

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Tailine Halberstadt

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO:
UMA ANÁLISE SOBRE A ELETROSTÁTICA**

Santa Maria, RS
2023

Tailine Halberstadt

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO:
UMA ANÁLISE SOBRE A ELETROSTÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agricultura de Precisão do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção ao grau de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luis Santi.

Santa Maria, RS
2023

Halberstadt, Tailine
TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO: UMA ANÁLISE SOBRE A
ELETROSTÁTICA / Tailine Halberstadt.- 2023.
52 p.; 30 cm

Orientadora: Antônio Luis Santi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2023

1. EVOLUÇÃO DA PULVERIZAÇÃO 2. ELETROSTÁTICA E
APLICABILIDADES 3. TÉCNICAS PARA VERIFICAÇÃO DO
ELETROSTÁTICO 4. RESULTADOS TSBJet I. Santi, Antônio Luis
II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, TAILINE HALBERSTADT, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Tailine Halberstadt

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO:
UMA ANÁLISE SOBRE A ELETROSTÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agricultura de Precisão do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção ao grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovada em 03 de março de 2023:

Antônio Luis Santi, Dr. (UFSM)
Presidente/Orientador
(videoconferência)

Gilvan Moisés Bertollo, Dr. (UFSM-FW)
(videoconferência)

André Luis Vian, Dr. (UFRGS)
(videoconferência)

Santa Maria, RS
2023

Dedico esse trabalho ao meu pai, Nélio Adolfo Halberstadt (in memoriam), à minha mãe, Margarida Redin Halberstadt e ao meu irmão, Tainan Halberstadt.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de viver, ter saúde e estar realizando mais um objetivo.

À minha família, meu pai Nélio Adolfo Halberstadt (*in memoriam*), a minha mãe Margarida Redin Halberstadt e ao meu irmão Tainan Halberstadt, por todo apoio, força, compreensão e afeto.

Ao meu namorado pelo companheirismo e apoio.

Aos amigos e demais familiares, os quais compreenderam minha ausência no decorrer deste trabalho.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós Graduação em Agricultura de Precisão por me permitir conquistar mais esse título.

Ao Prof. Dr. Antônio Luis Santi, pela orientação.

Aos colegas, pelo vínculo e exemplos de superação em cada individualidade, que estão em busca da mesma realização pessoal e profissional.

Te vira!

RESUMO

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO: UMA ANÁLISE SOBRE A ELETROSTÁTICA

AUTORA: Eng.^a Agr.^a Tailine Halberstadt

ORIENTADOR: Dr. Antônio Luis Santi

A agricultura tem demandado o desenvolvimento de tecnologias para o aprimoramento dos processos em busca de maior qualidade e rentabilidade das culturas agrícolas, melhor desempenho no campo, sendo economicamente viável e segura, nesse sentido a pulverização eletrostática tem possibilitado maior eficiência das aplicações fitossanitárias. Objetivou-se com este trabalho, apresentar uma revisão sistemática sobre o assunto ainda pouco difundido, bem como uma análise com estudos de caso realizados com a tecnologia de pulverização eletrostática TSBJet® na região central do Rio Grande do Sul. A tecnologia foi instalada em pulverizadores de barra, isolando-se um lado da barra, de modo que se mantinha a aplicação convencional, a fim de avaliar da melhor forma possível a realidade da aplicação no comparativo entre ambos. Para isso foi utilizado papéis hidrossensíveis (Syngenta®) distribuídos no solo, estrato inferior, médio e superior da planta, posteriormente lidos e interpretados pelo equipamento DropScope®. Os resultados demonstraram que a tecnologia melhorou a cobertura de gotas nos três estratos da planta, o que desmistifica o fenômeno chamado de “efeito antena” em que as gotas com carga eletrostática permanecem apenas no estrato superior. Além disso, possibilita redução da deriva, maior segurança ambiental e melhor desempenho dos defensivos agrícolas utilizados especialmente na proteção de plantas, constatações que corroboram com o referencial teórico apresentado.

Palavras-chave: Tecnologia de Aplicação. Pulverização. Pulverização Eletrostática.

ABSTRACT

APPLICATION TECHNOLOGY: A ANALYSIS ON ELECTROSTATICS

AUTHOR: Tailine Halberstadt
ADVISOR: Dr. Antônio Luis Santi

Agriculture has demanded the development of technologies to improve processes in search of greater quality and profitability of agricultural crops, better performance in the field, being economically viable and safe, in this sense electrostatic spraying has enabled greater efficiency in phytosanitary applications. The objective of this work was to present a systematic review on the subject, which is still not very widespread, as well as a analysis with case studies carried out with the TSBJet® electrostatic spraying technology in the central region of Rio Grande do Sul. The technology was installed in boom sprayers, isolating one side of the boom, so that the conventional application was maintained, in order to better assess the reality of the application in the comparison between both. For this purpose, hydrosensitive papers (Syngenta®) were distributed in the soil, lower, middle and upper stratum of the plant, subsequently read and interpreted by the DropScope® equipment. The results showed that the technology improved the coverage of drops in the three strata of the plant, which demystifies the phenomenon called “antenna effect” in which drops with an electrostatic charge remain only in the upper stratum. In addition, it enables drift reduction, greater environmental safety and better performance of agricultural pesticides used especially in plant protection, findings that corroborate the theoretical framework presented.

Keywords: Application Technology. Spraying. Electrostatic Spraying.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Representação das cargas eletrostáticas em repulsão e atração.....	19
FIGURA 2 - Parâmetros de densidade de gotas/cm ² aconselhados para tratamentos fitossanitários.....	22
FIGURA 3 - Demonstrativo de distribuição de gotas com Pulverização Eletrostática e Pulverização Convencional.....	23
FIGURA 4 - Equipamento Electrostatic Agro Spray System.....	26
FIGURA 5 - Equipamento Spectrum.....	27
FIGURA 6 - Equipamento eletrostático da ESS.....	27
FIGURA 7 – Sistema eletrostático TSBJet.....	28
FIGURA 8 - Sistema eletrostático (Travicar) para pulverizador de barra (A) e axial (B).....	29
FIGURA 9 - Módulos de controle e módulo de potência (A); módulos indutores instalados ao lado do suporte de pontas (B).....	30
FIGURA 10 - Módulo indutor representativo na barra de pulverização em suporte trijet.....	30
FIGURA 11 - Comparativo de aplicação convencional (lado esquerdo) <i>versus</i> aplicação com tecnologia de pulverização eletrostática TSBJet (lado direito).....	31
FIGURA 12 - Teste com concentração de água e sal sobre o módulo indutor TSBJet (A); papel hidrossensível disposto ao lado do jato (B); papel hidrossensível com deposição de gotas após molhamento do módulo indutor (C).....	32
FIGURA 13 - Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 55 L. ha ⁻¹ e ponta de pulverização MAG 1.....	35
FIGURA 14 - Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 85 L. ha ⁻¹ e ponta de pulverização ATR 3.0.....	37

FIGURA 15 - Ilustração da densidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 75 L. ha ⁻¹ e ponta de pulverização TXA8001.....	39
FIGURA 16 - Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 77 L. ha ⁻¹ e ponta de pulverização TXA8001.....	41
FIGURA 17 - Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 74 L. ha ⁻¹ e ponta de pulverização MAG 1.5.....	43
FIGURA 18 - Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 77 L. ha ⁻¹ (água de poço artesiano + adjuvante neutro).....	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 55 L. ha ⁻¹	34
TABELA 2 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 85 L. ha ⁻¹	36
TABELA 3 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 75 L. ha ⁻¹	38
TABELA 4 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 77 L. ha ⁻¹ (água tratada e adjuvante).....	40
TABELA 5 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 74 L. ha ⁻¹	42
TABELA 6 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 77 L. ha ⁻¹ (água de poço artesiano + adjuvante (neutro)).....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 A EVOLUÇÃO DA PULVERIZAÇÃO.....	14
3 CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO	16
4 ELETROSTÁTICA E APLICABILIDADES	18
4.1 A TECNOLOGIA DE PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA NA AGRICULTURA	20
5 BENEFÍCIOS DA TECNOLOGIA	21
6 FABRICANTES DO MUNDO	26
6.1 EQUIPAMENTOS.....	29
7 TÉCNICAS PARA VERIFICAÇÃO DO ELETROSTÁTICO	31
8 RESULTADOS TSBJet	33
8.1 ESTUDO DE CASO 1	33
8.2 ESTUDO DE CASO 2	35
8.3 ESTUDO DE CASO 3	37
8.4 ESTUDO DE CASO 4	39
8.5 ESTUDO DE CASO 5	41
8.6 ESTUDO DE CASO 6	43
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A modernização da agricultura tem ajudado o desenvolvimento sustentável das produções agrícolas desde o aprimoramento das técnicas de controle dos organismos, até as tecnologias da agricultura 4.0. Isso se dá ao fato de o agroecossistema de produção ser relativamente frágil, devido ao ataque de pragas e doenças, exigindo que o Manejo Integrado de pragas, Doenças e Plantas Daninhas adote estratégias harmônicas entre processos químicos, físicos e biológicos, e que possam minimizar os efeitos negativos quanto à redução de produtividade e o impacto ambiental (ZAMBOLIM; CONCEIÇÃO; SANTIAGO, 2003).

Tornar a produção agrícola sustentável é planejar e desenvolver as atividades baseadas em processos assertivos, proporcionando incremento de produção por unidade de área, redução dos custos e contaminação ambiental, utilização racional dos recursos, bem como otimização operacional e maior rentabilidade.

No âmbito do manejo de cultivos, a tecnologia de aplicação - especificamente a pulverização eletrostática, vem possibilitando maior eficiência do processo de aplicação e eficácia dos defensivos agrícolas. Isso porque está chegando ao limite de moléculas eficazes para o controle de organismos resistentes.

Neste sentido, busca-se apresentar a evolução da pulverização, a tecnologia de aplicação, o princípio físico da eletrostática e suas aplicabilidades, a pulverização eletrostática e seus benefícios, alguns fabricantes e resultados obtidos a fim de orientar produtores, aplicadores, técnicos, agrônomos e demais interessados deste ramo do agronegócio.

2 A EVOLUÇÃO DA PULVERIZAÇÃO

A agricultura sempre contou com infestações múltiplas, presença de insetos, fungos e plantas daninhas, que afetaram e continuam prejudicando a produtividade das culturas agrícolas. Para o controle ou mesmo para erradicação destes, muitas técnicas foram utilizadas até a chegada dos defensivos agrícolas.

Historicamente, Theophrastus (filósofo grego), considerado o pai da botânica moderna, constatou que árvores jovens poderiam ser controladas, ou mesmo mortas, com deposição de azeite de oliva sobre o sistema radicular. Democritus (também filósofo grego), aconselhou desmatar florestas pulverizando suco de cicuta (flores de tremoço) nas raízes das árvores (CARVALHO, 2020). Já, Cato (filósofo romano) recomendava o uso de amurca - espécie de resíduo aquoso produzido após o esmague das azeitonas, no controle de plantas daninhas (SMITH; SECOY, 1975). Por outro lado, os romanos usaram sal para impedir o

crescimento das plantações indesejadas, sendo usado na Inglaterra como herbicida posteriormente (CARVALHO, 2020).

Em torno de 1800, os chineses apropriaram-se de arsênio dissolvido em água para controlar insetos. Descobriram que produtos derivados de plantas que possuem rotenona (espécies do Gênero *Derris*, *Lonchocarpus* e *Tephrosia*, como o “timbó”) e a piretrina (como margaridas, as calêndulas, o girassol e especialmente o crisântemo) controlavam diferentes tipos de insetos por suas características repelentes (SAITO, 2004).

O sulfato de cobre foi utilizado inicialmente em 1821 para controle de plantas daninhas. Na Alemanha, em 1855, o ácido sulfúrico objetivou o controle seletivo de plantas daninhas em cereais e cebolas. Em 1865, a combinação de arsênio e cobre possibilitou o controle de besouro da batata no Colorado (EUA). Em 1882, misturar sulfato de cobre e cal, tornou-se um poderoso fungicida no controle do míldio em videiras (CHAIM, 1999a).

Em 1890, uma mistura contendo mercúrio em pó foi usada no tratamento de sementes. Na França, em 1896, Bonnet constatou o controle seletivo de *Sinapis arvensis* em cereais, com sulfato de cobre. Por outro lado, Rabaté verificou que o ácido sulfúrico diluído possuía o mesmo objetivo (CARVALHO, 2020).

Na Louisiana, em 1902, o arsenito de sódio foi designado para o controle de aguapé. Em 1908, Bolley analisou sulfato de ferro, sulfato de cobre, nitrato de cobre e arsenito de sódio também no controle seletivo de plantas daninhas, especialmente de folhas largas em cultivo de cereais (CARVALHO, 2020).

Os franceses Bonnett, Martine, Duclos, e o alemão Schultz, pesquisaram sobre o uso de sais de metais pesados para o controle seletivo de plantas daninhas na primeira metade do século vinte (CRAFTS; ROBBINS, 1962). Os óleos de petróleo também foram usados ao longo de canais de irrigação e em plantações de cenoura, em 1914 com a mesma finalidade (CARVALHO, 2020).

Em 1923, a famosa corriola ou corda-de-viola (*Convolvulus arvensis*) foi controlada com clorato de sódio na França. Testes com tricloreto de arsênico possuíam a mesma intenção. Na Grã-Bretanha, 1930, o ácido sulfúrico foi usado para o controle de plantas daninhas, sendo considerado ainda um bom herbicida, porém, corrosivo aos equipamentos e prejudicial à saúde (CARVALHO, 2020).

Em 1981, Bohmont constatou que o povo romano realizava a queima de enxofre a fim de controlar com a fumaça, a propagação de pulgões, os quais causavam danos às lavouras de trigo (CHAIM, 1999a). Diante disso, pode se dizer que entre os anos 1867 a 1900 marcaram o desenvolvimento de equipamentos de aplicação, pois, com os surtos de pragas e doenças nas

lavouras agrícolas houve necessidade em aprimorar técnicas de aplicação de defensivos agrícolas, visando aumentar a produção e melhorar a qualidade fitossanitária. Surgem então os primeiros bicos hidráulicos, leque, leque de impacto e cone (vazio) conforme os estudos de Akesson e Yates (1979). A fim de produzir uma camada protetiva na superfície do alvo para impedir o ataque das pragas.

A partir daí, gradativamente, inúmeras moléculas surgem no mercado de agroquímicos para controlar pragas, doenças e plantas daninhas. Como também foram desenvolvidas diferentes técnicas e equipamentos que possam garantir o sucesso das aplicações de tais moléculas.

3 CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas, nada mais é que a utilização do conjunto de todos os conhecimentos científicos que possibilitam a correta aplicação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma eficiente, econômica, segura e com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 1990). Isso tudo para garantir a chegada de gotas no alvo, proporcionando a eficácia das moléculas. Para isso, é necessário empregar técnicas de precisão que possam evitar perdas, por deriva, e a contaminação do agroecossistema.

Conceitualmente, a aplicação é a “deposição de gotas sobre um alvo desejado, com tamanho e densidade adequados ao objetivo proposto”, ou seja, vai além das características físicas de colocar as gotas no alvo. Pulverização é “processo físico-mecânico de transformação de uma substância líquida em partículas ou gotas” (ANDEF, 2004), portanto, é transformar determinado volume de líquido em volume de gotas o suficiente para garantir boa cobertura e penetração no dossel de plantas.

Himel (1974) alega que a prática da aplicação de defensivos agrícolas foi o processo mais ineficiente que o homem já praticou, pois demorou para entender que, apesar dos avanços tecnológicos do período, os princípios básicos devem ser usados rotineiramente para que haja qualidade da aplicação e funcionalidade dos produtos. Isso porque, há dificuldade em fazer o básico bem feito, aplicar em condições climáticas favoráveis, realizar o teste de mistura antes de colocar todos defensivos no tanque para que não haja incompatibilidade de calda, calibrar e regular o pulverizador, entre outros procedimentos.

Matthews (1979) diz que a aplicação possui significativo desperdício na agricultura, em questão de energia e produto químico. Esse desperdício está relacionado diretamente às

perdas por deriva, que por definição é o deslocamento das gotas para fora do alvo desejado. Podendo ser classificada em endoderiva, gotas que são perdidas normalmente por escorrimento ou que passam pelas plantas indo em direção ao solo, e entende-se que estas ficam dentro da área da cultura. A exoderiva é o deslocamento de gotas para fora da área da cultura, isto é, gotas que sofrem ação do vento, da evaporação e da volatilização (ANDEF, 2004). Esta, por sua vez, é a perda mais preocupante e polêmica, pois atinge áreas vizinhas que possuem culturas sensíveis.

Para que a contaminação ambiental seja menor, apesar do uso da tecnologia, é preciso respeitar as condições climáticas recomendadas de aplicação, em que a temperatura deve ser menor que 30°C, umidade relativa do ar maior que 55%, velocidade do vento entre 3 e 10 Km. h⁻¹, é fundamental para não desperdiçar produtos. Isso, pois, a maioria dos defensivos agrícolas são voláteis em condições inadequadas de aplicação.

A umidade mais alta, maior que 50-55%, é mais conveniente, pois ajuda a reduzir as chances de gotas finas e muito finas se evaporarem e não atingirem o alvo desejado. Já o vento pode causar problemas soprando as gotas para longe do alvo e, conseqüentemente, aumentando as chances de danos aos organismos que não são o alvo de aplicação.

Combella (1981) definiu que a eficiência de uma aplicação está diretamente relacionada pelo percentual entre a dose requerida (teoricamente) e a dose real (utilizada), o que significa que a dose recomendada precisa chegar ao alvo, para que este possa ser controlado ou erradicado.

Levando em consideração inúmeros resultados de ensaios de deposição de gotas em diferentes culturas, utilizando jato transportado por ar em maçã, as perdas de gotas para o solo oscilaram de 2 a 39% da dose total aplicada, já a deriva ficou entre 23 a 45% (Buisman *et al.* 1989). Em videiras, dependendo do equipamento usado, as perdas foram de 34,5 a 48,9% (CHAIM, 1999a). Entretanto, em alguns casos a deposição nas plantas foram superiores a 64% do total aplicado (CHAIM, 1999a). Já em eucalipto, com pulverizador motorizado costal, a entrega de gotas ficou em 61%, sendo que 7% atingiu o solo na região sob a copa das plantas, 5% entre as plantas, 19% nas entrelinhas de plantio e 8% possivelmente foi perdida por deriva ou evaporação (CHAIM, 1999a).

Em arroz irrigado, na aplicação de herbicidas, Pessoa e Chaim (1999), constataram perdas em torno de 50% do produto aplicado. Chaim (1999c) avaliando perdas de defensivos agrícolas em feijão e tomate chegaram a alcançar entre 49 e 88%, e 44 a 70%, respectivamente.

Para minimizar tais perdas ligadas à ineficiência do processo de aplicação é necessário que haja segurança e responsabilidade seguindo as instruções técnicas; que o pulverizador esteja devidamente regulado e calibrado; que o aplicador seja capacitado a realizar aplicações com responsabilidade e cuidado no manuseio dos equipamentos, defensivos agrícolas, misturas, condições adequadas de aplicação e ter sensibilidade na tomada de decisão; que haja entendimento sobre o produto (defensivo agrícola), sua formulação, tempo de absorção, possibilidade de mistura, volatilidade, se é sistêmico ou de contato, etc.; que se conheça o alvo (fungos, insetos, plantas daninhas, entre outros), seus estágios e respectiva população (ADEGAS, 2020).

Respeitar as condições climáticas (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, horário de aplicação, etc.); que se tenha conhecimento sobre as gotas (seu tamanho conforme o alvo a ser atingido, tempo de vida da gota, condições que podem afetar a vida das gotas, número de gotas necessárias por cm^2 para cada produto a ser aplicado) e que se conheça as pontas de pulverização sendo escolhidas conforme o objetivo, alvo, cobertura, velocidade de aplicação, pressão, vazão, optando por uma ponta que possibilita menor deriva e escorrimento na superfície das folhas (ADEGAS, 2020).

Contudo, acertar o alvo, com uniformidade de distribuição de gotas e menor influência de deriva são alguns dos principais objetivos da tecnologia de aplicação. Lembrando que o volume de calda e a densidade de gotas/ cm^2 definem a cobertura do alvo, em casos dos produtos de contato, quanto maior o número de gotas/ cm^2 melhor, normalmente para fungicidas e inseticidas, acima de 50 gotas/ cm^2 . Já para produtos sistêmicos, em média de 20 a 30 gotas/ cm^2 podem ser suficientes (ANDEF, 2004).

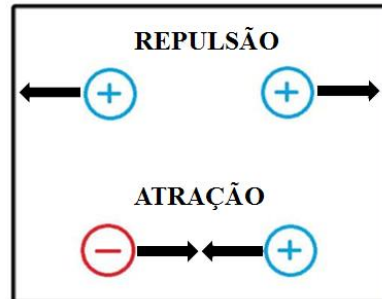
Neste sentido, nota-se que atualmente há maior ênfase nos tratamentos fitossanitários e seus respectivos produtos, deixando de lado ou em segundo plano a tecnologia usada para tal aplicação, sejam elas as pontas de pulverização, regulagem e calibração do pulverizador, a checagem dos filtros, entre outros elementos importantes. Portanto, a verificação do sistema de aplicação é fundamental e de extrema importância para minimizar as perdas.

4 ELETROSTÁTICA E APLICABILIDADES

A eletrostática é o ramo da física que estuda as cargas elétricas que estão, em geral, em repouso. A Lei de Coulomb atesta que a intensidade da força elétrica de interação entre cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos módulos de cada carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa, ou seja, é o princípio da

atração e repulsão de cargas elétricas de mesmo sinal que se repelem e cargas de sinal contrário se atraem (Figura 1).

Figura 1 - Representação das cargas eletrostáticas em repulsão e atração.



Fonte: Autora (2022).

Chaim (1990) destaca que Vonnegut e Neweauer em 1952, relataram sobre um sistema de produzir gotas monodispersas, as quais não teriam variação de tamanho, com carga eletrostática e com líquidos de baixa condutividade elétrica, fazendo uso de alta tensão positiva em tubos capilares (Hendriks em 1962).

Chaim (2006) define a pulverização eletrostática como um sistema que carrega as gotas eletricamente com cargas positivas ou negativas, objetivando criar um campo elétrico, o qual manterá as gotas em sua trajetória ideal - de encontro ao alvo/planta. Dessa forma, a pulverização eletrostática nada mais é do que colocar carga elétrica nas gotas que serão aplicadas pelo pulverizador. Essas gotas carregadas são atraídas para planta (em equilíbrio elétrico e aterrada ao solo), tendo menor desvio de sua trajetória até o alvo, produzindo cobertura eficiente - superior a aplicação convencional, inclusive (dependendo do volume de gotas disponíveis) na parte abaxial das folhas e áreas de difícil acesso.

Como todas as gotas estarão com a mesma carga ela se afastam entre si, fenômeno conhecido como repulsão, fazendo com que a aplicação fique bastante homogênea. Devido à atração entre as gotas e a planta, pode-se trabalhar com gotas finas e muito finas que são atraídas com maior velocidade em direção ao alvo, minimizando os desvios de rota.

A carga é proporcionada independentemente do tamanho da gota, a diferença é que gotas grossas sofrem maior influência da gravidade do que a atração, ao passo que, gotas classificadas como finas e até média tem maior atuação da atração e repulsão que a força da gravidade. Autores como Coffee (1981) apontam que gotas com diâmetro entre 40 a 120 μm são muito afetadas pela ação do vento, ao contrário das gotas maiores que 200 μm que sofrerão ação gravitacional até alcançarem o alvo - as quais não são facilmente carregadas

pelo vento. Entretanto, quando aplicada uma força eletrostática sob essas gotas, menor tende ser a ação do vento em levar as gotas carregadas.

Law (2014), em uma de suas constatações, verificou que a força eletrostática empregada ultrapassa em grandeza a força gravitacional, para gotas de 30 μm em 51 vezes, 100 μm em 14 vezes e 300 μm em 4 vezes. Ao passo que, quanto maior a relação Q/M (carga/massa), maior é a força de atração entre as gotas e o alvo.

Burayev e Vereshchagin (1972) buscaram entender os processos físicos envolvidos nesse sistema e determinando condições (teóricas) para a pulverização, os valores limites de tensão superficial e a condutividade do líquido. A partir disso, uma das primeiras aplicações desta invenção foi em pintura eletrostática e o equipamento que é descrito por Miller (1973), foi patenteado por Starkey e Ransburg em 1954.

Por outro lado, Jones e Thong (1971) e Thong e Weinberg (1971), buscaram conhecer a possibilidade de usar a pulverização eletrohidrodinâmica para fabricar gotas e controlar a combustão de determinados combustíveis. Swatick (1973) descreve um sistema de impressão de computador, em que o processo de pulverização eletrohidrodinâmica é usado para gerar gotas de tinta (com carga eletrostática), que são defletidas por eletrodos especiais para formar os caracteres no papel.

A utilização da carga eletrostática para melhorar a cobertura e envolvimento de objetos e superfícies é algo conhecido, a exemplo podemos citar a pintura eletrostática - muito utilizada no setor automobilístico. Hoje o segmento do agronegócio brasileiro tem se utilizado do princípio da física para melhorar a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas no controle de pragas, doenças e plantas daninhas, aprimorando as tecnologias desenvolvidas por Coffee (1979) e Chaim (1984). Em 1990, Matuo apostou que gotas eletricamente carregadas seriam um avanço, aumentando consideravelmente a taxa de recuperação (% do volume aplicado e captado pelo alvo).

Além disso, em função da pandemia (COVID) no ano de 2020, equipamentos para sanitização, desinfecção e dedetização passaram a ser fabricados utilizando-se deste princípio para garantir melhor cobertura das superfícies.

4.1 A TECNOLOGIA DE PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA NA AGRICULTURA

O sistema de pulverização eletrostática, ou mesmo a tecnologia, é uma estratégia inovadora que objetiva superar as deficiências de deposição e penetração em relação ao desperdício de gotas que não atingem o alvo desejado, além de causar contaminação ambiental.

Os estudos em torno de um protótipo de bico pneumático eletrostático ocorreram na Universidade da Geórgia (EUA), entre as décadas de 60 e 70, conforme destacou Law (1978). A partir daí o uso da pulverização eletrohidrodinâmica para a aplicação de produtos na agricultura foi aperfeiçoado por Coffee entre 1979 e 1981, sendo desenvolvido o Electrodyn (CHAIM, 1984). Coffee (1979, 1981) alegou que a velocidade de queda das gotas carregadas eletricamente é dez vezes superior à velocidade das gotas sem carga o que possibilita maior resistência de gotas pequenas à deriva.

Em 1983, foi aprimorado os estudos das gotas produzidas por um protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico manual na UNESP em Jaboticabal (CHAIM, 1984). Assim as pesquisas sobre o uso de gotas com cargas eletrostáticas tiveram grande progresso mundialmente, havendo aperfeiçoamentos de modo que pudesse ser usada essa tecnologia em outros modelos de pulverizadores, de arrasto, autopropelidos, atomizadores, aéreos, etc.

Nesses sistemas, gotas finas são comumente recomendadas para aplicações de fungicidas e inseticidas, especialmente, devido ao maior número de gotas por centímetro quadrado - se bem aplicados, garantindo maior eficácia do tratamento fitossanitário. Porém, muitos produtores e aplicadores têm receio de usar pontas que produzem gotas finas e muito finas em função da deriva. É por isso que algumas bibliografias alegam que a tecnologia associada a gotas finas favorece a indução e possuem melhor desempenho (Antuniassi e Boller, 2019).

Também é necessário compreender que carga química é diferente de carga eletrostática, pois, a condutividade elétrica muitas vezes avaliada na tecnologia de aplicação, está relacionada ao potencial da calda conduzir corrente elétrica devido a mistura de diferentes defensivos agrícolas. Por outro lado, a carga elétrica é uma propriedade das partículas da matéria (prótons e elétrons) e a eletrostática é a área da física que abrange o estudo das cargas elétricas em repouso. Assim, os fenômenos eletrostáticos estudados por essa área do conhecimento surgem em decorrência da força de atração e repulsão que as cargas elétricas exercem umas sobre as outras.


5 BENEFÍCIOS DA TECNOLOGIA

As inovações desenvolvidas no ramo da tecnologia de aplicação objetivam a maximização da eficiência do processo, bem como a eficácia biológica dos defensivos agrícolas, minimizando as perdas e a contaminação ambiental durante os tratamentos fitossanitários.

Aumentar e garantir a eficiência é possibilitar que um maior número de gotas atinja o alvo, na quantidade necessária, com uniformidade na distribuição e com menores perdas possíveis. Normalmente considera-se somente o alvo folhas, esquecendo da importância de atingir o caule, as flores e os frutos das culturas no momento da aplicação. Na Figura 2 são apresentados parâmetros de quantidade de gotas (cm) recomendada para controle eficiente quando utilizando diferentes produtos.

Figura 2 - Parâmetros de densidade de gotas/cm² aconselhados para tratamentos fitossanitários.

PRODUTO	COBERTURA (GOTAS/cm ²)	PULVERIZAÇÃO
Herbicida	20 - 30	Média - Grossa
Inseticida	50 - 70	Média - Fina
Fungicida	70 - 100	Fina



Fonte: Manual de Tecnologia de Aplicação/ANDEF, 2004.

Compreende-se que, a quantidade de gotas influencia na sanidade da lavoura, ou seja, garante a eficácia química e biológica dos defensivos agrícolas. Mantendo-se a mesma quantidade de produto por hectare, havendo possibilidade de reduzir o número de aplicações até o final do ciclo. Chaim (1990, 1999b, 1998, 2006) já prospectava a pulverização eletrostática como alternativa de redução do uso de defensivos agrícolas, por acreditar na sustentabilidade do sistema.

Durante as aplicações fitossanitárias parte dos produtos atingem o alvo e a outra é perdida. Esse percentual perdido pode ser maior que o entregue no alvo, o que muitas vezes causa as falhas de controle. A literatura destaca que as perdas podem ficar em torno de 80% (CHAIM; 1999a, 1999b).

Portanto, além do prejuízo financeiro, há o problema ambiental de contaminação do solo, água, animais, humanos e lavouras vizinhas, os quais precisam ser resolvidos a fim de garantir ao produtor maior ganho em qualidade da aplicação.

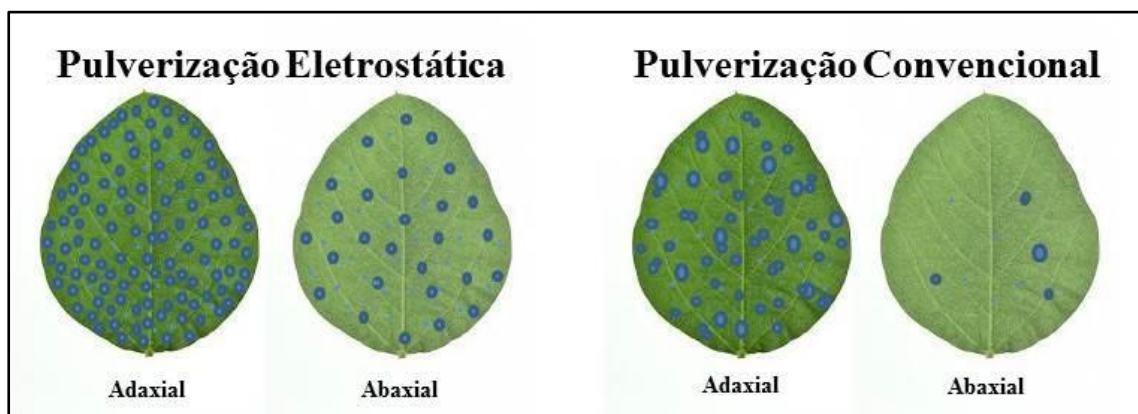
A deriva pode ser minimizada com o uso da eletrostática (Carlton e Bouse, 1980; Coffee, 1979, 1981). Zhu *et al.* (1994), determinaram que a distância de deriva de forma exata é um processo bastante difícil, em virtude da complexidade dos inúmeros fatores que a influenciam.

Há redução dessas perdas (endoderiva e exoderiva) com a utilização da tecnologia de pulverização eletrostática, garantindo que a dose correta na concentração recomendada chegue ao destino, quando associada às orientações adequadas de aplicação. Logo, havendo aplicação de qualidade, sendo assertivo no alvo, com a dose necessária, há, consequentemente, economia de defensivo.

A diminuição da deriva, ocorre em função das gotas procurarem aterramento elétrico nas plantas o mais rápido possível, desde que a barra esteja próxima ao dossel, respeitando as recomendações da aplicação convencional, em média a 0,50 m de altura. Existem poucos trabalhos sobre a diminuição da deriva com o uso da tecnologia, um dos motivos é que a metodologia de avaliação precisa de ajustes eficazes para obtenção de melhores resultados.

Com o uso de gotas finas com carga, tem maior flexibilidade de penetração na massa foliar, aumentando a cobertura nos diferentes estratos, estratégia desejada pelos produtores quando há doenças e pragas para serem controladas nas camadas inferiores. Na figura 3 são apresentadas as diferenças de distribuição de gotas com os diferentes sistemas de aplicação, tanto na parte adaxial das folhas, quanto na parte abaxial. A aplicação com eletrostática tende a ser homogênea, não sobressaindo uma gota sobre a outra, diferentemente do sistema de pulverização convencional, em que as gotas se sobrepõem, visto que sofrem somente a força da gravidade.

Figura 3 - Demonstrativo de distribuição de gotas com Pulverização Eletrostática e Pulverização Convencional.



Fonte: Autora (2022).

Zheng *et al.* (2002) e Chaim (2002) corroboram com as vantagens apresentadas, em que a tecnologia melhora a distribuição e deposição de gotas, com menor contaminação ambiental, possibilitando usar menores volumes de calda, obtendo-se menor custo de aplicação, melhor eficácia de controle dos tratamentos fitossanitários, quando comparado a aplicação convencional. Portanto, na busca pela sustentabilidade do agroecossistema e das produções agrícolas a tendência é melhorar os processos, com tecnologias que agreguem valor às culturas.

Mamidi *et al.* (2013), utilizando o equipamento eletrostático aumentou de duas a três vezes a deposição de defensivos nas plantas, além de ter melhorado a uniformidade de distribuição no alvo (plantas em vaso) comparado ao pulverizador comum. Ainda foi possível validar que o pulverizador eletrostático potencializou a eficiência de deposição de calda na superfície abaxial e adaxial das folhas, deposição geral e distribuição dos alvos na planta, influenciados pela tensão de carga, velocidade da pulverização e altura de planta (MASKI; DURAIRAJ, 2010). O sistema de pulverização eletrostática como uma tecnologia estratégica, de proteção, com a finalidade de superar déficits de defensivos agrícolas, desperdícios, poluição das águas subterrâneas e contaminação (BESHARATI, 2010; ESEHAGHBEYGI; TADAYYON; MARTINI *et al.*, 2017).

Chaim (1985) testando o controle do tripses no amendoim conseguiu reduzir o volume de aplicação em 160 vezes comparado à aplicação convencional. Hislop (1988), afirmou que a pulverização eletrostática melhora significativamente a distribuição de gotas nos alvos e que há possibilidade de se reduzir em 50% o uso de defensivos agrícolas sem minimizar a eficácia biológica. Apesar dessa eficiência, a pulverização eletrostática diminui os efeitos de inseticidas sobre organismos do solo em função de que as perdas para o solo diminuem em 20 vezes comparando a convencional.

Derksen *et al.* (2007), Laryea e No (2005), Maski e Durairaj (2010), Xiongkui *et al.* (2011), Zhao, Castle e Adamiak (2008), observaram vantagens na utilização das aplicações com eletrostática, auxiliando na minimização da deriva e incremento de deposição na casa de 37% na cultura do café (Sasaki *et al.*, 2013).

Tavares (2015) ao estudar um sistema de eletrificação de gotas e a eficiência da pulverização eletrostática no controle de Psilídeo (*Triozyda limbata*) em goiabeira, constatou que a deposição de calda foi duas vezes maior com a tecnologia comparada a convencional, sendo quatro vezes menores as perdas. Além disso, houve menor porcentagem de infestação

com a tecnologia em virtude da eficiência, com possibilidade de redução da taxa de aplicação sem afetar negativamente o controle de Psilídeo.

Stawniczyi *et al.* (2019) testando a pulverização pneumática eletrostática em videiras constatou que a tecnologia atuou na coloração da epiderme e comprimento do cacho de uvas Niágara branca, bem como teve maior teor de antocianinas, com menor volume de calda sem afetar a cobertura, atuando positivamente nas aplicações.

A premissa de que a pulverização eletrostática tem de reduzir a vazão, obrigatoriamente não é verdadeira. Isso porque, precisa-se entender a dimensão da área foliar e o impacto do mesmo volume de aplicação quando o índice de enfolhamento é menor ou maior. Quando a cultura estiver em estágios iniciais de desenvolvimento, o volume de aplicação tende a ser menor, pois há menor área de cobertura e maior espaçamento entrelinhas. Porém, quando a planta estiver com dossel com uma maior área foliar, necessitando maior volume de gotas para obtermos um controle satisfatório de doenças e pragas.

Luchese (2021), constatou que para o controle de *Giberella zea* em trigo e *Spodoptera frugiperda* em milho, utilizando o sistema eletrostático (TSBJet) melhorou não só a cobertura, como a densidade de gotas e o controle da doença e da praga nas culturas, respectivamente. Sendo que, os melhores resultados encontrados foram no volume de aplicação de 100 L.ha⁻¹ e 150 L. ha⁻¹. Além disso, tal tecnologia não interferiu no tamanho de gotas, dentro das condições que os ensaios foram realizados.

Já Arismendi (2021), em seu estudo chegou à conclusão de que a pulverização eletrostática possibilitou deposições de gotas no terço inferior na ordem de 170% a 600% no terço superior, quando comparado a pulverização convencional. O que é interessante quando se pensa em manejo fitossanitário do baixeiro da planta. Por outro lado, quanto à deposição de gotas no solo, ficou na casa dos 60% a 80%. E quanto ao volume de aplicação, constatou-se que, quanto maiores as taxas de pulverização, maiores as deposições, entretanto, menor uniformidade de deposição de gotas no estrato vegetativo.

Além disso, compreende-se que todo volume aplicado que escorre para fora do alvo, que é perdido para o solo, é defensivo agrícola desperdiçado. Então, precisa-se tomar decisões inteligentes e assertivas em relação ao volume de aplicação, ponta de pulverização, alvo e estágio das plantas, de modo que evitemos as perdas por não garantir gotas suficientes para controlar o alvo, nem mesmo percamos gotas por excesso.

O entendimento de que a tecnologia de pulverização eletrostática possibilita a atração de gotas na face abaxial das folhas, não pode ser empregada como verdade absoluta. Uma vez

que, há maior flexibilidade desse fenômeno acontecer em aplicações de frutíferas, onde, com o auxílio do vento, as gotas são empurradas para a copa.

Diferentemente, quando aplicado com pulverizador de barras, sem auxílio de vento, em culturas anuais que fecham entrelinha, por exemplo. Estas por sua vez, fecham o dossel, dificultando a penetração de gotas no terço inferior, independente do sistema de pulverização usado.

6 FABRICANTES DO MUNDO

A Martignani, empresa italiana, que está desde 1958 no mercado de pulverizadores pneumáticos, especialmente destacando-se pela sua capacidade de desenvolver inovações relacionadas ao uso de produtos químicos baseada em baixo volume de calda. O foco de sua produção são equipamentos para pulverização de frutíferas (Figura 4). Em 1981 introduziu na Europa a tecnologia eletrostática.

Figura 4 - Equipamento Electrostatic Agro Spray System.

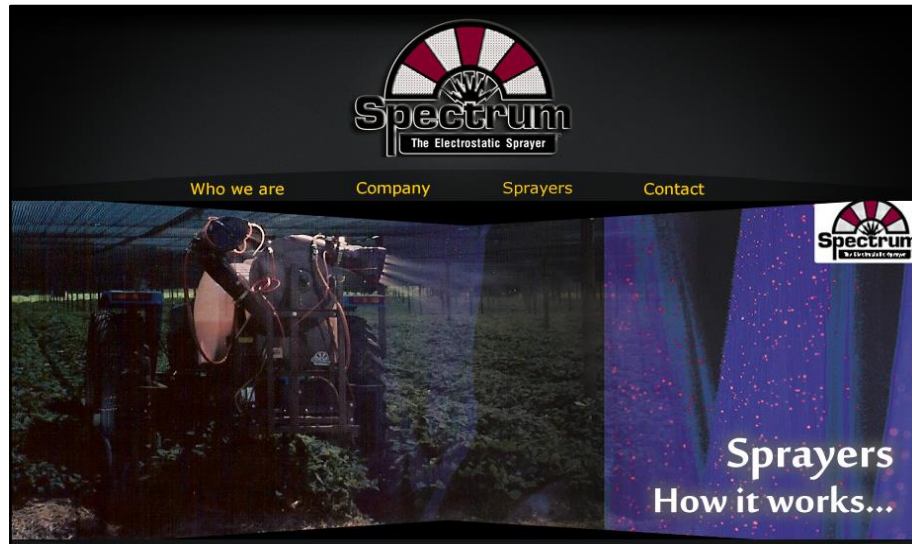


Fonte: Martignani, (2022).

A Spectrum atua no Texas (EUA) desde 1980 no mercado internacional de pulverizadores eletrostáticos, aéreos, terrestres e costais. Usados para pulverizar soja, cana-de-açúcar, algodão, arroz, milho, batata, beterraba e outras culturas; em pomares, viveiros e até mesmo no controle de mosquitos e outros vetores de doenças.

Na figura 5 é apresentado um equipamento eletrostático utilizado para pulverização, a comercialização se dá tanto no Brasil, como África, Austrália e América do Norte.

Figura 5 - Equipamento Spectrum.



Fonte: Spectrum, (2022).

A empresa Eletrostatic Spray Sistem (ESS) atua no ramo de fabricação de pulverizadores há mais de trinta anos, com foco nas suas tecnologias patenteadas e próprias. Desenvolve equipamentos para barra, axiais, dutos de ar e canhões (Figura 6). Está localizada em Watkinsville (Geórgia/EUA).

Figura 6 - Equipamento eletrostático da ESS.



Fonte: Maxchange, (2022).

A empresa Tecnologia Sul Brasileira (TSB), foi fundada em 2009 em Santa Maria, no Rio Grande do Sul (BR) com o objetivo de desenvolver soluções tecnológicas para a indústria metal mecânica e para o agronegócio. Por um bom tempo seu foco foi na elaboração de equipamentos e dispositivos voltados à indústria como quadros de comando, placas de circuitos e sensores para diversos segmentos.

Posteriormente, notando a demanda tecnológica voltada à agricultura, desenvolveram a mais eficiente e confiável tecnologia de pulverização eletrostática brasileira, o sistema TSBJet. Como demonstrado na figura posterior (Figura 7), pode ser instalado em qualquer pulverizador, seja autopropelido, barra de arrasto, axial, duto direcionado, canhão, entre outros modelos.

Figura 7 - Sistema eletrostático TSBJet.



Fonte: Tsbjet, (2022).

Essa tecnologia suporta condições extremas de umidade e molhamento, além de resíduos aglomerados em torno dos módulos indutores sem perder a eficiência - o que a caracteriza como umas das melhores tecnologias para suportar condições reais de campo e defensivos a base de sal.

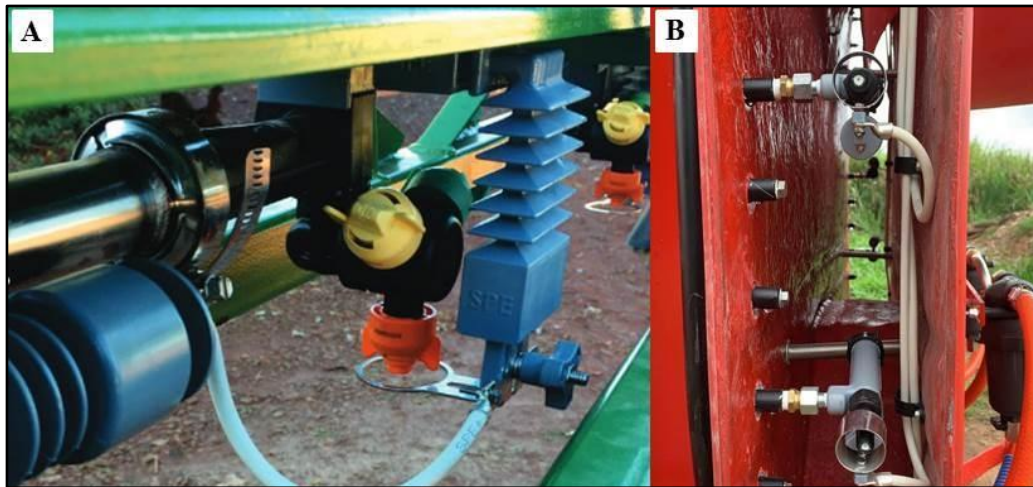
A tecnologia já pode ser encontrada em países como Espanha, Peru, Argentina, Equador, Bolívia e Portugal. Bem como em todos os estados brasileiros.

A empresa TRAVICAR Tecnologia Agrícola Ltda. está localizada em Porto Alegre, Rio Grande do Sul (BR) é responsável pelo Sistema de Pulverização Eletrostático (SPE). Assim como o sistema eletrostático da TSBJet, o sistema SPE pode ser instalado em qualquer pulverizador, inclusive em helicópteros e aviões.

Iniciou suas atividades em 1970 com foco exclusivo na fabricação de sistemas de pulverização para aviões e helicópteros. Em 2013, buscou desenvolver tecnologias para agricultura de precisão nesse segmento.

Na Figura 8 observa-se o sistema acoplado ao lado do suporte de pontas da barra de pulverizador autopropelido (A), na imagem B visualiza-se o sistema instalado no pulverizador axial.

Figura 8 - Sistema eletrostático (Travicar) para pulverizador de barra (A) e axial (B).



Fonte: Eletrostático, (2022).

Essas são as principais e atuais empresas do ramo de pulverização eletrostática que se destacam a nível nacional e internacional, com diferentes sistemas desenvolvidos com foco na pulverização de frutíferas e grãos.

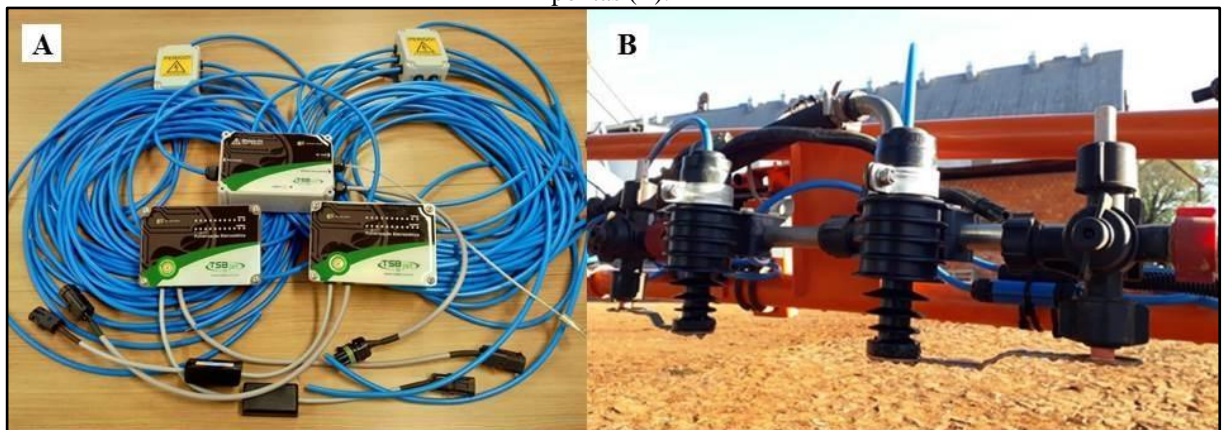
6.1 EQUIPAMENTOS

A tecnologia é composta por um *kit* de peças a ser instalado nos pulverizadores, normalmente sem modificar a estrutura do mesmo, o que facilita a instalação, manutenção e verificação do sistema. Há algumas modificações entre um sistema e outro, mas basicamente as funções têm de serem as mesmas. Na cabine, há a instalação de um módulo de controle, o qual será responsável por acionar e monitorar o funcionamento da estática. A tecnologia TSBJet não exige calibração deste módulo, apenas acionamento, uma vez que se auto ajusta conforme a necessidade das aplicações.

Há um módulo de potência, o qual gera a potência para cada ponto de aplicação, ou seja, vai distribuir a energia para cada módulo indutor (módulo de indução). É fixado no

quadro central do pulverizador de barra ou na melhor localização nos pulverizadores axiais, canhões e dutos de ar. O módulo de indução, por sua vez, produzirá a carga estática às gotas no momento de saída da ponta de pulverização. Este fica situado ao lado do suporte de pontas, possibilitando que o produtor utilize qualquer das suas pontas conforme sua necessidade, confira na figura abaixo (Figura 9). Ademais, possuem cabos para conexão na bateria e entre os módulos de controle e potência, bem como um cabo de aterramento.

Figura 9 - Módulos de controle e módulo de potência (A); módulos indutores instalados ao lado do suporte de pontas (B).



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

A Figura 10 representa a instalação do módulo indutor da tecnologia da TSBJet, em que há instalação ao lado do suporte de pontas. Permitindo assim, maior flexibilidade de escolha conforme o alvo e regulagem do anel indutor para realizar o carregamento das gotas, independente do tamanho de gotas produzido.

Figura 10 - Módulo indutor representativo na barra de pulverização em suporte trijet.



Fonte: Tsbjet, (2022).

Na Figura 11 analisa-se a diferença visual entre a aplicação convencional e a tecnologia TSBJet. Nota-se redução das perdas por deriva. Isso pois, a gota carregada procura o aterramento mais rápido (atração), além de também desempenhar a retração (uma gota empurrando a outra).

Figura 11 - Comparativo de aplicação convencional (lado esquerdo) *versus* aplicação com tecnologia de pulverização eletrostática TSBJet (lado direito).



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Essa redução da deriva já havia sido constatada por Coffee (1979, 1981), visto que a velocidade de queda das gotas carregadas eletricamente é significativamente maior que a velocidade das gotas sem carga. Consequentemente, menores as chances de serem perdidas por deriva. Além de Derksen *et al.* (2007), Laryea e No (2005), Maski e Durairaj (2010), Xiongkui *et al.* (2011), Zhao, Castle e Adamiak (2008), concluíram que as vantagens na tecnologia de pulverização eletrostática, com redução das perdas por deriva.

7 TÉCNICAS PARA VERIFICAÇÃO DO ELETROSTÁTICO

A tecnologia tem que funcionar bem à campo, com quaisquer tipos de defensivos agrícolas e condições de umidade e molhamento. Uma das técnicas de verificação é o uso de um CD ou espelho, ou ainda com multímetro e ponteira especial.

O ideal é que seja passado o CD ou espelho virado para baixo, sob o jato com a tecnologia ligada. Se as gotas estiverem carregadas, elas farão a volta em torno do objeto e se

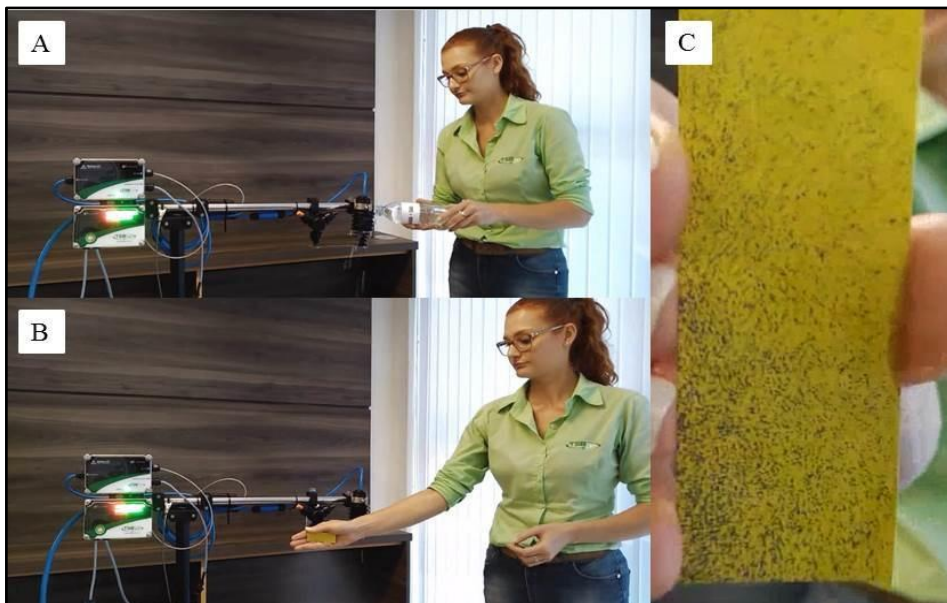
depositarão na face inferior¹. Também pode ser testado com papel hidrossensível como demonstra a Figura 12, em que se visualiza a uniformidade de distribuição das gotas.

Posteriormente, borrife uma concentração de água e sal (simulando uma calda condutiva), ou água pura sobre os módulos indutores. Aguarde alguns minutos e faça o mesmo procedimento. Se as gotas não apresentarem o mesmo desempenho (de fazer a volta sobre o CD/espelho/papel hidrossensível), demonstra que não há carga nas gotas. Ou seja, que o sistema entrou em colapso de funcionamento, voltando a funcionar somente depois de seco e/ou limpo.

Com o multímetro e a ponteira especial de teste, faz-se o contato da ponteira no anel indutor, assim, verifica-se a corrente que haverá. Em caso de marcar zero, o que não é comum na tecnologia TSBJet, é necessário realizar a verificação dos cabos, uma vez que há possibilidade de rompimento, neste caso.

Portanto, é extremamente importante testar quaisquer tecnologias eletrostáticas sob condições extremas de molhamento e resíduos depositados. Assim, será presumível o funcionamento no campo.

Figura 12 - Teste com concentração de água e sal sobre o módulo indutor TSBJet (A); papel hidrossensível disposto ao lado do jato (B); papel hidrossensível com deposição de gotas após molhamento do módulo indutor (C).



Fonte: Redes sociais TSBJet, 2022.

¹ Isso não significa que, obrigatoriamente, as gotas durante a aplicação irão se depositar na face abaxial da folha. Essa técnica é usada para mostrar que gotas carregadas sofrem atração envolvendo a área do objeto e/ou folha, desde que haja volume de gotas suficiente e espaço para transitarem até o alvo.

8 RESULTADOS TSBJet

A empresa TSB apresenta inúmeros resultados que comprovam as vantagens da tecnologia. Todos os resultados apresentados baseiam-se em aplicações reais, sendo testes sob condições adversas, a fim de se obter resultados diferentes e que, de tal maneira, representam as aplicações realizadas pelos produtores à campo.

Nesse sentido, para que fosse possível analisar, da melhor forma, o comparativo de deposição e veracidade da aplicação, utilizou-se a tecnologia TSBJet em um lado da barra e no outro se manteve a aplicação convencional - ou seja, isola-se a tecnologia para esta barra. Pois assim, aproveitou-se a mesma velocidade de aplicação, pressão, vazão e especialmente condição climática para realizar as coletas.

Para esses testes foram usados papéis hidrossensíveis da marca Syngenta®, dispostos no solo (alguns testes), estrato inferior, médio e superior, fixados nas folhas das plantas - buscando a melhor representatividade da disposição das folhas do dossel. A partir daí, com o pulverizador devidamente calibrado e ajustado, realizou-se o percurso sobre as amostras; anotando-se as condições climáticas (temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento) ocorridas durante o trajeto mediante o equipamento termo-higro-anemômetro digital da marca Akrom®.

Posteriormente, após secar brevemente os papéis hidrossensíveis, devidamente identificados, foram armazenados cuidadosamente até serem realizadas as leituras. Para isso, o equipamento utilizado foi o DropScope (comercializado pela Spray X), o qual gerou relatórios com dados compartilhados na sequência.

Por fim, para compreender a variação percentual entre os dois valores empregou-se a equação: $Variação \% = (Valor\ final - Valor\ inicial) / (Valor\ inicial) \times 100$. Assim, obteve-se cada valor percentual estratificado, da deposição de gotas nos respectivos estratos e no solo.

8.1 ESTUDO DE CASO 1

Aplicação realizada sob condição de aplicação real em equipamento instalado em pulverizador de barra, no município de Santa Maria/RS, no dia 09 de janeiro de 2020, sob condições climáticas de 35,8°C, umidade relativa do ar de 45%, sem incidência de vento. A vazão aplicada para a cultura da soja (R1) foi de 55 L. ha⁻¹, ponta de pulverização MAG 1, com 4.1 bar de pressão e velocidade de aplicação de 7 Km. h⁻¹. Os resultados foram os seguintes:

Tabela 1 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 55 L. ha⁻¹.

QUANTIDADE DE GOTAS		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Solo	770	1285
Terço Inferior	3269	1143
Terço Médio	3831	2321
Terço Superior	6806	4917
ÁREA DE COBERTURA (%)		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Solo	0,84%	2,36%
Terço Inferior	3,89%	1,44%
Terço Médio	5,26%	3,01%
Terço Superior	7,90%	6,55%
DENSIDADE (gotas/cm²)		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Solo	24,85	41,47
Terço Inferior	105,5	36,89
Terço Médio	123,64	74,91
Terço Superior	219,66	158,69

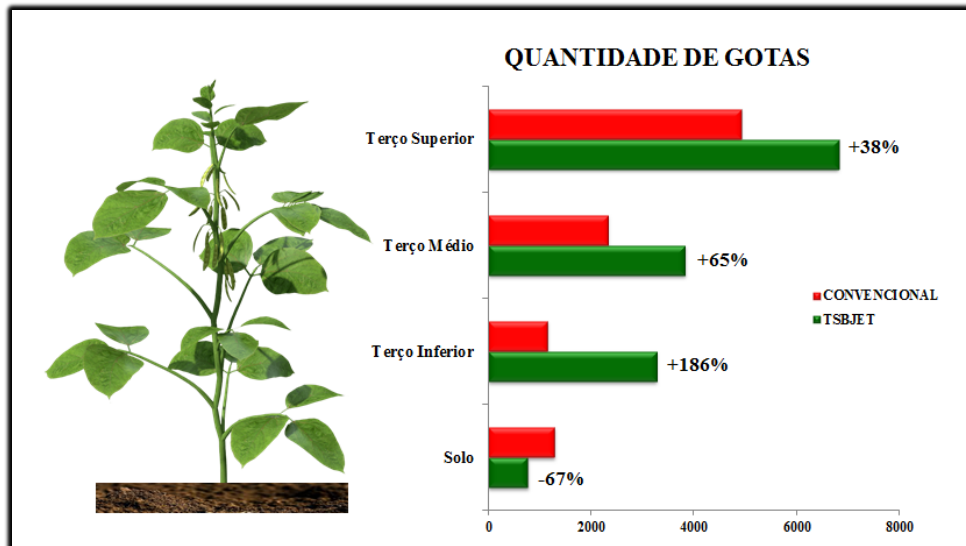
Fonte: Autora (2020)

É possível notar que houve menor deposição de gotas no solo com a utilização da tecnologia comparada a aplicação convencional. Já nos estratos, o comportamento foi de maior deposição com o uso da tecnologia.

Representativamente, a área de cobertura foi maior no terço inferior, com um acréscimo percentual de 170%, 75% no terço médio e 21% no terço superior. No solo houve um decréscimo de 181%, vale salientar que com isso, há menores perdas de gotas para o solo. O que pensando em aproveitamento de gotas com tratamentos fúngicos e inseticidas torna-se uma importante alternativa.

Para melhor visualização dos mesmos a imagem seguinte (Figura 13) demonstra os acréscimos nos estratos e decréscimo no solo.

Figura 13 - Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 55 L. ha⁻¹ e ponta de pulverização MAG 1.



Fonte: Autora (2020).

Observa-se especialmente o acréscimo de gotas no terço inferior, no baixeiro da planta, local de difícil acesso, ou mesmo de maior desafio em deposição de gotas. O que é extremamente pertinente para proteção das folhas do baixeiro, especialmente na primeira aplicação de fungicidas e de inseticidas.

8.2 ESTUDO DE CASO 2

Aplicação realizada no município de São Sepé/RS, no dia 17 de janeiro de 2020, sob condições climáticas de 25°C, umidade relativa do ar de 56%, com rajadas de vento de 5 a 9,1 km/h. A vazão aplicada para a cultura da soja (V10) foi de 85 L. ha⁻¹, ponta de pulverização ATR 3.0, com 75 psi (aproximadamente 5,1 bar) de pressão e velocidade de aplicação de 13 Km. h⁻¹.

Tabela 2 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 85 L. ha⁻¹.

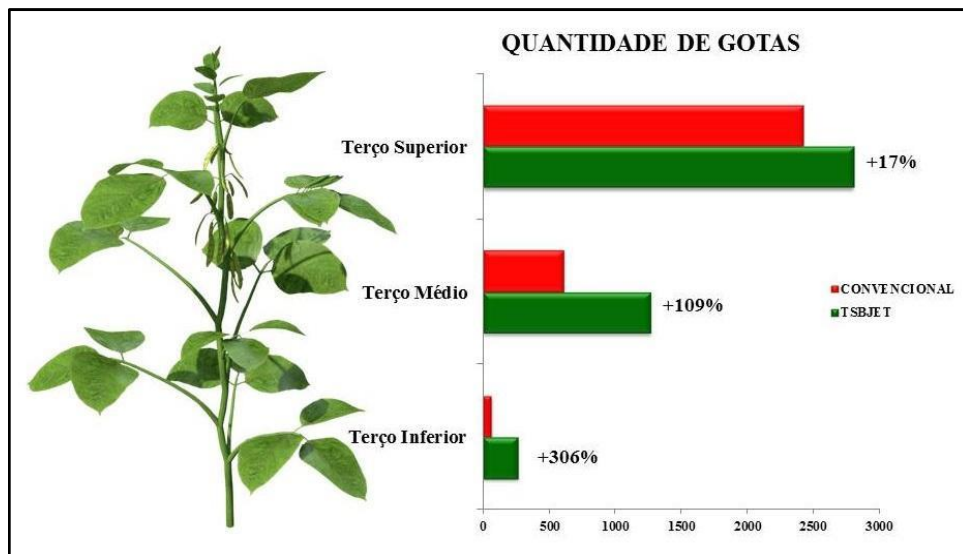
QUANTIDADE DE GOTAS		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	264	65
Terço Médio	1270	608
Terço Superior	2807	2420
ÁREA DE COBERTURA (%)		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	5,48	0,30
Terço Médio	17,47	6,73
Terço Superior	27,16	23,18
DENSIDADE (gotas/cm²)		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	34,08	8,39
Terço Médio	163,95	78,49
Terço Superior	362,37	312,41

Fonte: Autora (2020)

Nota-se significativo aumento da deposição em número de gotas no estrato médio e inferior da planta, especialmente nas regiões de difícil controle e erradicação de pragas e doenças. Também houve deposição maior de gotas no terço superior com o uso da tecnologia.

Quanto à área de cobertura, o terço inferior teve maior proporção percentual, 1.727%, comparada à pulverização convencional. Já no terço médio, obteve-se um acréscimo de 160% e no terço superior apenas 17%. A densidade de gotas/cm² teve o mesmo comportamento. Na Figura 14 visualiza-se tais diferenças.

Figura 14: Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 85 L. ha⁻¹ e ponta de pulverização ATR 3.0.



Fonte: Autora (2020).

Um dos grandes desafios da tecnologia de aplicação tem sido atingir as folhas do baixeiro da planta, proteger e garantir a deposição de gotas com eficiência é primordial para se atingir as produtividades potenciais. Especialmente quando falamos de doenças como a ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) e oídio (*Erysiphe difusa*).

8.3 ESTUDO DE CASO 3

Aplicação realizada no município de Jaboticabal/SP, no primeiro semestre de 2019, sob condições climáticas de 25,7°C, umidade relativa do ar de 56%, sem incidência de vento. A vazão aplicada para a cultura da soja (R3) foi de 75 L. ha⁻¹, ponta de pulverização TXA8001, com 5 bar de pressão e velocidade de aplicação de 8 Km. h⁻¹.

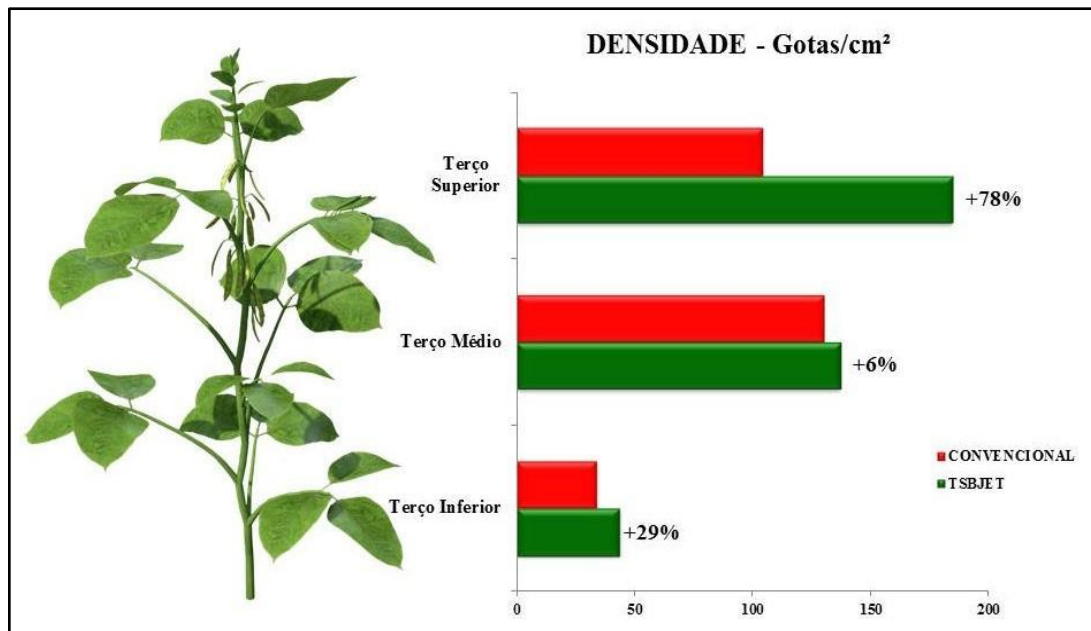
Tabela 3 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 75 L. ha⁻¹.

ÁREA DE COBERTURA (%)		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	2,30	1,40
Terço Médio	6,80	4,90
Terço Superior	6,90	4,40
DENSIDADE (gotas/cm²)		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	43,6	33,8
Terço Médio	137	129,7
Terço Superior	184,4	103,8

Fonte: Autora (2020)

Nota-se nesses resultados que a deposição no terço inferior entre o uso da tecnologia e a aplicação convencional houve pouca diferença percentual, já no terço médio apenas 6% de acréscimo em deposição teve o uso da tecnologia. Ao passo que no terço superior a diferença de deposição foi notável, como pode ser analisado na figura seguinte (Figura 15).

Figura 15 - Ilustração da densidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 75 L. ha⁻¹ e ponta de pulverização TXA8001.



Por hora, algum ajuste poderia estar ocorrendo na tecnologia exatamente no momento em que houve a amostragem. Entretanto, de qualquer forma, o desempenho da tecnologia se mostrou interessante.

8.4 ESTUDO DE CASO 4

Aplicação realizada no município de Santa Maria/RS, parceria público-privada, no primeiro trimestre de 2021, sob condições climáticas de 34°C, umidade relativa do ar de 36%, com vento de 3 Km. h⁻¹. A vazão aplicada para a cultura da soja (V9) foi de 77 L. ha⁻¹, ponta de pulverização TXA8001, com 4,1 bar de pressão e velocidade de aplicação de 7 Km. h⁻¹. A calda foi composta por água tratada e adjuvante, esses testes foram realizados com cinco repetições.

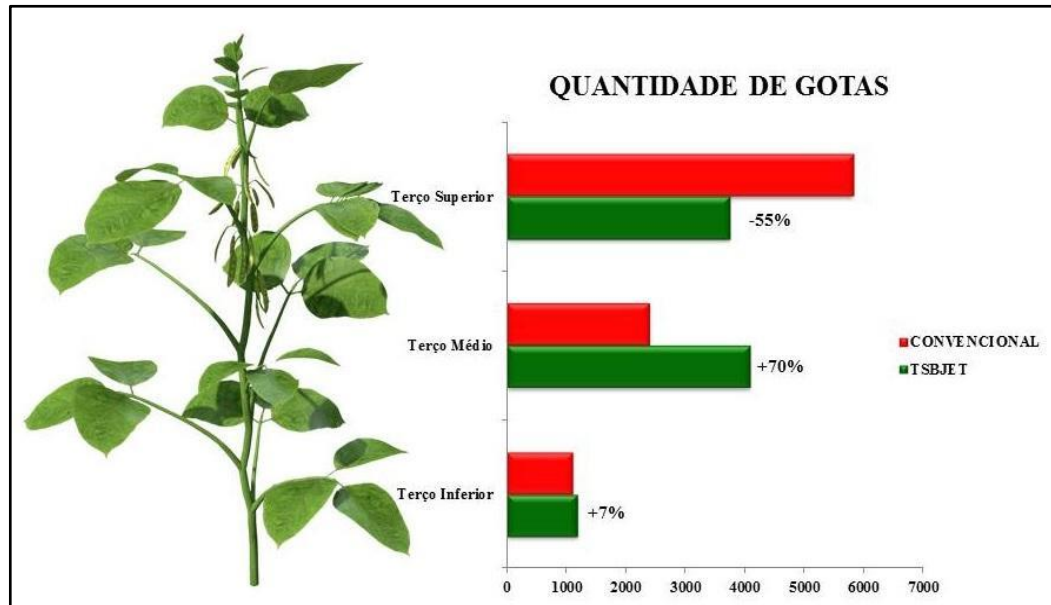
Tabela 4 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 77 L. ha⁻¹ (água tratada e adjuvante).

QUANTIDADE DE GOTAS		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	1182,6	1105,2
Terço Médio	4085,6	2395,4
Terço Superior	3742,8	5811,6
ÁREA DE COBERTURA (%)		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	3,184	3,346
Terço Médio	9,654	5,846
Terço Superior	10,53	17,84
DENSIDADE (gotas/cm²)		
ESTRATOS	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	76,31	71,31
Terço Médio	263,63	154,57
Terço Superior	241,51	375,00

Fonte: Autora (2021).

Nesta situação o acréscimo foi menor no terço inferior, destacando-se o comportamento de deposição no estrato médio, com 70% de diferença. Visto que, a aplicação convencional foi maior no terço superior, em 55%.

Figura 16 - Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 77 L. ha⁻¹ e ponta de pulverização TXA8001.



Para esse teste, havia uma hipótese - por parte do parceiro, de que existisse diferença química entre a água tratada e a água do poço artesiano, conseqüentemente, podendo ocasionar diferenças em questão de cargas. Vale destacar que, a carga química não é a mesma coisa que a carga eletrostática, ou seja, se pegarmos um frasco de defensivo e inserirmos uma carga eletrostática sobre ele (plástico), nada há de ocorrer. Ao passo que, cargas químicas podem gerar incompatibilidades químicas e não eletrostáticas. Apesar disso, estudando o comportamento das deposições, acredita-se que não houve nada neste sentido.

8.5 ESTUDO DE CASO 5

Aplicação realizada no município de Santa Maria/RS, parceria público-privada, no primeiro trimestre de 2021, sob condições climáticas de 34°C, umidade relativa do ar de 36%, com vento de 3 Km. h⁻¹. A vazão aplicada para a cultura da soja (V9) foi de 74 L. ha⁻¹, ponta de pulverização MAG 1.5, com 4,1 bar de pressão e velocidade de aplicação de 7 Km. h⁻¹. A calda foi composta por água e adjuvante, esses testes foram realizados com cinco repetições.

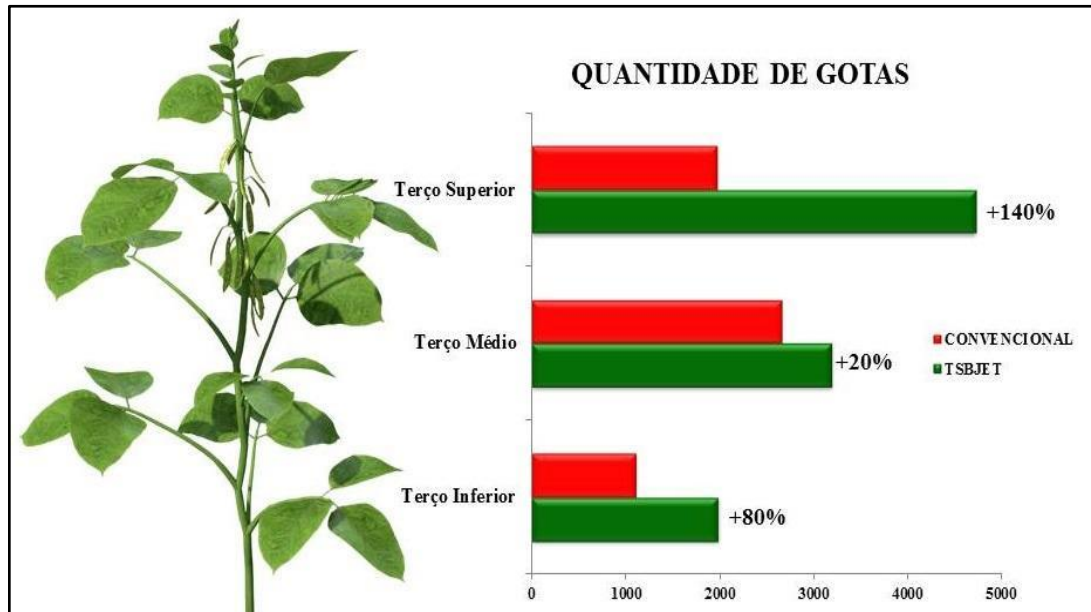
Tabela 5 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 74 L. ha⁻¹.

QUANTIDADE DE GOTAS		
ESTRATO	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	1986,8	1105,2
Terço Médio	3191,2	2654,4
Terço Superior	4719,4	1967,2
ÁREA DE COBERTURA (%)		
ESTRATO	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	4,668	3,15
Terço Médio	6,53	7,902
Terço Superior	11,00	3,09
DENSIDADE (gotas/cm²)		
ESTRATO	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	128,20	71,32
Terço Médio	205,92	171,28
Terço Superior	304,53	126,94

Fonte: Autora (2021)

Perante os resultados obtidos neste teste, a aplicação com eletrostática se destacou em acréscimo em todos os estratos da planta, especialmente no superior. Sendo, em área de cobertura, respectivamente, no terço inferior, médio e superior, 48%, 21% e 256%, como pode ser compreendido na Figura 17.

Figura 17 - Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 74 L. ha⁻¹ e ponta de pulverização MAG 1.5.



Fonte: Autora (2021).

Alguns fatores podem influenciar, direta ou indiretamente, na qualidade da deposição de gotas, como por exemplo, o estágio de aplicação e a arquitetura das cultivares. Isso porque, o índice de área foliar, conhecido como IAF, interfere na deposição de gotas no dossel (CHECHI *et al.*, 2020; DEBORTOLI *et al.*, 2012; MADALOSSO *et al.*, 2010).

Comumente, o maior número de aplicações é realizado próximo a floração (R1), para garantir proteção na fase que o IAF alcança valor máximo. Isto é, a soja encontra-se com entrelinha fechada e significativa estatura, o que dificulta a distribuição e a penetração das gotas, sobretudo no dossel inferior da cultura (CUNHA *et al.*, 2014). Portanto, alguns resultados podem ter sido afetados por esses fatores intrínsecos ao desenvolvimento e crescimento das plantas.

8.6 ESTUDO DE CASO 6

Aplicação realizada no município de Santa Maria/RS, parceria público-privada, no primeiro trimestre de 2021, sob condições climáticas de 29°C, umidade relativa do ar de 42%, com vento de 2 Km. h⁻¹. A vazão aplicada para a cultura da soja (V9) foi de 77 L. ha⁻¹, ponta de pulverização TXA8001, com 4,1 bar de pressão e velocidade de aplicação de 7 Km. h⁻¹. A calda foi composta por água de poço artesiano + adjuvante (neutro), esses testes foram realizados com cinco repetições.

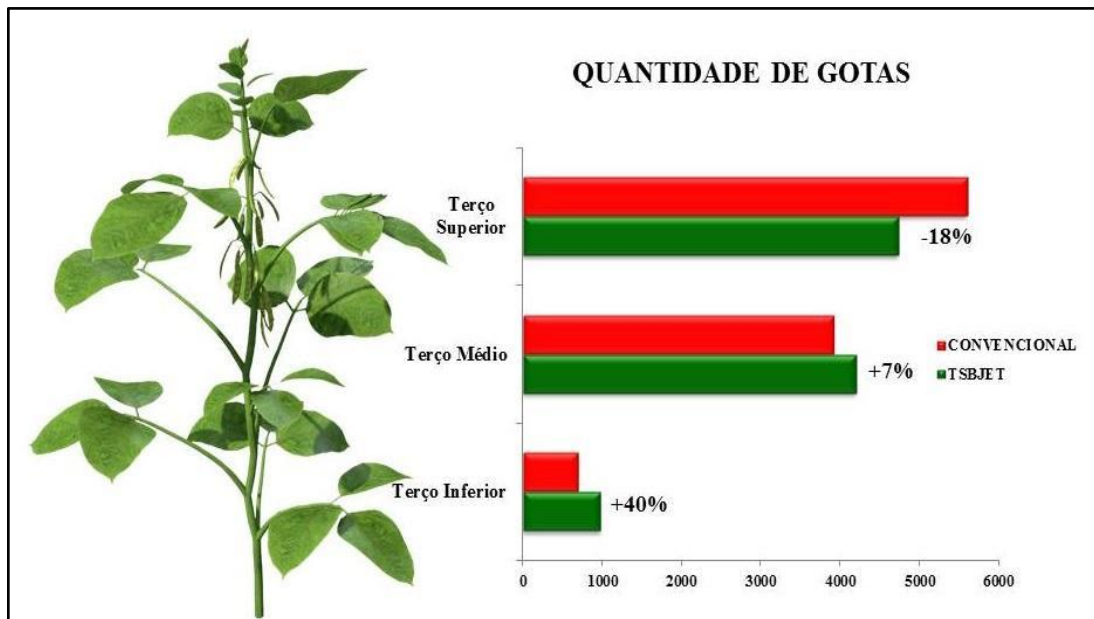
Tabela 6 - Demonstrativo de dados com volume de aplicação de 77 L. ha⁻¹ (água de poço artesiano + adjuvante (neutro)).

QUANTIDADE DE GOTAS		
FATORES	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	974,8	695,6
Terço Médio	4189	3909,2
Terço Superior	4724,2	5587,6
ÁREA DE COBERTURA (%)		
FATORES	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	1,964	1,668
Terço Médio	11,06	11,106
Terço Superior	11,84	16,17
DENSIDADE (gotas/cm²)		
FATORES	COM ELETROSTÁTICA	SEM ELETROSTÁTICA
Terço Inferior	62,90	44,88
Terço Médio	270,30	252,24
Terço Superior	304,84	360,55

Fonte: Autora (2021).

A deposição pode ser afetada pelo tamanho de gota, tipo de ponta, pelo volume de calda, formulação dos produtos presentes na calda (ARAUJO, 2016; ZHU, 2018), e pela deriva. São algumas hipóteses que podem ter influenciado direta ou indiretamente em alguns resultados.

Figura 18 - Ilustração da quantidade de gotas depositadas em cada estrato com aplicação convencional e uso da tecnologia TSBJET com volume de 77 L. ha^{-1} (água de poço artesiano + adjuvante neutro).



A deposição de gotas em quantidade menor no estrato superior comprova que o fenômeno chamado “efeito antena” não é verídico. Uma vez que, é perceptível a eficiente distribuição de gotas em todos os estratos da planta, bem como no solo.

Além desses trabalhos, estudos revelam que a tecnologia de pulverização eletrostática tem potencial de diminuir a deriva de defensivos agrícolas, melhorando a deposição de gotas (ASSUNÇÃO, *et al.*, 2020; CUNHA, 2017). Por outro lado, alguns autores chegaram à conclusão de que, mesmo com melhor e maior deposição de gotas nas plantas, o controle de pragas não foi suficientemente bom (não foi superior), especialmente em maiores volumes de aplicação (CUNHA, 2017; YAMANE, 2017).

Contudo, para que seja viável analisar controle de pragas e doenças minuciosamente com a aplicação convencional e a tecnologia de pulverização eletrostática, demanda maior experimentação. Como ainda, critérios de veracidade, acompanhamento e desenvolvimento de protocolos exatamente iguais para bem avaliar.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que a tecnologia de pulverização eletrostática proporciona acréscimo de 648% comparado a aplicação convencional no âmbito de deposições de gotas. No terço médio tem-se percentual positivo de 277%; 200% no terço superior; e decréscimo de

67% de deposição de gotas no solo comparada a aplicação convencional. Em média, respectivamente, 108%, 46.16%, e 33.33%.

Em síntese, os testes revelam informações relevantes para o sucesso das aplicações, demonstrando maior eficiência da tecnologia, em especial a Tecnologia de Pulverização Eletrostática TSBJet, quando comparada a aplicação convencional. Garantindo maior entrega de gotas, melhor distribuição das gotas no dossel, conseqüentemente, maior eficácia dos defensivos agrícolas, menor potencial de deriva, maior segurança ambiental, melhor proteção de plantas, constatações estas que corroboram com o referencial teórico apresentado.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S. **Aspectos fundamentais sobre a tecnologia de aplicação de agrotóxicos.** 200-. Apresentação de Power Point. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355291/12497989/Aspectos+Fundamentais+sobre+a+Tecnologia+de+Aplica%C3%A7%C3%A3o+de+Agrotoxicos.pdf/bd0041ec-59fe-476a-98bd-f1343fb43d00?version=1.0>>. Acesso em: 21 jun. 2020.
- AKESSON, N. B.; YATES, W. E. **Pesticide application equipment and techniques.** Roma: FAO, 1979, 257 p. (FAO Agricultural Services Bulletin).
- ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais.** Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. 2.ed.rev.ampl., 373 p.
- ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários.** Campinas: Linea Criativa, 2004, 52 p.
- ARAÚJO, D. de. *et al.* Interference of spray volume, fruit growth and rainfall on spray deposits in citrus black spot control periods. **Cienc. Rural**, v. 46, n. 5, p. 825-831, maio 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150944>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- ARISMENDI, G. A. **Pulverização eletrostática como ferramenta para melhor deposição e distribuição de gotas na cultura da soja (Glycine Max (L.) Merrill).** Trabalho de Conclusão de Curso - UFSM. Santa Maria - RS, 2021.
- ASSUNÇÃO, H. H. T. *et al.* Spray deposition on maize using an electrostatic sprayer. **Engenharia Agrícola.** 2020 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430->. Acesso em: 12 jan. 2023.
- BUISMAN, P. *et al.* Field deposit patterns of a diflubenzuron spray mix, after application to apple orchard using an air-blast sprayer; and a laboratory evaluation of physical properties an atomization characteristics. **Journal of Environmental Science and Health**, New York, v. 24, n.4, p. 389-411, 1989. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03601238909372656>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- BURAYEV, T. K.; VERESHCHAGIN, I.P. Physical processes during eletrostatic atomisations of liquids. **Fuid Mechanics- Soviet Research**, Moscow, v.1, n.2, p. 56-66, 1972. Disponível em: <https://hal.science/hal-03721328/document>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- CARLTON, J. B.; BOUSE, L. F. **Eletrostatic spinner-nozzle for charging aerial spray.** **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.6, p.1369-1377, 1980. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47088/1/APERFEICOAMENTO-DE-BICO-DE-PULVERIZACAO-ELESTROSTATICA.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- CARVALHO, L. B. **Introdução ao Controle Químico de Plantas Daninhas**, 2020. Apresentação de Power Point. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidade/leonardobiancodecarvalho/dis>>

ciplinas5523/controlquimicodeplantasdaninhas/cqpd_aula1.pdf>. Acesso em 30 de jun. 2020.

CHAIM, A. **Desenvolvimento de um pulverizador eletrodinâmico: avaliação do seu comportamento na produção de gotas e controle de trips (*Enneothrips flavens* Moulton, 1951), em amendoim (*Arachis hypogaea* L.)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Jaboticabal: FCAV-UNESP, 1985, 107 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/9976/desenvolvimento-de-um-prototipo-de-pulverizador-eletohidrodinamico-2--avaliacao-do-seu-comportamento-no-controle-de-trips-enneothrips-flavens-moulton-1941-do-amendoim-arachis-hypogaea-l>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CHAIM, A. Aperfeiçoamento de bico de pulverização eletrostática para geração de gotas com alto nível de carga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.4, p.463-470, 1998. Disponível em: <https://docplayer.com.br/58015934-Aperfeicoamento-de-bico-de-pulverizacao-eletostatica-para-geracao-de-gotas-com-alto-nivel-de-carga-1.html>

CHAIM, A. **História da Pulverização**. Jaguariúna: EMBRAPA/CNPDA, 1999a. p.17.

CHAIM, A. **Pulverização Eletrostática como alternativa para redução do uso de agrotóxicos**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 1999b.

CHAIM, A. *et al.* **Avaliação de perdas de Pulverização em culturas de feijão e de tomate**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 1999c, p.29.

CHAIM, A. **Pulverização Eletrostática**: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna: EMBRAPA/CNPDA, 2006. p.17 (EMBRAPA Meio Ambiente. Documentos, n.57).

CHAIM, A. **Uma nova proposta para a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaguariúna: EMBRAPA/CNPDA, 1990, p.29.

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L. Eficiência de deposição de agrotóxicos obtida com bocal eletrostático para pulverizador motorizado costal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n. 4, p. 497-501, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400011>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CHECHI, A. *et al.* The combined use of spray volumes and droplet sizes in the chemical control of Asian soybean rust in cultivars with different leaf area indices. **Crop Protection**, 136, 105212, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219420301459>. Acesso em: 12 jan. 2023.

COFFEE, R. A. Electrodynamic crop spraying. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v. 10, p. 350-356, 1981.

COFFEE, R. A. **Electrodynamic energy**: a new approach to pesticide application. *In*: BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE: PESTS AND DISEASES, 1979, Brighton. **Proceedings**. Croydon: BCPC, 1979, p. 777-789.

COMBELLACK, J.H. **The problems involved in improving spraying efficiency**. Australian Weeds, Victoria, v. 1, p. 13-19, 1981.

CRAFTS, A. S.; ROBBINS, W. N. **Weeds control**. New York, MacGraw Hill. 323p, 1962.

DA CUNHA, J. P. A. R. *et al.* Spray drift and caterpillar and stink bug control from aerial applications with electrostatic charge and atomizer on soybean crop. **Engenharia Agrícola** v. 37 n. 6 p. 1163-1170. 2017. Disponível em: <https://oi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n6p1163-1170/2017>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DEBORTOLI, M. P. *et al.* Efeito dos espectros de gota associados a diferentes arquiteturas de cultivares de soja no controle da ferrugem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n.7, p. 920-927, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3596/DEBORTOLI%2C%20MONICA%20PAULA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DERKSEN, R. C. *et al.* Field evaluation of application variables and plant density for bell pepper pest management. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.50, n.6, p.1945-1953, 2007. Disponível em: 0.13031/2013.24090. Acesso em: 12 jan. 2023.

ESEHAGHBEYGI, A; TADAYYON, A; BESHARATI, S. Comparison of electrostatic and spinning-discs spray nozzles on wheat weeds control. **Journal of American Science**, v. 6, n. 10, p. 529-533, 2010. Disponível em: http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0612/61_1345am0612_529_533.pdf. Acesso em: 12 jan. 2023.

FAO – Food and Agricultural Organization. **Representante da FAO Brasil apresenta cenário da demanda por alimentos**. Brasília, 29 de jul. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>. Acesso em: 04 ago. 2020.

HIMEL, C. M. Analytical methodology in ULV In: SYMPOSIUM FOR SPECIALISTS IN PESTICIDE APPLICATION BY ULV METHODS, 2., 1974, Cranfield. **Proceedings**. Brighton: British Crop Protection Council, 1974. p. 112-119. (BCPC Monographs, 11).

HISLOP, F. C. Electrostatic ground-rig spraying: an overview. **Weed Technology**, North Dakota, v. 2, p.94-104, 1988.

JONES, A. R.; THONG, K. C. The production of charged monodisperse fuel droplets by electrical dispersion. **Journal of Physics**. Series D. Applied Physics, Bristol, v.4, p.1159-1166, 1971. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(94\)90204-6](https://doi.org/10.1016/0021-8502(94)90204-6). Acesso em: 12 jan. 2023.

LARYEA, G. N.; NO, S.Y. Effect of fan speed and electrostatic charge on deposition of orchard canopy sprays. **Atomization and Sprays**, Redding, v. 15, p.133-144, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/PkW9r8rQLSfLFsgPkR5Y5YG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 jan. 2023.

LAW, S.E. Eletrostatically charged spray. *In*: MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. Chichester: John Wiley & Sons, 4th ed., 2014. p.545.

LAW, S.E. Embedded-electrode electrostatic-induction spray nozzle: theoretical and engineering design. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 21, s/n., p. 1096-1104,

1978. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19790436221>
Acesso em: 12 jan. 2023.

LUCHESE, E. F. **Pulverização eletrostática no controle de *Giberella zea* em trigo e *Spodoptera frugiperda* em milho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/23569>. Acesso em: 12 jan. 2023.

MADALOSSO, M. G *et al.* Cultivares, espaçamento entrelinhas e programas de aplicação de fungicidas no controle de *Phakopsora pachyrhizi* Sidow em soja. **Ciência Rural**, 40, 2256-2261, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010001100002>. Acesso em: 12 jan. 2023.

MAMIDI, V. R. *et al.* Electrostatic hand pressure knapsack spray system with enhanced performance for small scale farms. **Journal of Electrostatics**, v. 71, n. 4, p. 785-790, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010001100002>. Acesso em: 12 jan. 2023.
https://www.dongtaico.com/product/sprayer/?gclid=CjwKCAiA2fmdBhBpEiwA4CcHzZUq9XwiaDMRrBzp8DIRepQ0aXeIiKR2stSeeHRTPwvjh-c1-thIzxoCB_gQAvD_BwE. Acesso em: 12 jan. 2023.

MARTIN, D. E. *et al.* Electrostatically charged aerial application improved spinosad deposition on early season cotton. **Journal of Electrostatics**, v. 97, p. 121-125, 2019. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=260205>. Acesso em: 12 jan. 2023.

MARTINI, A. T. *et al.* Pesticide drift from aircraft applications with conical nozzles and electrostatic system. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p. 1678-1682, 2016. Disponível em: [10.1590/0103-8478cr20151386](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151386). Acesso em: 12 jan. 2023.

MASKI, D.; DURAIRAJ, D. Effects of charging voltage, application speed, targeted height, and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial surfaces. **Crop Protection**, London, v. 29, n. 2, p. 134-141, 2010. Disponível em: [10.1016/j.cropro.2009.10.006](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.10.006). Acesso em: 12 jan. 2023.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. London, Longman. 1979, p.334.

MATUO, T. **Técnicas de Aplicação de Defensivos Agrícolas**. Jaboticabal, FUNEP, 1990, p. 139.

MILLER, E.P. Electrostatic coating. *In*: MOORE, A. D. **Electrostatics and its applications**. New York: John Wiley, 1973. p. 250-306.

PESSOA, M. C. P. Y.; CHAIM, A. Programa computacional para estimativa de uniformidade de gotas de herbicidas aplicados por pulverização aérea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.1, p.45-56, 1999. Disponível em: [https://biblioteca.epagri.sc.gov.br/consulta/busca?b=pc&biblioteca=vazio&busca=\(autoria:%20PESSOA,%20M.%20C.%20P.%20Y.%22\)](https://biblioteca.epagri.sc.gov.br/consulta/busca?b=pc&biblioteca=vazio&busca=(autoria:%20PESSOA,%20M.%20C.%20P.%20Y.%22)). Acesso em: 12 jan. 2023.

SAITO, M. L. As plantas praguicidas - alternativa para o controle de pragas da agricultura. **Informativo Meio Ambiente e Agricultura, Jaguariúna**, v. 12, n. 47, p. 1-3, 2004. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/informati-vo/informativo_47.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2020.

SASAKI, R. S. *et al.* **Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática.** Revista Ciência Rural, Santa Maria-RS, v.43, n.9, p.1605-1609, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000900011>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SMITH, A. E.; SECOY, D. M. Use of plants in control of agricultural and domestic pests. **Economic Botany**, v. 37, p. 28–57, 1975. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4254454>. Acesso em: 12 jan. 2023.

STAWNICZYI, T. J. R. *et al.* Pulverização pneumática eletrostática em videiras ‘Niágara Branca’ e ‘Rosada’. **Revista de Ciências Agroveterinárias** v.18, n.1, 2019. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/12726>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SWATICK, D. S. Nonimpact printing. In: MOORE, A.D. **Eletrostatic and its applications.** New York: John Wiley, 1973, p. 307-335.

TAVARES, R. M. **Sistema de eletrificação de gotas e a eficiência da pulverização eletrostática no controle de Psilídeo *Triozoida limbata* (Enderlein) (Hemiptera: Triozidae) em goiabeira (*Psidium guajava* L.)** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Agronomia) Centro de Curitiba da Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/202809/Tcc_EduardoSchabatoski.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 11 jan. 2023.

THONG, K. C.; WEINBERG, F. J. Electrical control of the combustion of solid and particulates suspensions. **Proceedings of the Royal Society of London.** Series A, London, v. 324, p.201-215, 1971. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/i204374>. Acesso em: 11 jan. 2023.

VONNEGUT, B.; NEWEAUER, R. Production of monodisperse liquid particles by electrical atomization. **Journal of Colloid Science**, New York, v. 7, n.6, p.616-622, 1952. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90163/1/CT-05.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2023.

XIONGKUI, H. *et al.* **Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques.** International Journal of Agricultural and Biological Engineering, Beijing, v. 4, p. 35-40, 2011. Disponível em: <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/393>. Acesso em: 11 jan. 2023.

YAMANE, S.; MIYAZAKI, M. Study on Electrostatic Pesticide Spraying System for Low-Concentration, High-Volume Applications. **Agricultural Engineering**. v.51, p. 11-16. 2017. Disponível em: 10.6090/jarq.511.1. Acesso em: 11 jan. 2023.

ZAMBOLIN, L.; CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. **O que Engenheiros Agrônomos devem saber para orientar o uso de Produtos Fitossanitários**. Viçosa: UFV, p. 376, 2003.

ZHAO, S.; CASTLE, G. S. P.; ADAMIAK, K. Factors affecting deposition in electrostatic pesticide spraying. **Journal of Electrostatics**, London, v. 66, n. 11, p. 594-601, 2008. Disponível em: <https://coek.info/queue/pdf-factors-affecting-deposition-in-electrostatic-pesticide-spraying-.html>. Acesso em: 11 jan. 2023.

ZHENG, J.; ZHOU, H.; XU, Y. **Advances in pesticide electrostatic spraying in China**. St. Joseph, Mich.: ASAE, 2002.

ZHU, H. *et al.* Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 37, n. 5, p. 1401-1407, 1994. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9534631>. Acesso em: 11 jan. 2023.

ZHU, L. *et al.* Droplet impingement behavior analysis on the leaf surface of ShuDisponível em: -ChaZao under different pesticide formulations. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 144, p. 16-25, 2018. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183068168>. Acesso em: 11 jan. 2023.