

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE PULVERIZADOR ELETROHIDRODINÂMICO 1 — AVALIAÇÃO DO SEU COMPORTAMENTO NA PRODUÇÃO DE GOTAS*

Aldemir CHAIM**
Alpeu de ALMEIDA***
Tomomassa MATUO****

RESUMO: Foi desenvolvido um protótipo de pulverizador manual que produz gotas pelo processo eletrohidrodinâmico. O dispositivo pulverizador é constituído basicamente de um par de eletrodos, sendo um deles anular aterrado e o outro, o próprio bico, mantido em alta voltagem positiva (de 14 a 22 kV CC) por onde flui o líquido. Duas fontes de alta tensão, uma operando com bateria de 12 V (8 pilhas secas tipo "D"), gerando voltagem máxima de 20 kV e a outra, operando com bateria de 9 V (6 pilhas secas tipo "D"), gerando voltagem máxima de 22 kV, se mostraram satisfatórias para a pulverização eletrohidrodinâmica. A uniformidade das gotas produzidas pelo pulverizador foi excelente e o tamanho de gotas produzidas foi inversamente proporcional à voltagem aplicada. Líquidos de diferentes características físicas proporcionaram formação de gotas de tamanhos diferentes.

UNITERMOS: Pulverização eletrohidrodinâmica; pulverização eletrostática; gotas.

INTRODUÇÃO

O emprego de gotas pequenas e uniformes tem proporcionado melhores resultados no controle dos diversos problemas fitossanitários⁸. Entretanto, gotas pequenas possuem pouca energia cinética, o que faz com que a coleta pelos alvos seja reduzida e também a deriva seja bastante acentuada. Mas, é justamente na faixa de gotas pequenas que forças elétricas podem ser introduzidas em grandeza sufi-

ciente para controlar seus movimentos no ar.

Existem três princípios que podem ser utilizados para conferir cargas elétricas às gotas: a) Carga por efeito corona, onde um eletrodo pontiagudo mantido em alta tensão, produz um intenso campo elétrico nas suas proximidades, provocando a aceleração de elétrons livres presentes na região, que adquirem energia suficiente para causar a ionização das moléculas de gases presentes. Uma partícula atravessando

* Trabalho realizado com auxílio da FAPESP — Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

** Ex-aluno do Curso de Pós-Graduação em Agronomia — Produção Vegetal — Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias — UNESP — 14870 — Jaboticabal — SP.

*** Departamento de Ciências Exatas — Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias — UNESP — 14870 — Jaboticabal — SP.

**** Departamento de Defesa Fitossanitária — Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias — UNESP — 14870 — Jaboticabal — SP.

a região de íons unipolares adquire a carga, pelo choque dos íons com sua superfície⁷; b) Carga por contato, onde ocorre a transferência direta de carga, por condução, a um jato líquido e subsequentemente à gota, no instante de sua formação¹⁰; c) carga por indução, quando dois corpos são ligados nos terminais de uma fonte de alta tensão de corrente contínua, e as cargas positivas se acumulam no corpo mantido em potencial positivo, e as cargas negativas se acumulam no outro corpo. Se um dos corpos é um fluxo de líquido condutor, será acumulada carga sobre sua superfície, que será posteriormente levada com as gotas produzidas com o processo de pulverização¹³.

Dentre os aparelhos que produzem gotas carregadas, alguns utilizam a energia mecânica para a produção das gotas, e a carga pode ser conferida às gotas depois que elas já estão formadas, conforme os aparelhos descritos por HARREL *et alii*⁶ e MILLER¹⁴, ou a carga pode ser conferida ao líquido que, ao se romper, produz a gota eletrificada, conforme os aparelhos descritos por CARROZ & KELLER³, LAW¹⁰, ARNOLD & PYE¹, MARCHANT & GREEN¹³. Entretanto, alguns aparelhos não utilizam a energia mecânica para a produção de gotas, pois estas são formadas pela ação conjunta de uma força oriunda da presença da carga elétrica na superfície do líquido e da força de um intenso campo elétrico, conforme é descrito por MILLER¹⁴ e que SWATICK¹⁶ descreve como pulverização eletrohidrodinâmica da superfície do líquido. Segundo os autores, quando a superfície do líquido é submetida a um campo elétrico ela experimenta uma pressão externa devido a interação das forças do campo e das cargas presentes. Se esta pressão externa excede as forças internas da tensão superficial do líquido, a superfície se torna instável e se rompe para uma ou mais gotas com carga elétrica.

No processo de pulverização eletrohi-

drodinâmica, existe uma relação inversa entre a voltagem e o tamanho de gotas produzidas, isto é, à medida que se aumenta a voltagem, o tamanho das gotas diminui, se o líquido for mantido numa vazão constante^{4,14,16}. Mas o espectro das gotas produzidas é estreito¹⁴ com coeficientes de dispersão r (vmd/nmd) variando entre 1,03 a 1,30⁴.

Estudo da deposição de gotas eletricamente carregadas tem demonstrado que elas são mais eficientemente coletadas pelos alvos^{1,2,11,13} e alguns resultados biológicos comprovam esse fato^{10,12,15}. No presente trabalho foram estudadas as características das gotas produzidas por um protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico, desenvolvido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal — UNESP.

MATERIAL E MÉTODOS

O protótipo de pulverizador EHD se constituiu de uma fonte de alta tensão alimentada por bateria de corrente contínua (pilhas secas), um suporte para transporte manual, um depósito de plástico isolante com capacidade para um litro, um dispositivo pulverizador constituído basicamente de um par de eletrodos (Fig. 1). Um dos eletrodos é anular e o outro, o próprio bico, um cilindro de bronze com aspecto de um vazador, com comprimento de aproximadamente 82 mm e 21 mm de diâmetro, que permite o líquido emergir para a atmosfera, sob ação da gravidade, e formar um filme uniformemente distribuído por toda a circunferência de uma fresta anular nas bordas cortantes da ponta do bico. O eletrodo anular foi aterrado, isto é, mantido em zero volt e o bico foi mantido em alta voltagem em corrente contínua.

Foram desenvolvidas duas fontes de alta tensão que se constituíram basicamente, de bateria de alimentação, de um oscilador-transformador e um multiplicador-retificador.

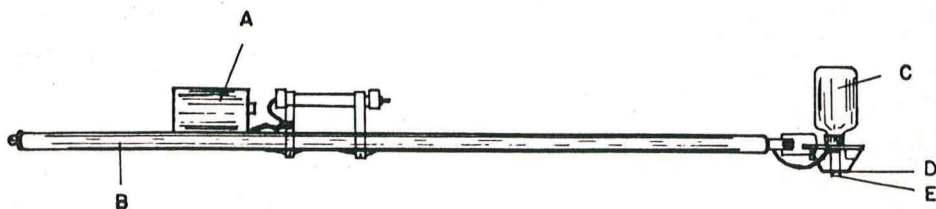


FIG. 1 — Esquema do protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico.

- A - Fonte de alta tensão;
- B - suporte para pilhas;
- C - frasco plástico de 1 litro;
- D - eletrodo anular;
- E - eletrodo cilíndrico.

Uma fonte de alta tensão, denominada de “fonte de alta tensão n.º 1”, operou com uma bateria de 12 V (8 pilhas secas tipo “D”), e a outra, denominada de “fonte de alta tensão n.º 2”, operou com uma bateria de 9 V (6 pilhas secas tipo “D”).

Montado numa base de acrílico, o dispositivo pulverizador constituiu-se de um bico eletrodo mantido em alta tensão positiva e um eletrodo anular aterrado, de raio bem maior que o bico, fixado concentricamente, num plano paralelo e acima a uma pequena distância, do plano da ponta do bico (Fig. 2).

O dispositivo pulverizador foi fixado a uma extremidade de um tubo de PVC, com diâmetro externo de 25 mm e comprimento de 1,5 m, contendo as pilhas. Na outra extremidade do cano de PVC, foi fixada a fonte de alta tensão, que ficou embutida numa caixa de acrílico. A conexão da fonte de alta tensão ao bico, foi feita com um fio especial para alta tensão, que ficou embutido dentro do cano de PVC. Um outro fio (cabo n.º 22) que fez a ligação entre a parte aterrada do circuito de alta tensão e o eletrodo circular teve uma extremidade descascada e arrastada sobre o solo.

Foram montados testes de laboratório para observar a influência da voltagem sobre o tamanho das gotas produzidas pelo protótipo. Em um teste preliminar, foi

utilizada uma formulação de Decis UBV (Hoechst) a uma vazão de 2,5 ml/m e as observações foram feitas a 14 kV, 17kV e 20kV, obtidas com a fonte de alta tensão n.º 1. No teste principal, utilizou-se como líquido teste o óleo mineral para pulverização agrícola (Shell spray oil n.º 3), numa vazão de 3 ml/min. As observações foram efetuadas a 14 kV, 16kV, 18kV, 20kV e 22kV, voltagens estas obtidas com a fonte de alta tensão n.º 2. As altas voltagens foram medidas com o voltímetro Leader LHM-80A. As gotas foram amostradas em lâmina de microscópio revestida por uma camada de óxido de magnésio, colocadas a 40 cm abaixo do pulverizador. As determinações dos diâmetros das gotas foram efetuadas por meio de microscópio acoplado a um analisador de imagens Fleming. Através do papel gráfico (probabilidade $\times \log 2$) determinou-se o valor do vmd (diâmetro mediano volumétrico) e nmd (diâmetro mediano numérico).

Foram efetuadas algumas observações sobre a influência das características físicas dos líquidos na formação das gotas (Tabela 1).

Tais características foram determinadas valendo-se de um Reo-viscosímetro Hoppler MLW, a 25°C. Não sendo possível medir diretamente a condutividade dos líquidos, optou-se pela medida da tensão máxima de isolamento destes liqui-

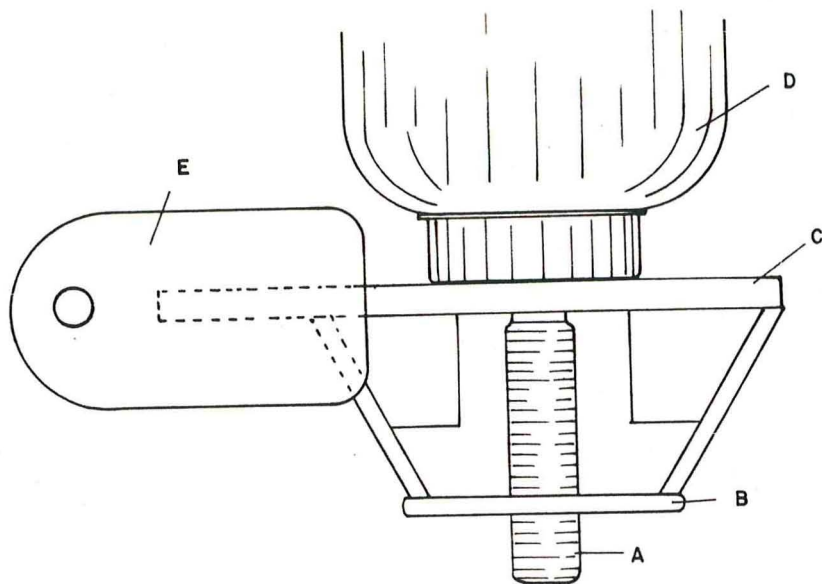


FIG. 2 — Esquema do dispositivo pulverizador.

- A - bico pulverizador;
- B - eletrodo anular (aterrado);
- C - base de acrílico;
- D - frasco;
- E - suporte.

dos quando colocados em recipiente onde dois eletrodos podiam ser afastados através de parafuso micrométrico. A vazão foi calibrada em 3 ml/min para cada líquido testado, e a fonte de alta tensão n.º 2 foi regulada em 22 kV. A amostragem e determinação do tamanho das gotas foram feitas conforme descritas anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as aplicações práticas a que se destina, a fonte de alta tensão deve possuir algumas características, tais como: (a) robustez e durabilidade; (b) segurança; (c) trabalhar por longos períodos sem interrupções; (d) funcionar com pilhas comuns ou bateria de trator; (e) baixo consumo; (f) baixo custo; (g) ser compacta; (h) possibilidade de regulação externa da

voltagem entre 12 kV a 30 kV; (i) gerar voltagem, em corrente contínua, estável (ser bem regulada).

A fonte n.º 1 apresenta razoável robustez, mas a voltagem máxima obtida foi de 20 kV. Devido às variações na frequência de oscilação, ela se mostrou bastante instável nas voltagens geradas, exigindo regulagens constantes a cada momento de pulverização. A drenagem de corrente das pilhas pela fonte girou em torno de 300 mA. Supondo teoricamente uma conversão de 100% da energia devido à corrente drenada, a intensidade máxima de corrente de alta tensão gerada (20 kV) seria de 180 μ A, ou seja, a fonte teria uma potência máxima de 3,6 Watts. MARCHANT & GREEN¹³, citando um trabalho da Comissão Eletrotécnica Internacional (1974), informam que não ocorre normalmente nenhum efeito, quando uma alta

TABELA 1 — Algumas características físicas dos diversos líquidos testados.

Líquidos	ρ (kg/m ³)	η (N.S/m ²)	P (N/m)	σ (N/m)	Ruptura Dielétrica (V/m)
Óleo Vegetal-Natural Oil (Arbore)	0,897	54,1	4,0	80x10 ⁻³	6x10 ⁶
Óleo Mineral-Spray Oil n.º 3 (Shell)	0,860	31,9	3,0	72x10 ⁻³	19x10 ⁶
Óleo Mineral 75% + Xilol 25%	0,850	11,6	1,6	44x10 ⁻³	18x10 ⁶
Óleo Mineral 50% + Xilol 50%	0,853	11,2	2,0	53x10 ⁻³	17x10 ⁶
Solvente-SULV (Philips-Duphar)	0,907	31,2	2,6	70x10 ⁻³	6x10 ⁶
Decis UBV 0,5% (Roussel-Uclaf)	0,846	16,1	2,0	71x10 ⁻³	22x10 ⁶
Decis UBV 0,4% (Hoechst)	0,898	36,8	2,8	70x10 ⁻³	11x10 ⁶

onde: ρ = massa específica média
 η = viscosidade dinâmica média
 P = esforço tangencial médio
 σ = tensão superficial média

voltagem em corrente contínua menor que 2 mA for mantida em adultos, ainda que por longos períodos. Em correntes menores que 40 mA mantidas por 2 segundos, não há perigo de danos fisiopatológicos e em correntes maiores que 300 mA, mantidas por 2 segundos, existem 50% de probabilidade de fibrilação no coração de cachorros. Assim, o protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico, operando com uma voltagem de 20 kV e corrente de 180 μ A, se enquadra dentro dos limites de segurança, não havendo perigo para o operador.

A fonte de alta tensão n.º 2, funcionando com 6 pilhas comuns, teve uma drenagem de 200 mA de corrente para gerar 20 kV. Assim, sua potência teórica máxima seria de 1,8 W, e a corrente teórica máxima na saída de alta tensão seria de 90 μ A, se a conversão da energia drenada

fosse de 100%. Esta fonte gerou voltagens que variam de 14 kV a 26 kV. Estas voltagens mais elevadas foram conseguidas graças ao desenvolvimento do multiplicador em cascata ou gerador de Greinacher, que multiplicou por 9 a alta voltagem obtida com o circuito oscilador-transformador.

Segundo COFFEE⁵, a energia consumida por um pulverizador eletrohidrodinâmico para pulverizar líquido em uma vazão de 6 ml/min, gira em torno de 18 mW, com uma taxa de deslocamento de carga da ordem de 0,7 μ A. Assim, tanto a fonte de alta tensão n.º 1 como a fonte de alta tensão n.º 2, têm potência mais do que a necessária para pulverizar o líquido, podendo até ser reduzida, para consumir menos energia da bateria.

Os resultados das determinações dos tamanhos das gotas produzidas (Fig. 3),

TABELA 2 — Tamanho e uniformidade das gotas produzidas pelo protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico com deltamethrin (Decis UBV 0,4% — Hoechst). (Teste preliminar, janeiro de 1983).

Voltagem (kV)	vmd (μ m)	nmd (μ m)	r*
14	97,0	80,0	1,21
17	80,0	65,0	1,23
20	44,5	41,0	1,09

* Coeficiente de dispersão: $r = vmd/nmd$.



FIG. 3 — Formação dos ligamentos líquidos que se rompem em gotas, do protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico.

em diferentes voltagens, são apresentados na Tabela 2, para o teste conduzido com a fonte de alta voltagem n.º 1 e um eletrodo anular aterrado, com 80 mm de diâmetro interno. Verifica-se que à medida que se aumenta a voltagem, o tamanho das gotas produzidas diminui, fato que confirma os dados já conhecidos na literatura ^{4, 5, 14, 16}.

A Tabela 3 mostra a influência da variação da voltagem e do diâmetro interno de eletrodo anular na produção das gotas num ensaio conduzido em março de 1984. Neste segundo ensaio utilizou-se a fonte de alta tensão n.º 2 e vazão de 3 ml/min.

Apesar dos líquidos testados serem di-

ferentes (Decis UBV 0,4% para o primeiro ensaio e óleo mineral para o segundo ensaio) o coeficiente de dispersão r (vmd/nmd), que é empregado para expressar o grau de uniformidade de uma amostra de gotas, foi muito próximo de 1,00, indicando que as gotas apresentam excelente uniformidade. O coeficiente r igual a 1,00, significa uniformidade absoluta, e caracteriza o que se chama de pulverização monodispersa (“monodisperse spray”), relação esta nunca conseguida por pulverizadores existentes, mesmo com os experimentais.

O protótipo desenvolvido produziu

TABELA 3 — Tamanho e uniformidade das gotas produzidas pelo protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico, com óleo mineral (Shell spray oil n.º 3). (Teste principal, março de 1984).

Voltagem (Kv)	Eletrodo anular de 70mm de diâmetro interno			Eletrodo anular de 80mm de diâmetro interno		
	vmd (µm)	nmd (µm)	r *	vmd (µm)	nmd (µm)	r *
14	140	125	1,12	—	—	—
16	100	91	1,10	—	—	—
18	78	72	1,08	94	86	1,09
20	75	70	1,08	85	78	1,09
22	—	—	—	68	65	1,05

* Coeficiente de dispersão: $r = \text{vmd}/\text{nmd}$.

população de gotas com coeficiente de dispersão r de 1,21 no ensaio preliminar já a 14 kV, com um eletrodo anular aterrado de 80mm de diâmetro interno, portanto, bastante uniformes. Entretanto no ensaio principal a 14 kV e com um eletrodo anular de menor diâmetro (70mm), o coeficiente de dispersão foi menor (1,12).

Na Tabela 3 pode ser observada a influência do diâmetro interno do eletrodo anular no tamanho das gotas produzidas. Para uma mesma voltagem, o eletrodo anular de menor diâmetro provoca a produção de gotas menores que o eletrodo de maior diâmetro. Isto pode ser explicado, pelo fato de que o campo elétrico produzido, quando se utiliza um eletrodo de menor diâmetro é maior que o campo elétrico produzido quando se utiliza um eletrodo de maior diâmetro para uma mesma voltagem de trabalho.

De qualquer forma, os coeficientes de dispersão r conseguidos pelo pulverizador

eletrohidrodinâmico, raramente são alcançados com os pulverizadores de disco-rotativo, hoje considerados como aqueles capazes de produzir as gotas mais uniformes, dentre os pulverizadores comercialmente disponíveis. Para se ter uma idéia deste parâmetro, basta citar que todo o processo de pulverização capaz de fornecer gotas cujo coeficiente de dispersão (r) seja inferior a 1,4 é denominada de CDA (controlled droplet application)⁹, servindo para definir um sistema de aplicação. O coeficiente ($r = 1,05$) conseguido pelo protótipo a 22 kV, no ensaio final, se enquadra como um dos índices mais baixos conseguidos até hoje por qualquer pulverizador, podendo, pois, considerar que as gotas produzidas pelo processo eletrohidrodinâmico são de extrema uniformidade.

Na Tabela 4 podem ser vistos os resultados das determinações do tamanho das gotas produzidas pelo equipamento ele-

TABELA 4 — Tamanho e uniformidade das gotas produzidas pelo protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico aplicando a mistura de óleo mineral (Shell spray oil n.º 3) e xilol em diferentes proporções.

Mistura	vmd (µm)	nmd (µm)	r*
Óleo mineral 100%	126	96	1,37
Óleo mineral 75% + xilol 25%	110	90	1,22
Óleo mineral 50% + xilol 50%	58	46	1,26

* Coeficiente de dispersão: $r = \text{vmd}/\text{nmd}$.

TABELA 5 — Tamanho e uniformidade das gotas produzidas pelo protótipo do pulverizador eletrohidrodinâmico aplicando líquidos de diferentes características físicas (22 kV - eletrodo anular de 80mm).

Líquidos testados	vmd (μm)	nmd (μm)	r*
Óleo vegetal - Natur'l oil (Arbore)	135	55	2,45
Óleo mineral - spray oil n.º 3 (Shell)	68	66	1,03
Óleo mineral 75% + xilol 25%	41	38	1,08
Óleo mineral 50% + xilol 50%	34	32	1,06
Solvente - Sulv (Philips - Duphar)	28	26	1,08
Decis UBV 0,5% (Roussel - Uclaf)	74	69	1,07
Decis UBV 0,4% (Hoechst)	105	96	1,09

* Coeficiente de dispersão: $r = \text{vmd}/\text{nmd}$.

trohidrodinâmico, aplicando mistura de óleo mineral e xilol em diferentes proporções. Nota-se que à medida que se aumenta a proporção de xilol na mistura, o tamanho das gotas vai diminuindo. Este fato mostra que as características físicas do líquido têm importância muito grande na formação de gotas, confirmando, portanto, as afirmações de MILLER¹⁴ e COFFEE⁴. A viscosidade, tensão superficial, condutividade térmica e outras propriedades físicas são importantes fatores que influenciam a formação de gotas pelo processo eletrohidrodinâmico.

A Tabela 5 mostra o tamanho e uniformidade das gotas produzidas com líquidos diferentes, inclusive duas formulações UBV de deltamethrin, formulado com veículos líquidos diferentes. O óleo vegetal não foi tão bom quanto os outros testados, entretanto, é provável que a adição de algum aditivo possa melhorar as suas características físicas para adequá-lo à pulverização eletrohidrodinâmica. Com o Decis UBV 0,4% Hoeschst, foram pro-

duzidas gotas maiores que o Decis UBV 0,5% Roussel-Uclaf. O solvente SULV Philips - Duphar proporcionou a formação das menores gotas.

CONCLUSÕES

a) O protótipo do pulverizador eletrohidrodinâmico comportou-se satisfatoriamente na produção de gotas, gerando gotas de extrema uniformidade.

b) O tamanho de gotas produzidas com um mesmo líquido, em um mesmo regime de vazão, foi inversamente proporcional à voltagem aplicada ao bico pulverizador.

c) Líquidos com características físicas diversas produziram gotas de diferentes tamanhos.

AGRADECIMENTOS

Ao técnico-agrícola GILSON JOSÉ LEITE pelo auxílio nos trabalhos de laboratório e campo.

CHAIM, A. *et alii* — Development of a prototype of electrohydrodynamic sprayer. 1- Evaluation of droplet formation. *Científica*, São Paulo, 13 (1/2): 99-107, 1985.

ABSTRACT: A prototype of an electrohydrodynamic hand sprayer was developed. The spray device was basically assembled with a pair of electrodes, one of them grounded anular electrode and another, the nozzle itself, maintained at high positive voltage (17 kV up to 22 kV dc) where the liquid flew by gravity. Two high voltage sources, one operating with 12 V battery (8 "D" type dry batteries) generating 20 kV maximum voltage and another source, operating with a 9 V battery (6 "D" type dry batteries) generating 22 kV maximum voltage, performed fairly well. The uniformity of droplets produced by the prototype was excellent and the droplet size was inversely correlated to the voltage applied. Liquids with different physical properties produced droplets of different sizes.

KEY-WORDS: Electrohydrodynamic spray; electrostatic spray; droplets.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARNOLD, A.J. & PYE, B.J. — Spray application with charged rotary atomizers. In: *SPRAYING SYSTEMS FOR THE 1980's*. Surrey, 1980. Croydon. BCPC, 1980. p. 109-17.
2. CARLTON, J.B. & BOUSE, L.F. — Electrostatic spinner-nozzle for charging aerial sprays. *Trans. ASAE*, 22(6):1369-73, 1980.
3. CARROZ, J.W. & KELLER, P.N. — Electrostatic induction parameters to attain maximum spray charge. *Trans. ASAE*, 21(1):63-9, 1978.
4. COFFEE, R.A. — Electrodynamics energy; a new approach to pesticide application. In: *BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE: PESTS AND DISEASES*. Brighton, 1979. Croydon. BCPC, 1979. p. 777-89.
5. COFFEE, R.A. — Electrodynamics crop spraying. *Outl. Agric.*, 10(7):350-6, 1981.
6. HARRELL, E.A.; YOUNG, J.R.; BOWMAN, N.C. & HARE, W.W. — Insect control and residues in sweet corn using ground equipment for treating with low-volume formulations. *J. econ. Ent.*, 60(4):988-91, 1967.
7. HENDRICKS, C.D. — Charging macroscopic particles. In: MOORE, A.D. — *Electrostatic and its applications*. New York, Wiley, 1973. p. 57-85.
8. HIMEL, C.M. — The optimum size for insecticides spray droplet. *J. econ. Ent.*, 62(4):919-25, 1969.
9. JOHNSTONE, D.R. — Statistical description of spray drop size for controlled drop application. In: *SYMPOSIUM ON CONTROLLED DROP APPLICATION*, 1978. Reading. Croydon. BCPC, 1978. p. 7-21.
10. LAW, S.E. — Embedded-electrode electrostatic-induction spray-charging nozzle: theoretical and engineering design. *Trans. ASAE*, 21(6):1096-104, 1978.
11. LAW, S.E. — Spatial distribution of electrostatically deposited sprays on living plants. *J. econ. Ent.*, 75(3):542-4, 1982.
12. MANLEY, D.G. — Use of an electrostatic sprayer for cotton insect control. *J. econ. Ent.*, 75(4):655-6, 1982.
13. MARCHANT, J.A. & GREEN, R. An electrostatic charging system for hydraulic spray nozzles. *J. agric. Engng. Res.*, 27:309-19, 1982.
14. MILLER, E.P. — Electrostatic coating. In: MOORE, A.D. — *Electrostatics and its applications*. New York, Wiley, 1973. p. 250-306.
15. MORTON, N. — The "Electrodyn" sprayer, control of *Heliothis* spp in cotton. In: *BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE: PESTS AND DISEASES*, Brighton, 1981. Croydon. BCPC, 1981. p. 891-901.
16. SWATICK, D.S. — Nonimpact printing. In: MOORE, A.D. — *Electrostatic and its applications*. New York, Wiley, 1973. p. 307-35.