

APERFEIÇOAMENTO DE BICO DE PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA PARA GERAÇÃO DE GOTAS COM ALTO NÍVEL DE CARGA¹

ALDEMIR CHAIM²

RESUMO - Com o objetivo de estudar a influência do sistema de aterramento de líquido no nível de carga de gotas, obtidas com processo de pulverização eletrostática, foram construídos dois bicos, pneumáticos e eletrostáticos de mistura interna, com eletrodos de indução miniaturas, embutidos na capa de ar, na região de formação das gotas. Em um dos bicos (B1), o eletrodo de aterramento do líquido consistiu de um cilindro de latão com ponta, colocado no conduto de líquido do corpo do bico. No outro bico (B2), o eletrodo de aterramento do líquido consistiu de uma agulha metálica, embutida no corpo do bico, cuja ponta sobressaiu-se em 1 mm do orifício de saída de líquido. Em um ensaio comparativo, o sistema de aterramento por agulha produziu jatos de gotas com níveis de carga superiores aos do outro sistema, em diferentes condições de pressão de ar e voltagem de indução. Em um ensaio específico com o bico B2, o mesmo produziu gotas com carga de 22 $\mu\text{C/g}$, com vazão de 60 mL/min, pressão de ar de 392 kPa e apenas 3.500 V de tensão de indução. Esse nível de carga é maior do que os obtidos pela maioria dos bicos eletrostáticos descritos em literatura.

Termos para indexação: bico eletrostático, bico pneumático, gotas de pulverização, gotas com carga elétrica.

A PNEUMATIC-ELECTROSTATIC NOZZLE TO PRODUCE DROPLETS WITH HIGH LEVEL CHARGE

ABSTRACT - To evaluate the influence of the earthing system of liquid of electrostatic spraying process on the charge level of spray droplets, two internal-mixture pneumatic-electrostatic nozzles were developed, with a miniature induction-electrode totally embedded in air cap, justly in the droplet formation region. One of the nozzles (B1) had an earthed electrode constituted of a sharp-pointed metallic cylinder, embedded in the liquid duct of the nozzle body. For the other nozzle (B2), the earthing of the liquid was provided by a metallic needle embedded in the nozzle body, and whose sharp point stayed 1 mm outside of the liquid emergence orifice of the nozzle tip. The needle earthing system produced more charge in sprays than the other system, under different conditions of pressure and voltage. In other assay, the B2 nozzle produced a spray charge of 22 $\mu\text{C/g}$ with a flow rate of 60 mL/min, 392 kPa of air pressure and 3,500 volts of induction voltage. This charge level is higher than those attained by other electrostatic nozzles described in literature.

Index terms: electrostatic nozzle, pneumatic nozzle, spray droplets, charged droplets.

¹ Aceito para publicação em 7 de novembro de 1997.

² Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental (CNPMA), Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna, SP. E-mail: aldemir@cnpma.embrapa.br

INTRODUÇÃO

Existe um grande interesse na redução dos impactos ambientais causados pela agricultura, bem como uma forte demanda por alternativas que conduzam à sua sustentabilidade. Neste contexto, a metodologia de aplicação de agrotóxicos empregada atualmente revela-se como um processo extremamente desperdiçador, não adequado ao novo paradigma proposto. Graham-Bryce (1977) estima que, em alguns casos, menos de 1% do agrotóxico aplicado é efetivamente utilizado para controlar pragas. Isso é consequência do uso da mesma metodologia utilizada no século passado quando se iniciavam as pulverizações de videiras com calda bordalesa, na França. Assim, a pulverização eletrostática se apresenta como uma alternativa promissora para redução do uso de agrotóxicos em curto prazo. O desenvolvimento de pulverizadores eletrostáticos tratorizados se apresenta, portanto, como opção interessante para utilização nos modelos de agricultura intensiva. Nesse caso, é importante o desenvolvimento de um pulverizador com bicos com sistema de carga por indução, onde o líquido seja mantido aterrado (zero volt) e a voltagem de trabalho possa ser reduzida para menos de 4.000 volts.

Na tentativa de melhorar a eficiência de aplicação, vários pesquisadores começaram a procurar alternativas que aumentassem a deposição de produto nos alvos e reduzissem a contaminação ambiental. As pesquisas

sobre o uso de gotas com cargas eletrostáticas tiveram um grande crescimento, principalmente depois do sucesso do pulverizador Electrodyn desenvolvido por Coffee (1981). No Brasil, Chaim (1984) também desenvolveu e testou um protótipo de pulverizador manual eletrohidrodinâmico para aplicação de volumes de calda entre 1 a 2 litros por hectare e obteve sucesso no controle de trips em amendoim, empregando apenas 50% da dose recomendada de deltametrina.

Vários projetos de bicos eletrostáticos foram desenvolvidos, mas os benefícios do uso de gotas com cargas eletrostática não foram consistentes (Hislop, 1988). Isso ocorreu porque os projetos desenvolvidos não gravavam gotas com nível de carga suficiente para melhorar a deposição, ou o tamanho de gotas produzidas não era adequado para uso com carga eletrostática.

De maneira geral, a eficiência da aplicação aumenta com a diminuição do tamanho das gotas, mas Himel (1969) e Himel & More (1969) estimaram que aquelas compreendidas entre 20 e 50 micrômetros são ideais para o controle de insetos. É nessa faixa de tamanho que ocorre o maior benefício da carga eletrostática para um aumento expressivo na deposição das gotas (McCartney & Woodhead, 1983).

Hislop (1988), numa revisão sobre o emprego de gotas com carga eletrostática para aplicação de agrotóxicos, afirmou que é possível reduzir, com facilidade, mais de 50% dos ingredientes ativos recomendados nas aplicações, sem reduzir a eficácia biológica. Além de aumentar a eficiência no controle, a pulverização eletrostática reduz os efeitos dos inseticidas sobre os organismos que vivem no solo, porque as perdas para o solo chegam a ser 20 vezes menores que numa pulverização convencional.

Vários processos podem ser utilizados para produzir gotas com carga elétrica, mas a indução eletrostática é o único pelo qual isso pode ser feito com o uso de baixa tensão. A indução eletrostática ocorre entre dois corpos mantidos sob diferentes potenciais, separados por determinada distância. Nessa situação forma-se um campo elétrico, sendo que as cargas positivas se acumulam no corpo mantido em potencial positivo, e as cargas negativas, no outro corpo. Assim, se um dos corpos é um fluxo de líquido aterrado, serão acumuladas cargas na sua superfície, as quais posteriormente serão levadas com as gotas. Na medida em que as cargas são levadas pelas gotas, novas cargas fluem do terra para a superfície do líquido que está sendo pulverizado, no sentido de se restabelecer o equilíbrio da indução.

O sistema de carga por indução tem sido utilizado basicamente em três tipos de bicos de pulverização: bico hidráulico (Law & Bowen, 1966; Carroz & Keller, 1978; Marchant & Green, 1982), bico centrífugo (Carlton & Bouse, 1980; Marchant, 1985) e bico pneumático (Law, 1978). Normalmente, o eletrodo de indução é posicionado a poucos milímetros do líquido, no ponto em que ele se rompe em gotas, conseguindo-se um campo eletrostático muito intenso com voltagens relativamente muito baixas. Um dos problemas desse processo é que as gotas produzidas possuem polaridade oposta ao eletrodo de indução, e assim elas são fortemente atraídas e se depositam sobre sua superfície, provocando o seu molhamento ao ponto de gotejamento. A presença de líquido na superfície do eletrodo de indução gera pontos de ionização que descarregam as gotas formadas ou geram faíscas elétricas, que reduzem a efetividade do bico. Carlton & Bouse (1980) solucionaram o problema colocando o bico num fluxo de ar em alta velocidade, o qual mantinha o eletrodo de indução seco. Marchant & Green (1982) desenvolveram um eletrodo oco, com várias perfurações, e um sofisticado sistema para aspirar o líquido que se depositava na sua superfície. A solução mais interessante, entretanto, foi a apresentada por Law (1978), com a utilização de um bico pneumático de mistura interna. Os bicos pneumáticos de mistura interna caracterizam-se por proporcionarem jatos concêntricos de ar/líquido, com a particularidade de apresentarem uma pequena constrição na capa que recobre a ponta de emergência do líquido, ou seja, a peça que direciona o ar para a pulverização do líquido. Essa constrição ou choque situa-se a uma pequena distância do ponto de emergência do líquido e serve para melhorar a transferência de energia do ar para a produção das gotas. O autor construiu essa capa com material dielétrico, contendo um eletrodo miniatura embutido, justamente na região entre o orifício de emergência do líquido e a constrição, na zona de formação das gotas. Assim, o próprio ar que pulveriza o líquido, arrasta as gotas carregadas para longe da influência do eletrodo de indução, mantendo-o seco.

A maioria dos produtos aplicados por via líquida utiliza a água como diluente, e a calda formada apresenta boas características elétricas para um perfeito funcionamento do processo de carga por indução. Entretanto, em face dos problemas de deriva e evaporação, essa calda não é indicada para pulverizações com gotas entre 30 e 50 micrômetros de diâmetro mediano volumétrico. A deriva pode ser razoavelmente controlada pelo uso de gotas com carga eletrostática (Carlton & Bouse, 1980), mas a evaporação só pode ser controlada com a utilização de adjuvantes na calda de pulverização. Esses adjuvantes alteram sensivelmente as características elétricas do líquido, prejudicando, conseqüentemente, o nível de carga das gotas (Law & Cooper, 1987).

O bico pneumático eletrostático desenvolvido por Law (1978) apresenta algumas características interessantes, e dentre elas, o tamanho de gotas adequado para um controle mais eficiente de pragas e doenças, e, principalmente, a manutenção do eletrodo de indução seco. O autor utilizou um bico pneumático da Spraying Systems Company, do tipo SU # 22B, e desenvolveu uma capa de material dielétrico, para promover a interface diretamente com o corpo metálico do bico (#40100), substituindo, portanto, a capa do ar metálica original (#1401110). Um pequeno eletrodo cilíndrico foi embutido dentro da capa dielétrica (ar), em posição coaxial com a linha central do orifício de emergência do líquido. Quando montadas as duas peças, o eletrodo de indução ficava posicionado a uma distância de 1,78 mm do orifício de emergência do líquido, ou seja, na zona de formação das gotas. O outro eletrodo - de aterramento do líquido - foi posicionado dentro do conduto de líquido do corpo metálico do bico, em um ponto distante da zona de formação das gotas. Segundo o autor, isso foi feito para assegurar que o campo elétrico mais intenso fosse estabelecido entre o eletrodo de indução e o jato emergente do líquido e não com o corpo metálico do bico (Fig. 1). Com essa configuração, conseguiu-se um nível de carga de $4,8 \mu\text{C/g}$, com o bico calibrado para 294 kPa de pressão de ar e 2.000 V de indução, na pulverização de água. Contudo, os efeitos benéficos da deposição eletrostática ocorrem somente a partir do nível de $1 \mu\text{C/g}$ (Law & Lane, 1981). Nesse contexto, é necessário efetuar alguns aperfeiçoamentos para aumentar o nível de transferência de carga para o líquido, para compensar os efeitos da alteração da condutividade proporcionada pela ação do adjuvante.

O objetivo deste trabalho foi testar a influência de um novo sistema de aterramento do líquido, constituído de um eletrodo, em forma de agulha, cuja ponta permanece próxima da zona de formação de gotas.

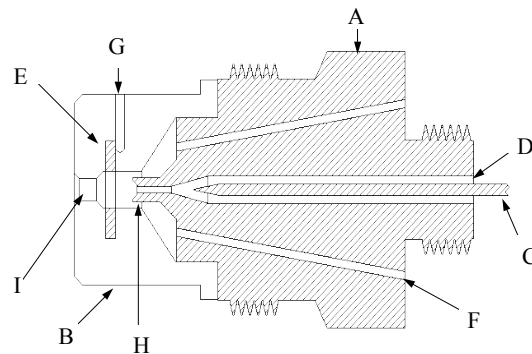


FIG. 1. Representação esquemática do bico pneumático eletrostático B1, com corpo construído de latão, e cujo projeto original foi desenvolvido por Law (1978). A - corpo do bico; B - capa de ar; C - eletrodo de aterramento do líquido; D - entrada de líquido; E - eletrodo de indução; F - entrada de ar; G - entrada do pino de conexão de alta tensão; H - ponta do bico; I - choque ou constrição da capa de ar.

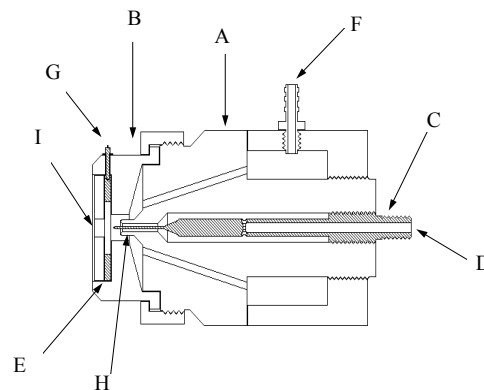


FIG. 2. Representação esquemática do bico pneumático eletrostático B2, que foi construído com náilon, sendo os eletrodos de indução e eletrodo de aterramento, de latão. A - corpo do bico; B - capa de ar; C - eletrodo de aterramento do líquido; D - entrada do líquido; E - eletrodo de indução; F - entrada de ar; G - pino de conexão para a alta tensão; H - ponta do bico; I - choque ou constrição da capa de ar.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram construídos dois protótipos de bicos pneumáticos de mistura interna, com dimensões idênticas, com a capa de ar modificada para receber um eletrodo de indução circular na zona de formação de gotas. Um dos bicos foi construído segundo o projeto apresentado por Law (1978), com corpo metálico (B1), e o outro bico foi construído com material isolante (B2). Para cada bico foi desenvolvido um sistema de aterramento de líquido diferente. Considerando-se como sistema padrão, o aterramento do líquido em um dos bicos (B1) foi feito por um cilindro metálico com ponta, embutido no conduto do líquido, a uma distância aproximada de 8 mm do ponto de formação de gotas. O outro bico (B2) recebeu um sistema de aterramento do líquido, constituído de uma agulha metálica, embutida no conduto do líquido, com a ponta sobressaindo-se em 1 mm do orifício de saída do líquido. No sistema de aterramento do bico B2, o líquido emergiu por uma estreita fresta anular constituída entre a ponta do bico de náilon e o eletrodo de aterramento (Fig. 2).

Para testar esses sistemas de aterramento, foram realizados ensaios em laboratório, efetuando-se uma série de medições da corrente elétrica, presente na nuvem de gotas. Foi desenvolvido um sistema de alimentação de líquido constituído de um depósito metálico pressurizável, com capacidade de 2 L de água e dois sistemas de regulação: um, para pressurização do líquido, e outro, para regular o seu fluxo de saída. Num primeiro ensaio, os bicos foram calibrados para operar numa vazão de 60 mL/min, e os testes foram efetuados sob diferentes pressões de ar para pulverização (98, 196, 294 e 392 kPa) e diferentes voltagens de indução (500, 1.000, 1.500, 2.000, 2.500, 3.000, 3.500 e 4.000 volts). Para a medição do nível de carga, foi utilizada uma gaiola, confeccionada com tela metálica, que ficou posicionada a 5 cm de distância do bico em teste, sustentada por fios de náilon para manter um perfeito isolamento do solo. A gaiola foi aterrada, colocando no meio do circuito um multímetro analógico ICEL, modelo Sk 100, com escala de 0 a 12 microampéres, com sensibilidade para medir correntes da ordem de 0,2 μ A ou um microamperímetro ENGRO com escala de 0 a 50 microampéres com sensibilidade para 1 μ A. O microamperímetro ENGRO foi utilizado para medir as correntes elétricas que excediam o fundo de escala do multímetro. Mediu-se, desta forma, a descarga de eletricidade contida no jato de gotas.

A relação carga/massa foi obtida pela relação entre a corrente elétrica - Coulomb/segundo - e a quantidade da massa de líquido pulverizada - grama/segundo. Para os propósitos deste trabalho, considerou-se que um mililitro da água pulverizada tinha um peso equivalente a um grama.

Foi realizado outro teste com o bico B2, em que foram medidas as correntes elétricas em três regimes diferentes de vazão: 50, 60 e 74 mL/min.

Nos dois ensaios realizados, a vazão de líquido foi checada antes e depois de cada leitura de corrente elétrica. Em testes prévios para ajuste metodológico, detectou-se que, quando o bico era pré-ajustado sob determinadas condições de pressão de ar, vazão de líquido e tensão de indução, o nível de corrente elétrica do jato de gotas permanecia constante ou com pequenas alterações, na faixa de 0,2 microampéres. Mesmo assim, foram feitas três leituras de corrente elétrica em cada teste, e os resultados finais foram estabelecidos pela média entre os três valores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados comparativos dos dois bicos testados, submetidos a diferentes condições de pressão e tensão de indução. Observa-se que o bico B2 apresentou-se com aumento expressivo de intensidade de corrente elétrica do jato de gotas, em relação ao bico B1, comprovando a hipótese de que o aterramento tem grande influência no nível de cargas. A corrente elétrica proporcionada pelo sistema de indução utilizado no bico B1 apresenta uma correlação positiva com a pressão em praticamente todas as tensões de trabalho. Esse efeito não é observado em B2, pois a partir de 2.500 V os níveis de corrente se estabilizam em 15 μ A para as pressões intermediárias.

TABELA 1. Intensidade de corrente elétrica em jatos de gotas, obtidas com protótipos de bicos eletrostáticos com dois diferentes sistemas de aterramento de líquido¹.

| Tensão (V) | Pressão de ar (kPa) | | | | | | | |
|---------------|---------------------------------|-----|------|------|---------------------------------|------|------|------|
| | 98 | 196 | 294 | 392 | 98 | 196 | 294 | 392 |
| | -----Bico B1 ² ----- | | | | -----Bico B2 ² ----- | | | |
| 500 | 2,6 | 3,2 | 3,4 | 5,2 | 5,6 | 3,8 | 2,6 | 3,4 |
| 1000 | 4,6 | 6,0 | 7,0 | 10,0 | 6,6 | 7,6 | 5,8 | 6,0 |
| 1500 | 5,4 | 7,4 | 9,8 | 12,5 | 8,4 | 11,2 | 9,0 | 10,0 |
| 2000 | 5,6 | 7,6 | 11,2 | 14,0 | 9,0 | 15,0 | 11,8 | 15,0 |
| 2500 | 5,6 | 7,6 | 11,8 | 15,0 | 9,0 | 15,0 | 15,0 | 18,0 |
| 3000 | 5,8 | 7,6 | 12,0 | 16,0 | 9,0 | 15,0 | 15,0 | 20,0 |
| 3500 | 5,4 | 7,6 | 11,2 | 15,0 | 9,0 | 15,0 | 15,0 | 22,0 |
| 4000 | 5,2 | 7,4 | 11,2 | 12,5 | 8,6 | 15,0 | 15,0 | 20,0 |

¹ Vazão = 60 mL/min.

² Corrente elétrica expressa em μA .

O sistema de indução proporcionado nesses bicos apresenta uma semelhança muito grande com o processo dos capacitores coaxiais, onde, no caso do bico B1, o jato do líquido se comporta como o condutor central. Nesse caso, o nível de carga das gotas produzidas pelo processo de indução depende muito da intensidade do campo elétrico proporcionado pelo eletrodo de indução, e das características físico-químicas do líquido. Segundo Law (1978), a condutividade e a permitividade do líquido são parâmetros de extrema importância, pois a relação entre eles fornece a constante de tempo de transferência de carga $\tau = \epsilon / \sigma$, onde τ é a constante de transferência de carga em segundos; ϵ é a permitividade do líquido ($\text{C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$); e σ é a condutividade do líquido (mho/m). Em termos de constante dielétrica k e resistividade ρ ($\text{ohm}\cdot\text{m}$), esse tempo fica: $\tau = k \cdot \rho / \epsilon_0$, onde ϵ_0 é a permitividade do ar $\cong 8,85 \cdot 10^{-12}$ ($\text{C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$). No bico B2, a distância do ponto do aterramento até a zona de formação de gotas é muito pequena ou quase inexistente nas pressões mais altas, o que minimiza a influência da resistividade do líquido.

No caso de B1, observa-se que os elétrons têm que se deslocar desde o eletrodo de aterramento até a zona de formação das gotas, através do líquido (Fig. 1). Neste caso, o líquido se torna um pequeno condutor cilíndrico, com alguns milímetros de comprimento por um milímetro de diâmetro. A fórmula da resistência de um condutor homogêneo de seção constante é $r = \rho l / s$, onde r é a resistência (ohm); ρ é a resistividade do material ($\text{ohm}\cdot\text{m}$); l é o comprimento (m); e s é a seção transversal (m^2). Por esta fórmula, pode-se concluir que, se houver uma diminuição da distância entre o ponto de aterramento de líquido e o ponto de formação das gotas/indução, as gotas produzidas poderão apresentar maiores níveis de carga, pois a resistência será menor. Por outro lado, é discutível a necessidade de se colocar um eletrodo para aterrar o líquido dentro do corpo metálico do bico, pois, como o corpo é melhor condutor do que o líquido, os elétrons só se deslocarão no líquido depois da sua emergência do orifício do corpo metálico. Entretanto, o líquido emerge por um orifício em uma região pontiaguda e metálica, e isso, conforme a tensão aplicada, favorece o aparecimento de um campo de ionização entre a ponta metálica do bico e o eletrodo de indução, por efeito corona. Dessa forma, como a ponta do corpo metálico do bico B1 situa-se a 1,78 mm de distância do eletrodo de indução, o campo eletrostático mais intenso pode não estar ocorrendo inteiramente com o líquido. Isso só seria possível se o corpo do bico por onde passa o líquido fosse construído com material isolante como o utilizado no bico B2.

No caso de B2, o eletrodo de indução foi construído com um diâmetro interno maior, proporcionando, desta forma, uma proteção em relação à turbulência do ar criada com a pulverização (Fig. 2). O eletrodo de aterramento do líquido do bico B2 foi projetado para aproveitar um fenômeno peculiar das cargas - efeito de acúmulo nas pontas - muito explorado na confecção de pára-raios. Esse dispositivo é estrategicamente posicionado, de tal maneira que sua ponta fique totalmente envolvida com o líquido, a uma pequena distância do eletrodo de indução. Desta forma, as cargas migram com maior intensidade para a superfície do líquido, e, conseqüentemente, para as gotas.

Na Tabela 2, são apresentados resultados das correntes elétricas obtidas no jato de gotas quando o bico B2 foi submetido a diferentes condições de pressão, vazão e voltagem. Apesar de ter sido usada nos testes para atender uma curiosidade científica, as pressões acima de 294 kPa não são adequadas para o uso prático, pois o consumo de ar se torna muito elevado, e isso obrigaria a utilização de compressores com reservatórios de ar de grande capacidade para alimentar os bicos de uma barra de pulverização. Nesse contexto, o desempenho ótimo, em termos de corrente elétrica do jato de gotas, e a sua relação com a utilização operacional do bico, é conseguido com 2.000 V de indução, 196 kPa de pressão de ar, e 60 mL/m de vazão, onde ele atinge 15 μ A.

A Tabela 3 apresenta a relação carga/massa para diferentes vazões, pressões e voltagens, e pode ser observado que o bico B2, trabalhando com vazão de 60 mL/min, 196 kPa de pressão, e apenas 2.000 V de tensão de indução, produz jato de gotas com nível de carga de 15 μ C/g. Para efeito de comparação, Carroz & Keller (1978) obtiveram relação c/m de 5,6 μ C/g, com voltagem de indução de 30.000 V em bicos hidráulicos; Law (1978) obteve relação c/m na ordem de 4,8 μ C/g com 2.000 V de voltagem de indução e aproximadamente 294 kPa de pressão de ar; Carlton & Bouse (1980) obtiveram 20 μ C/g usando voltagem de indução de 7.000 V, e Marchant (1985) obteve relação c/m com valores próximos a 1 μ C/g utilizando voltagem de indução de 4.000 V.

O bico B2 proporcionou níveis de carga extremamente elevados com voltagens de indução muito inferiores às utilizadas por outros pesquisadores. O protótipo produziu jatos com nível de carga de 22 μ C/g com pressão de 392 kPa, e tensão de indução de 3.500 V, sendo este nível comparável ao obtido por Carlton & Bouse (1980), com a ressalva de que esses pesquisadores obtiveram o nível de carga elevado, provavelmente porque mantiveram o bico num túnel de vento com ar numa velocidade de 177 km/h. De acordo com o projeto descrito por esses autores, o bico só poderia funcionar se fosse mantido num fluxo de ar, para evitar a deposição de gotas no eletrodo de indução.

De maneira semelhante à que tem sido feita pela maioria dos pesquisadores de outros países, os resultados deste trabalho foram obtidos com a pulverização de água. Entretanto, são necessários novos estudos para se quantificar o nível de carga que seria proporcionado para outros líquidos com menor condutividade elétrica, como óleos ou outros produtos que pudessem servir como veículos não evaporáveis para as caldas de pulverização.

TABELA 2. Nível de corrente elétrica obtido no jato de gotas, com o bico B2 submetido a diferentes condições de vazão, pressão de ar e tensão de indução¹.

| Tensão de indução (V) | Vazão (mL/min) | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|------|------|---------------------|------|------|---------------------|------|------|
| | 50 | | | 60 | | | 74 | | |
| | Pressão de ar (kPa) | | | Pressão de ar (kPa) | | | Pressão de ar (kPa) | | |
| | 196 | 294 | 392 | 196 | 294 | 392 | 196 | 294 | 392 |
| 500 | 5,0 | 5,4 | 2,0 | 3,8 | 2,6 | 3,4 | 1,6 | 2,0 | 2,0 |
| 1.000 | 6,2 | 6,0 | 4,0 | 7,6 | 5,8 | 6,0 | 4,0 | 5,0 | 4,8 |
| 1.500 | 10,0 | 8,6 | 6,8 | 11,2 | 9,0 | 10,0 | 7,0 | 8,6 | 8,0 |
| 2.000 | 13,0 | 11,6 | 7,4 | 15,0 | 11,8 | 15,0 | 9,6 | 11,8 | 10,8 |
| 2.500 | 14,0 | 15,0 | 9,8 | 15,0 | 15,0 | 18,0 | 15,0 | 14,0 | 14,0 |
| 3.000 | 14,0 | 15,0 | 14,0 | 15,0 | 15,0 | 20,0 | 15,0 | 16,0 | 15,0 |
| 3.500 | 14,0 | 15,0 | 14,0 | 15,0 | 15,0 | 22,0 | 15,0 | 19,0 | 18,0 |
| 4.000 | 14,0 | 14,0 | 14,0 | 15,0 | 15,0 | 20,0 | 14,0 | 19,0 | 20,0 |

¹ Corrente elétrica expressa em μ A.

TABELA 3. Nível de carga obtido no jato de gotas com o bico B2 sob diferentes condições de pressão de ar, vazão e tensão de indução¹.

| Tensão de Indução (V) | Vazão (mL/min) | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|------|------|---------------------|------|------|---------------------|------|------|
| | 50 | | | 60 | | | 74 | | |
| | Pressão de ar (kPa) | | | Pressão de ar (kPa) | | | Pressão de ar (kPa) | | |
| | 196 | 294 | 392 | 196 | 294 | 392 | 196 | 294 | 392 |
| 500 | 6,0 | 6,5 | 2,4 | 3,6 | 2,6 | 3,4 | 1,3 | 1,6 | 1,6 |
| 1.000 | 7,5 | 7,2 | 4,8 | 7,6 | 5,8 | 6,0 | 3,2 | 4,1 | 3,9 |
| 1.500 | 12,0 | 10,3 | 8,2 | 11,2 | 9,0 | 10,0 | 5,7 | 7,0 | 6,5 |
| 2.000 | 15,6 | 13,9 | 8,8 | 15,0 | 11,8 | 15,0 | 7,8 | 9,6 | 8,8 |
| 2.500 | 16,8 | 18,0 | 11,8 | 15,0 | 15,0 | 18,0 | 12,2 | 11,5 | 11,4 |
| 3.000 | 16,8 | 18,0 | 16,8 | 15,0 | 15,0 | 20,0 | 12,2 | 12,2 | 12,2 |
| 3.500 | 16,8 | 18,0 | 16,8 | 15,0 | 15,0 | 22,0 | 12,2 | 14,4 | 14,6 |
| 4.000 | 16,8 | 18,0 | 16,8 | 15,0 | 15,0 | 20,0 | 11,4 | 15,4 | 16,2 |

¹ Valores de carga expresso em $\mu\text{C/g}$.

CONCLUSÕES

1. A técnica de aterramento do líquido afeta o nível de carga de gotas produzidas pelo processo de indução eletrostática.
2. Gotas com alto nível de carga elétrica podem ser obtidas através do processo de indução com tensões inferiores a 1.500 volts.
3. É recomendável que o corpo principal dos bicos que usam o processo de indução eletrostática seja confeccionado com material não condutor.
4. Os bicos pneumáticos são os dispositivos que reúnem as melhores condições operacionais para uso do processo de indução eletrostática.

REFERÊNCIAS

- CARLTON, J.B.; BOUSE, L.F. Electrostatic spinner-nozzle for charging aerial sprays. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.6, p.1369-1377, 1980.
- CARROZ, J.W.; KELLER, P.N. Electrostatic induction parameters to attain maximum spray charge. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.21, n.1, p.63-69, 1978.
- CHAIM, A. **Desenvolvimento de um pulverizador eletrohidrodinâmico**: avaliação do seu comportamento na produção de gotas e controle de trips (*Enneothrips flavens* Moulton, 1951), em amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Jaboticabal: UNESP-FCAV, 1984. 107p. Tese de Mestrado.
- COFFEE, R.A. Electrodynamics crop spraying. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v.10, n.7, p.350-356, 1981.
- GRAHAM-BRYCE, I.J. Crop-protection: a consideration of effectiveness and disadvantages of current methods and the scope for improvement. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Series B, London, v.281, p.163-179, 1977.
- HIMEL, C.M. The optimum size for insecticide spray droplets. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.62, n.4, p.919-925, 1969.
- HIMEL, C.M.; MORE, A.D. Spray droplet size in control of spruce budworm, boll weevil, bollworm, and cabbage looper. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.62, n.4, p.916-918, 1969.
- HISLOP, F.C. Electrostatic ground-rig spraying: an overview. **Weed Technology**, North Dakota, v.2, n.1, p.94-104, 1988.

- LAW, S.E. Embedded-electrode electrostatic-induction spray nozzle: theoretical and engineering design. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.21, p.1096-1104, 1978.
- LAW, S.E.; BOWEN, H.D. Charging liquid by electrostatic induction. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.9, n.4, p.94-105, 1966.
- LAW, S.E.; COOPER, S.C. Induction charging characteristics of conductivity enhance vegetal-oil sprays. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.1, p.75-79, 1987.
- LAW, S.E.; LANE, M.D. Electrostatic deposition of pesticide spray onto foliar targets of varying morphology. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.6, p.1441-1445, 1981.
- MARCHANT, J.A. An electrostatic spinning disc atomiser. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.2, p.386-392, 1985.
- MARCHANT, J.A.; GREEN, R.A. An electrostatic charging system for hydraulic spray nozzles. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.27, p.386-392, 1982.
- McCARTNEY, H.A.; WOODHEAD, T. Electric-charge, image-charge forces and deposition of pesticide drops. **Pesticide Science**, Oxford, v.14, n.1, p.49-56, 1983.