização com indução de ar em relação as convencionais.

É possível calcular a velocidade das gotas numa determinada posição do spray utilizando o método da medida das forças de impacto das gotas.

A velocidade das gotas geradas pelas pontas de pulverização com indução de ar é inferior a das convencionais e é menor onde o volume de ar capturado com o líquido pelo método da captura das gotas é maior.

É possível utilizar o método da captura das gotas e determinação da percentagem de ar numa eventual norma de classificação das pontas de pulverização com indução de ar.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRARDÜSEN - agricultural nozzles. Metzingen: Lechler GmbH, 2002. (Folheto).
- ANTUNIASSI, U. R. Agricultura de precisão: aplicação localizada de agrotóxicos. In: TECNOLOGIA E SEGURANÇA NA APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 1998, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p.53-63.
- ANTUNIASSI, U. R., VEIGA, C. M. Caracterização da tecnologia de aplicação de herbicidas na cultura da soja em plantio direto no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA E MERCOSOJA, 2, 2002, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: Embrapa, 2002. p.337.
- BERGERON, V., MARTIN, J. Y., VOVELLE, L. Interaction of droplets with a surface: impact and adhesion. *Agro Food Industry Hi-Tech*, v.10, n.5, p.21-3, 1999.
- BICOS Jacto de pulverização. Pompéia: Máquinas Agrícolas Jacto, s.d. (Folheto).
- BICOS série AVI - jato plano. Pompéia: Máquinas Agrícolas Jacto, 2001. (Folheto).
- BIOCCA, M., VANUCCI, D. Organisation and criteria of inspection of sprayers in Italy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 2000, Coventry: *Proceedings...* Coventry: EurAgEng, 2000. v.2, p.217-8.
- BUTLER-ELLIS, M. C., TUCK, C. R. How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. *Crop Protection*, v.18, p.101-9, 1999.

- BUTLER-ELLIS, M. C., TUCK, C. R. The variation in characteristics of air-included sprays with adjuvants. *Aspects of Applied Biology*, v.57, p.155-62, 2000.
- BUTLER ELLIS, M. C., BRADLEY, A., TUCK, C. R. The characteristics of sprays produced by air induction nozzles. In: THE BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL CONFERENCE WEEDS, 2001, Brighton. *Proceedings...* Surrey: The British Crop Protection Council, 2001a. p.665-70.
- BUTLER-ELLIS, M. C., TUCK, C. R., MILLER, P. C. H. The effect of same adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. *Crop Protection*, v.16, p.41-50, 1997.
- BUTLER-ELLIS, M.C., TUCK, C.R., MILLER, P. C. H. How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. *Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v.180, p.267-76, 2001b.
- CECIL, A. R. G. Modified spray nozzle design reduces drift whilst maintaining effective chemical coverage. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE WEEDS, 1997, Brighton. *Proceedings...* Farnham: British Crop Protection Council, 1997. p.543-8.
- COMBELLACK, J. H., MILLER, P. C. H. Effect of adjuvants on spray patteration and the volume of air induced by selected nozzles. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS, 6, 2001. *Proceedings...* Amsterdam: IMAG, 2001. p.557-62.
- 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*, v.15, p.147-52, 1996.
- COSTA, E. A. D. *Efeitos de surfactantes sobre a tensão superficial de soluções de rodeo*. Botucatu, 1997. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- DERKSEN, R. C., OZKAN, H. E., FOX, R. D., BRAZEE, R. D. Droplet spectra and wind tunnel evaluation of venturi and pre-orifice nozzles. *Transactions of the ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.) pap*, v.42, p.1573-80, 1999.

- DOBLE, S. J., MATTHEWS, G. A., RUTHERFORD, I., SOUTHCOMBE, E. S. E. A system for classifying hydraulic nozzles and other atomizers into categories of spray quality. In: THE BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL CONFERENCE WEEDS, 1985, Brighton. Proceedings... Surrey: British Crop Protection Council, 1985. v.3, p.1125-33.
- DOMBROWSKI, N., JONES, W. R. The aerodynamic instability of viscous liquid sheets. *Chemical Engineering Science*. v.18, p.203-14, 1963.
- ENGLAND. Ministry of Agriculture Fisheries and Food. *Code for practice for the safe use of pesticides on farms and holdings*. London, 1998. 75p. (PB3528).
- ENGLAND. Ministry of Agriculture Fisheries and Food. *Local environmental risk assessments for pesticides: a practical guide*. London, 1999. 17p. (PB4168).
- ETHERIDGE, R. E., WILLIAM, E. H., ROBERT M. H., THOMAS, C. M. Effect of venturi-type nozzles and application volume on postemergence herbicide efficacy. *Weed Technology*, v.15, p.75–80, 2001.
- ETHERIDGE, R. E., WOMAC, A. R., MUELLER, C. T. Characterization of the spray droplet spectra and patterns of four venturi-type drift reduction nozzles. *Weed Technology*, v.13, p.765–70, 1999.
- FAROOQ, M., BALACHANDAR, R., WULFSOHN, D., WOLF, T. M. Agricultural sprays in cross-flow and drift. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.78, p.347-58, 2001.
- GANDOLFO, M. A. *Inspeção periódica de pulverizadores*. Botucatu, 2002. 92p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- GILBERT, A. J. Local Environmental Risk Assessment for Pesticides (LERAP) in the UK. *Aspects of Applied Biology*, v.57, p.301-7, 2000.
- HESS, F. D., FOY, C. L. Interaction of surfactants with plant cuticles. *Weed Technology*, v.14, p.807-13, 2000.
- KOCH, H. German certification systems for new sprayers and those already in use. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS: EFICIÊNCIA, ECONOMIA E PRESERVAÇÃO DA SAÚDE

- HUMANA E DO AMBIENTE, 2, 2001. Jundiaí. Disponível em:  
<<http://www.iac.br/~cma/Sintag>>. Acesso em: 21 mar 2002.
- LANGENAKENS, J., BRAEKMAN, P. The mandatory inspection of sprayers in Belgium: history, organisation, criteria and results. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS: EFICIÊNCIA, ECONOMIA E PRESERVAÇÃO DA SAÚDE HUMANA E DO AMBIENTE, 2, 2001, Jundiaí. Disponível em: <<http://www.iac.br/~cma/Sintag>>. Acesso em: 21 mar 2002.
- LEI da embalagem de agrotóxico entra em vigor. Correio do Povo, Porto Alegre, p.16, 31 maio 2002.
- LUND, I. Nozzles for drift reduction. *Aspects of Applied Biology*, n.57, p.97-102, 2000a.
- LUND, I. Sprayer nozzles for precision pesticide application. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 2000, Coventry. *Proceedings...* Coventry: EurAgEng, 2000b. v.1, p.325-6.
- MACHRY, M. *Desempenho de pontas de pulverização na aplicação de herbicidas pós-emergentes*. Passo Fundo, 2002. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo.
- MATTHEWS, G. A. *Pesticide application methods*. 3.ed. London: Blackwell Science, 2000. 432p.
- MATTHEWS, G.A. *Application of pesticide to crops*. London: Imperial College Press, 1999. 325p.
- MATUO, T. *Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas*. Jaboticabal: Funep, 1990. 139p.
- MENDONÇA, C. G de. *Comportamento do propanil e eficácia do anidrido naftálico como protetor de herbicidas para arroz*. Botucatu, 2000. 70p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

- MENDONÇA, C. G., VELINI, E. D., MARTINS, D., MENDONÇA, C. G. Efeito de surfactantes sobre a tensão superficial e a área de molhamento de soluções de glyphosate sobre folhas de tiririca. *Planta Daninha*, v.17, p.355-65, 1999.
- MILLER, P. C. H. Directions and trends in research into pesticide application technology: the view of a research scientist. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS: EFICIÊNCIA, ECONOMIA E PRESERVAÇÃO DA SAÚDE HUMANA E DO AMBIENTE, 2, 2001. Jundiaí. Disponível em: <<http://www.iac.br/~cma/Sintag>>. Acesso em: 21 mar 2002.
- MILLER, P. C. H., BUTLER ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for application from ground-based boom sprayers. *Crop Protection*, v.19, p.609-15, 2000.
- MILLER, P. C. H., BUTLER ELLIS, M. C. Extending the international (BCPC) spray classification scheme. *Aspects of Applied Biology*, v.66, 2002.
- MILLER, P. C. H. Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G.A., HISLOP, E.C. (Ed.) *Application technology for crop protection*. Wallingford: CAB International, 1993. p.101-22.
- MONTÓRIO, G. A. *Eficiência dos surfactantes de uso agrícola na redução da tensão superficial*. Botucatu, 2001. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- MURPHY, S. D. *The study of droplet impact force and spray deposition from BCPC reference nozzles and air-inclusion nozzles for the classification of agricultural spray nozzles*. Bedford: Silsoe Research Institute, 2000. (Relatório).
- PALLADINI, L. A. *Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações*. Botucatu, 2000. 111p. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- PARKIN, C. S., WHEELER, P. N. Influence of Spray Induced Vortices on the movement of drops in wind tunnels. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.63, n.1, p.35-44, 1996.

- PEREIRA, M. H. *A segunda revolução verde*. Brasília: Serviço de Produção e Informação, EMBRAPA, 1997. p.25-8.
- PIGGOTT, S., MATTHEWS, G. A. Air induction nozzles: a solution to spray drift? *International Pest Control*, v.41, n.1, p.24-8, 1999.
- RAUTMANN, D. Official list of drift reducing technique. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 2000, Coventry: *Proceedings...* Coventry: EurAgEng, 2000. v.2, p.134-5.
- SOUTHCOMBE, E. S. E., MILLER, P. C. H., GANZELMEIER, H., ZANDE, J. C. V., MIRALES, A., HEWITT, A. J. The international (BCPC) spray classification system including a drift potential factor. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE WEEDS, 1997, Brighton. *Proceedings...* Surrey: British Crop Protection Council, 1997. p.371-80.
- TEEJET produtos de pulverização para a agricultura. Wheaton: Spraying Systems, 1998. 104p. (CAT. 46M – BR/P).
- TOMAZELA, M. S. *Avaliação da deposição da calda de pulverização em função da densidade populacional de Brachiaria plantaginea (Link) Witch, volume e ângulo de aplicação*. Botucatu, 1997. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- TUCK, C. R., BUTLER ELLIS, M. C., MILLER, P. C. H. Techniques for measurement of droplet size and velocity distributions in agricultural sprays. *Crop Protection*, v.16, p.619-28, 1997.
- UNDERWOOD, A. K. Adjuvant Trends for the New Millennium. *Weed Technology*, v.14, p.765-72, 2001.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. *Normas para a elaboração de dissertações e teses*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1997. 35p.

- VELINI, E. D., MARTINS, D., SOUZA SILVA, M. A. de. Efeito de concentrações de espalhante adesivante e doses de glyphosate no controle de *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum*. *Planta Daninha*, v.18, p.349-66, 2000.
- WALKLATE, P. J., MILLER, P. C. H., GILBERT, A. J. Drift classification of boom sprayers based on single nozzle measurements in a wind tunnel. *Aspects of Applied Biology*, v.57, p.49-56, 2000.
- WOLF, R.E., GARDISSER, D.R., WILLIAMS, W.L. Spray droplet analysis of air induction nozzles using WRK DropletScan™ Technology. *ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.) pap*, p.99-126, 1999.
- ZANDE, J. C. V., PORSKAMP, H.A.J., MICHELSSEN, J. M. G. P., STALLINGA, H., HOLTERMAN, H. J., JONG, A. de, HUIJSMANS, J. F. M. Drift measurements in the Netherlands as a basis for drift control strategies. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS: EFICIÊNCIA, ECONOMIA E PRESERVAÇÃO DA SAÚDE HUMANA E DO AMBIENTE, 2, 2001. Jundiaí. Disponível em: <<http://www.iac.br/~cma/Sintag>>. Acesso em: 21 mar 2002.

## **APÊNDICE**

**Apêndice 1.** Forças de impacto das gotas geradas por duas pontas 04 a 400 kPa, posicionadas 200 mm acima da placa de impacto, deslocando-se a  $0,11 \text{ m.s}^{-1}$  e com o jato paralelo à placa.

