

**HELI HEROS TEODORO DE ASSUNÇÃO**

**PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA NAS CULTURAS DE SOJA E MILHO:  
EFEITOS NA DEPOSIÇÃO DE CALDA E EFICÁCIA BIOLÓGICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues  
da Cunha

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS – BRASIL

2019

**HELI HEROS TEODORO DE ASSUNÇÃO**

**PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA NAS CULTURAS DE SOJA E MILHO:  
EFEITOS NA DEPOSIÇÃO DE CALDA E EFICÁCIA BIOLÓGICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga

UFU

Prof. Dr. Sérgio Macedo Silva

UFVJM

Dr. Guilherme Sousa Alves

UNL

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

ICIAG - UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS – BRASIL

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

A851p  
2019

Assunção, Heli Heros Teodoro de, 1992

Pulverização eletrostática nas culturas de soja e milho [recurso eletrônico] : efeitos na deposição de calda e eficácia biológica / Heli Heros Teodoro de Assunção. - 2019.

Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1313>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Pulverização. 3. Pulverização e povilhação na agricultura. 4. Milho. 5. Soja. I. Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues da, 1976, (Orient.) II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

---

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

*Dedico a meus pais Raquel e Heli.  
Cada um com seu jeito tiveram  
grande importância para que eu  
chegasse até aqui.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço meus pais e irmãos que foram os primeiros professores que tive na vida e nunca mediram esforços para me orientar no caminho correto e se esforçaram para que eu tivesse as melhores oportunidades possíveis.

Agradeço também a minha esposa Josiane pela compreensão, companheirismo, apoio e ajuda nesses últimos anos.

A todos os professores que cruzaram o meu caminho até este momento. Em especial a meu orientador Prof. João Paulo que em todos meus momentos de dúvidas e conflitos conseguiu, sabiamente, me direcionar para os melhores caminhos sempre com muita tranquilidade e paciência.

Aos bons e grandes amigos da família LAMEC que tiveram grande contribuição neste trabalho e em minha formação no mestrado. Especialmente ao Prof. Sérgio e ao Guilherme que foram, com certeza, meus outros orientadores. Além destes, tive grandes companheiros nestes tempos como o César, Thales, Arthur, Roxanna, Saulo, Ernane entre muitos outros que tive o prazer de conhecer nesta instituição maravilhosa.

Não fazemos nada sozinhos e é impossível lembrar de todos que merecem serem agradecidos, sendo assim agradeço a todos que de alguma forma contribuíram positivamente para que este momento fosse possível.

Obrigado!

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I - Introdução geral .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Pulverização eletrostática .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. A soja .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. O milho .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. A calda fitossanitária.....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Objetivos específicos.....</b>	<b>7</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>8</b>

<b>CAPÍTULO II - Pulverização eletrostática na cultura da soja (<i>Glycine max L.</i>): deposição de calda e eficácia biológica no controle do Ódio (<i>Microsphaera difusa Cooke &amp; Peck</i>). .....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Ensaio 1 - Caracterização físico-química das caldas utilizadas .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Ensaio 2 - Quantificação da eletrização das gotas por meio da relação carga/massa .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3. Ensaio 3 - Experimentos em campo .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.1. Área Experimental.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.2. Delineamento experimental.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.3. Aplicação dos tratamentos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.4. Espectro de gotas .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.5. Deposição de calda .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.6. Eficácia biológica.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4. Análises estatísticas .....</b>	<b>24</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1. Ensaios 1 e 2 - Caracterização físico-química da calda e quantificação da eletrização das gotas .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Ensaio 3 - Experimentos em campo .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1. Estudo dos espectros de gotas produzidos .....</b>	<b>27</b>

3.2.2. Estudos de deposição, perda para o solo e eficácia biológica .....	29
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO III - Pulverização eletrostática na cultura do milho (<i>Zea mays L.</i>) ...</b>	<b>45</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>45</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>49</b>
<b>2.1. Ensaio 1 - Caracterização físico-química das caldas utilizadas .....</b>	<b>49</b>
<b>2.2. Ensaio 2 - Quantificação da eletrização das gotas por meio da relação carga/massa .....</b>	<b>50</b>
<b>2.3. Ensaio 3 - Experimentos em campo .....</b>	<b>52</b>
<b>2.3.1. Área experimental.....</b>	<b>52</b>
<b>2.3.2. Delineamento experimental.....</b>	<b>52</b>
<b>2.3.3. Aplicação dos tratamentos .....</b>	<b>53</b>
<b>2.3.4. Espectro de gotas .....</b>	<b>54</b>
<b>2.3.5. Deposição de calda .....</b>	<b>54</b>
<b>2.4. Análises estatísticas .....</b>	<b>55</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1. Ensaio 1 e 2 - Caracterização físico-química das caldas utilizadas e quantificação da eletrização das gotas por meio da relação carga/massa .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2. Ensaio 3 - Experimentos em campo .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.1. Estudo dos espectros de gotas produzidos .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.2. Estudos de deposição e perda para o solo .....</b>	<b>61</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

Tabela 1. Descrição dos produtos utilizados nos diferentes tratamentos.....	16
Tabela 2. Descrição da composição dos tratamentos.....	17
Tabela 3. Descrição da composição dos tratamentos utilizados no campo.....	21
Tabela 4. Propriedades físico-químicas e relação carga/massa das caldas.....	25
Tabela 5. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), cobertura e densidade de gotas das aplicações eletrostáticas com fungicida e adjuvantes.....	28
Tabela 6. Valores de F calculado obtidos na análise de variância (ANOVA) para os dados de deposição nos terços superior e inferior e perdas para o solo nas Áreas 1 e 2 .....	29
Tabela 7. Massa de marcador retida na folhagem da cultura da soja ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) no terço superior, após as diferentes técnicas de aplicação e composição das caldas.....	31
Tabela 8. Massa de marcador retida nas placas de Petri ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) dispostas como alvo artificial para estimar a perda para o solo, após as diferentes técnicas de aplicação e composição das caldas.....	32
Tabela 9. Valores de F calculado obtidos na análise de variância (ANOVA) para os valores de severidade <sup>+</sup> de oídio nos terços superior e inferior aos 7 e 14 dias após aplicação dos tratamentos na Área 1 .....	33
Tabela 10. Percentual de severidade de oídio nos folíolos de acordo com escala diagramática e controle relativo para os diferentes tratamentos nos terços superior e inferior das plantas aos 7 e 14 dias após aplicação (DAA). ....	34
Tabela 11. Percentual de severidade de oídio nos folíolos de acordo com escala diagramática para as diferentes técnicas de aplicação no terço inferior das plantas 14 dias após aplicação do fungicida.....	35
Tabela 12. Massa de marcador retida na folhagem da cultura da soja ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) no terço superior em função das taxas de aplicação.....	36
Tabela 13. Massa de marcador retida na folhagem da cultura da soja ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) no terço inferior, após as diferentes técnicas e taxas de aplicação. ....	37
Tabela 14. Massa de marcador retida nas placas de Petri ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) dispostas como alvo artificial para estimar a perda para o solo, após a aplicação em diferentes taxas.....	37

## CAPÍTULO III

Tabela 1. Descrição dos produtos utilizados nos diferentes tratamentos. ....	49
Tabela 2. Descrição da composição dos tratamentos. ....	49
Tabela 3. Descrição da composição dos tratamentos utilizados.....	53
Tabela 4. Propriedades físico-química e relação carga/massa das caldas. ....	57
Tabela 5. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), cobertura e densidade de gotas das aplicações eletrostáticas com inseticida e adjuvante.....	60
Tabela 6. Valores de F calculado obtidos na análise de variância (ANOVA) para os dados de deposição nos terços superior e inferior e perdas para o solo das Áreas 1 e 2. ....	61
Tabela 7. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) no terço superior, em função da pulverização eletrostática em aplicações realizadas aos 37 dias após semeadura (1 <sup>a</sup> aplicação) e aos 44 dias após semeadura (2 <sup>a</sup> aplicação)....	62
Tabela 8. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) no terço superior, em função da composição da calda em aplicações realizadas aos 37 dias após semeadura.....	63
Tabela 9. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) no terço inferior, em função das diferentes técnicas de aplicação e composição das caldas em aplicações realizadas aos 37 dias após semeadura. ....	64
Tabela 10. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) no terço inferior, em função das diferentes taxas de aplicação e composição das caldas em aplicações realizadas aos 37 dias após semeadura. ....	64
Tabela 11. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) no terço inferior, em função das diferentes composições das caldas em aplicações realizadas aos 44 dias após semeadura. ....	65
Tabela 12. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) no terço inferior, em função das técnicas e taxas de aplicação das caldas em aplicações realizadas aos 44 dias após semeadura. ....	66
Tabela 13. Massa de marcador retida nas placas de Petri ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) dispostas como alvo artificial para estimar a perda para o solo, em função das diferentes técnicas de aplicação das caldas em pulverizações realizadas aos 37 dias após semeadura (1 <sup>a</sup> aplicação) e a	66

## RESUMO GERAL

**ASSUNÇÃO, HELI HEROS TEODORO DE. Pulverização eletrostática nas culturas de soja e milho: efeitos na deposição de calda e eficácia biológica.** 2019. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

A pulverização eletrostática pode trazer benefícios à aplicação de produtos fitossanitários, dentre eles a redução da taxa de aplicação e o aumento dos depósitos nos alvos. Contudo, pouca informação existe sobre o seu emprego nas culturas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e milho (*Zea mays* (L.)). Diante disso, esse trabalho visou avaliar a eficiência da pulverização eletrostática, em conjunto com o uso de menores taxas de aplicação e diferentes adjuvantes, na deposição de calda em plantas de soja e milho, e no controle químico do ódio da soja (*Microsphaera difusa* Cooke & Peck). Foram instalados experimentos em campo para ambas as culturas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições, em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 2 + 1$ , sendo 2 taxas de aplicação ( $95$  e  $52 \text{ L ha}^{-1}$ ), com e sem eletrização de gotas, 2 composições de calda (óleo mineral e adjuvante sintético) com adição de adjuvante de baixa e alta condutividade elétrica) e 1 tratamento adicional (testemunha sem aplicação). Foram avaliados o espectro de gotas, a deposição de calda, a perda para o solo e, para a soja, a eficácia de controle do ódio. Para analisar a deposição de calda nas plantas e junto ao solo adicionou-se um marcador às caldas. Foi então realizada sua extração para quantificação, por meio de espectrofotometria, as deposições em folhas superiores e inferiores do dossel e em placas de petri colocadas no solo. Na soja foi pulverizada uma calda fungicida (azoxistrobina + benzovindiflupir) e para o milho uma calda inseticida (fenpropatrina). Também foram avaliadas as propriedades físico-químicas das caldas (condutividade elétrica, densidade, viscosidade e tensão superficial) e a relação carga/massa induzida nas gotas pelo equipamento eletrostático. Todos os tratamentos, independente da técnica de aplicação, apresentaram controle do patógeno causador do ódio da soja. A pulverização eletrostática apresentou benefícios para a aplicação em algumas situações e respondeu positivamente ao aumento da condutividade elétrica da calda. Na cultura da soja, não influenciou na perda para o solo, que foi maior com o incremento da taxa de aplicação. Já no milho, aumentou a deposição da calda pulverizada no terço superior e diminuiu a perda para o solo.

**Palavras-chave:** tecnologia de aplicação; eletrização de gotas; *Glycine max*; *Zea mays*.

## ABSTRACT

ASSUNÇÃO, HELI HEROS TEODORO DE. **Electrostatic spraying in soybean and corn crops: effects on deposition and biological efficacy.** 2019. 83p. Dissertation (Master in Agronomy / Phytotechnology) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

The electrostatic spray can bring benefits to the application of phytosanitary products, among them the reduction in the rate of application and the increase of deposits on the targets. However, little information exists on your employment in soybean crops (*Glycine max* (L.) Merrill) and maize (*Zea mays* (L.)). The objective this work was to evaluate the efficiency to the electrostatic spray, in conjunction with the use of lower rates of application and different adjuvants in the spray deposition on plants of soybean and corn plants and in chemical control of powdery mildew of soybean (*Microsphaera diffusa* Cooke & Peck). Experiments were carried out in the field for both crops. The experimental design was a randomized block design with 4 replications, in a  $2 \times 2 \times 2 + 1$  factorial scheme, with 2 application rates ( $95$  and  $52 \text{ L ha}^{-1}$ ), with and without droplet electrification, 2 compositions of syrup (mineral oil and synthetic adjuvant) with the addition of adjuvante of low and high electrical conductivity ) and 1 additional treatment (control without application). Were evaluated the droplet spectrum, the deposition of the syrup, the loss to the soil and, for soybean, the effectiveness of the control of powdery mildew. To analyze the spray deposition on plants and the soil added to a marker to the syrups. It was then extracted for quantification, by means of spectrophotometry, the deposition in upper and lower leaves of the canopy and in petri plates placed on the ground. In the soybean was sprayed a fungicide syrup (azoxystrobin + benzovindiflupir) and the corn an insecticidal syrup (fenpropathrin). Were also evaluated the physicochemical properties of the silts (electrical conductivity, density, viscosity and surface tension) and the load / mass ratio induced in drops by electrostatic equipment. All treatments, regardless of application technique, showed control of the causative pathogen of powdery mildew of soybean. The electrostatic spray presented benefits for the application in some situations and responded positively to the increase of electrical conductivity of syrup. In the soybean crop, did not influence the loss to the soil, which was higher with the increase of the rate of application. In corn, the deposition of the pulverized syrup increased in the upper third and decreased the loss to the soil.

**Keywords:** application technology; droplet electrification; *Glycine max*; *Zea mays*.

# CAPÍTULO I

## Introdução geral

### 1. INTRODUÇÃO

A demanda de alimentos cada vez mais crescente impulsionada pelo aumento exponencial da população mundial e a mudança de hábitos de consumo forçam a agricultura a bater recordes anuais sucessivos de produção. Os dados da plataforma *AMIS Market Database*, pertencente à *Food and Agriculture Organization of the United Nation*, FAO, demonstram isso. Nela pode-se verificar que a soja, por exemplo, teve um aumento de 91,07% de produção mundial, comparando as safras de 2000/2001 e 2017/2018. Já o milho, para as mesmas safras, aumentou sua produção em 83,69%. No Brasil esses números são ainda mais impressionantes para as mesmas safras, o aumento na produção de soja e milho foram de 301,83% e 307,39%, respectivamente (FAO, 2018).

Diante disso, a agricultura precisa lançar mão de tecnologias que garantam o ganho de produtividade, sendo as técnicas envolvidas na aplicação de produtos fitossanitários uma dessas. A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários tem um propósito de extrema relevância, pois deve garantir a deposição do produto fitossanitário no alvo desejado, seja ele o solo, a folha ou um inseto, de forma eficiente, e ainda evitando as perdas para o ambiente (VAN ZYL et al., 2013).

Além disso, existe uma tendência em reduzir a taxa de aplicação, aumentar a cobertura das plantas, garantindo a eficácia dos produtos, otimizando as aplicações de produtos fitossanitários, e consequentemente, reduzindo os custos de produção (FARINHA et al., 2009; FERGUSON et al., 2015).

Neste cenário se insere a pulverização eletrostática uma vez que a combinação desse sistema em consequência a redução das taxas de aplicação pode trazer benefícios à produção agrícola conforme estudos já realizados (ASANO, 1986; CHAIM, 1984, 2006; COFFEE, 1981; LAW, 1966, 2014). Com ela a atividade pode se tornar mais sustentável economicamente, além de reduzir as perdas de produtos fitossanitários para o ambiente ou para organismos não-alvo, e também reduzir contaminações operacionais e de alimentos (CHAIM, 2006; ZHENG et al., 2002).

## **1.1.Pulverização eletrostática**

A pulverização eletrostática na agricultura se popularizou com pesquisas na Universidade da Geórgia no final da década de 1960 (LAW, 1966). Após isso, outros pesquisadores se interessaram por sua aplicação, chegando ao Brasil na década de 1980 (CHAIM, 1984), ganhando mais visibilidade a partir dos anos 2000 com várias pesquisas nacionais, e então, se inserindo timidamente no mercado.

A eletrização das gotas pode permitir maior deposição da pulverização nos alvos, o que leva à melhoria da eficiência da aplicação e, consequentemente, aumento da eficácia biológica em menores taxas de aplicação, quando comparada com métodos convencionais (PATEL et al., 2017).

Para que um pulverizador consiga eletrizar gotas necessita-se criar um desequilíbrio entre prótons e elétrons, retirando, fornecendo ou reorganizando elétrons do mesmo. Normalmente a matéria é eletricamente neutra em seu estado natural, pois apresenta um número igual de elétrons e prótons, cujas cargas de sinal oposto se anulam (CHAIM, 1984).

Sendo assim, em um dos sistemas mais empregados a campo, há uma indução de cargas nas gotas por meio de um campo elétrico gerado por um eletrodo submetido a altas tensões que é colocado a uma distância e posição conhecida da zona de formação das gotas. Este induz uma carga elétrica de polaridade oposta a do eletrodo nas gotas (LAW, 2014).

A atração das gotas para as plantas é composta por duas partes. A primeira é composta pela força eletrostática da própria gota eletrizada. Já a segunda se deve ao campo elétrico do eletrodo, que se encontra no bico de pulverização e da nuvem de gotas carregadas que é gerada (CHAIM, 2006).

A nuvem de gotas carregadas impulsiona um gradiente de potencial elétrico próximo à superfície de contato induzindo cargas de polaridade oposta (LAW, 2014). Isso promove aumento da deposição nas plantas, que são as superfícies mais próximas aos bicos, que estão ligadas ao solo, portanto, aterradas (ASANO, 1986).

A força eletrostática é produto da carga pelo campo elétrico  $F = qE$ , onde  $F$  é a força eletrostática (Newtons),  $q$  é a carga da gota (Coulomb) e  $E$  é o campo elétrico (Volts/metros). Com isso, é possível relacionar parâmetros que geram efeitos diretamente proporcionais na força eletrostática, tanto a carga das gotas, quanto a amplitude do campo elétrico gerado (ASANO, 1986; HALLIDAY et al., 2011).

Desta forma, para que se acresçam os benefícios da pulverização eletrostática é possível alterar algumas características em campo, como a tensão induzida, condutividade elétrica do líquido a ser pulverizado e quantidade de líquido pulverizado nos bicos no tempo ( $L\text{ minutos}^{-1}$ ).

A condutividade elétrica da calda de aplicação exerce assim influência na amplitude da eletrização das gotas, já que certos produtos fitossanitários como fungicidas e adjuvantes podem proporcionar ganhos na condutividade elétrica e influenciar na atração das gotas e maior deposição da calda (SASAKI et al., 2015; PATEL et al., 2017).

A deposição do produto fitossanitário no alvo desejado está intimamente ligada à sua eficácia biológica, sendo aquela correlacionada também ao espectro de gotas produzidas na pulverização. Gotas menores podem melhorar resultados de cobertura foliar e número de gotas impactadas em uma folha, porém são mais suscetíveis à deriva, tanto por evaporação quanto por serem facilmente carregadas pelo vento (MINGUELA; CUNHA, 2013).

Esta é uma questão bastante problemática no campo para o aplicador, necessitando decidir entre gotas grossas, menos susceptíveis à deriva e à evaporação, mas que promovem menor cobertura do alvo e são mais propícias ao escorramento, ou gotas finas.

As principais forças envolvidas no carregamento de gotas para os alvos são, segundo Coffee (1981), o vento e a força gravitacional. O autor ainda demonstra que gotas com diâmetros entre 40 e 120  $\mu\text{m}$  são predominantemente coordenadas pela ação do vento. Já para gotas maiores que 200  $\mu\text{m}$  a força gravitacional é determinante em sua trajetória.

Ao se adicionar mais uma força (eletrostática) a esse sistema a possibilidade das gotas atingirem o alvo é significativamente aumentada. Law (2014) demonstrou que a força eletrostática supera em grandeza a força gravitacional na ordem de 51 vezes para gotas de 30  $\mu\text{m}$  de diâmetro e 14 e 4 vezes para gotas de 100 e 300  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Isto sugere que é possível tornar a utilização de gotas menores em sistemas eletrostáticos mais segura que em sistemas convencionais.

A utilização da técnica de pulverização eletrostática já demonstrou em pesquisas que pode reduzir a taxa de aplicação em até três vezes com a mesma eficácia biológica (CHAIM, 2006). Como prova disso Tavares et al. (2016), em experimento realizado com um pulverizador costal motorizado equipado com kit eletrostático, aplicando 100  $L\text{ ha}^{-1}$  alcançaram similar eficácia biológica de uma aplicação convencional, não eletrostática, com 600  $L\text{ ha}^{-1}$  no controle do psilídeo (*Trioza limbata*) em plantas de goiabeiras

(*Psidium guajava* L.). E Cunha et al. (2017a) com aplicação aérea dotada de sistema eletrostático, aplicando 10 L ha<sup>-1</sup> e atomizador rotativo aplicando 20 L ha<sup>-1</sup> em soja (*Glycine max* L. Merrill) no controle de lagartas e percevejos, não observaram diferença entre os tratamentos, tanto no controle do complexo de lagartas quanto de percevejos.

Apesar de ser um sistema que vem mostrando resultados positivos, sua utilização no campo ainda é pouca e o investimento inicial ainda é relativamente alto. Desta forma, necessita-se de mais estudos para validarem diferentes aplicações em condições variadas de campo para realizarem melhorias possíveis, barateando e disseminando seu uso.

### **1.2. A soja**

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é o quarto grão mais produzido no mundo e o primeiro no Brasil, chegando a cerca 119,2 milhões de toneladas e 35,149 milhões de hectares semeados (57% da área total semeada com grãos no País) para a safra 2017/2018 (CONAB, 2018). Devido a grande importância mundial dessa cultura muitas pesquisas são feitas todos os anos com diferentes abordagens a seu respeito. Dentre estas, as que envolvem a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Como exemplo, a cultura após o florescimento apresenta um grande fechamento do dossel, dificultando a deposição de calda nas partes inferiores das plantas, o que pode levar a um controle ineficiente dos problemas fitossanitários. Neste sentido, a pulverização precisa vencer a barreira imposta pelas folhas, o que nem sempre se consegue com as técnicas tradicionais.

Uma das grandes dificuldades no campo são as doenças foliares, muito comuns na cultura da soja, sendo o Oídio, causado pelo fungo biotrófico *Microsphaera difusa* Cooke & Peck, uma delas (AMORIM et al., 2018). Presente nas fases vegetativas e reprodutivas da cultura, sua infecção é favorecida por altas umidades relativa do ar (50-90%) e quando as plantas se encontram entre os estádios R1 (início da floração) e R6 (formação completa das sementes) (BLUM et al., 2002). Em geral, a esporulação dos ódios só ocorre com a umidade relativa abaixo do ponto de saturação, podendo ser totalmente inibida pelo molhamento foliar (AMORIM et al., 2018).

### **1.3. O milho**

A cultura do milho (*Zea mays* L.) destaca-se como sendo um dos principais cereais produzidos no Brasil, tendo aptidões diversas como grãos, silagem, milho verde

(consumo in natura), entre outras. Durante seu cultivo, diversos fatores podem comprometer seu potencial produtivo como pragas, doenças e plantas infestantes.

Apesar do amplo uso de híbridos com resistência a lepidópteros (LOURENÇÂO; FERNANDES, 2013), o cultivo do milho ainda apresenta problemas com infestações de lagartas, por exemplo, a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) (MICHELLOTO et al., 2011).

Especialmente para *Spodoptera frugiperda*, a qual se aloja no interior do cartucho, local de difícil acesso, a tecnologia de aplicação encontra inúmeros desafios para proporcionar maior deposição nesse alvo, sobretudo quando produtos não sistêmicos são utilizados (TAVARES et al., 2017).

Para isso, novas ferramentas têm sido investigadas, como a pulverização eletrostática, já que podem permitir maior deposição nas culturas. Como exemplo, estudos anteriores relatam ganhos em deposição na ordem de 0,5 a 2,5 vezes e também redução de 6 vezes da taxa de aplicação tradicionalmente utilizada (DERKSEN et al., 2007; LARYEA; NO, 2005; XIONGKUI et al., 2011).

Em vista dos problemas fitossanitários que podem resultar em perdas na produtividade das culturas, acredita-se que mais estudos sobre tecnologia de aplicação devem ser investigados na soja e no milho. Mediante as dificuldades de se ter menor deposição de calda nos terços, é possível que ao se usar os princípios do sistema de pulverização eletrostático possam ser obtidos ganhos ou melhores resultados em vista das aplicações tradicionais.

#### **1.4. A calda fitossanitária**

A eficácia de produtos fitossanitários está diretamente associada à sua reação na calda de aplicação (CUNHA; ALVES, 2009). Dessa forma, a melhoria das técnicas de aplicações depende de vários fatores como conhecimento das condições ambientais no momento da aplicação (umidade relativa do ar, temperatura, velocidade e direção do vento), das características de cada produto, assim como o conhecimento das características físico-químicas das caldas fitossanitárias que serão formadas.

Estas características podem ser alteradas tanto pelo próprio produto fitossanitário quanto pelos adjuvantes adicionados. Segundo Kissman (1998), adjuvante de uso agrícola é qualquer substância sem propriedades fitossanitárias - exceto a água -

capaz de facilitar a aplicação, reduzir os riscos à qualidade do processo e aumentar a eficiência dos produtos empregados.

Entre as principais características que um adjuvante pode apresentar, estão a capacidade de alterar o tempo de evaporação, o tamanho e o ângulo de contato das gotas, a área de molhamento e espalhamento do produto nas folhas, a condutividade elétrica, o pH e a tensão superficial da calda fitossanitária (CUNHA et al., 2017b; CUNHA; ALVES, 2009; MENDONÇA et al., 2007).

Dentre as diferentes características que influenciam a aplicação, a condutividade elétrica da calda de aplicação pode, segundo Patel et al. (2017), alterar a amplitude da eletrização das gotas nos sistemas eletrostáticos com impacto direto na atração das gotas e maior deposição da calda nos alvos, o que implica em maior eficácia biológica.

Outro aspecto relacionado a aplicação da calda fitossanitária é a taxa em que ela é aplicada. Esta ainda é um aspecto bastante desuniforme nas aplicações, sendo, muitas vezes, definida regionalmente de produtor a produtor. No entanto, há uma tendência de se reduzir a taxa, visando a diminuir os custos de aplicação e aumentar a eficiência das aplicações, além da capacidade operacional dos pulverizadores (CUNHA et al., 2018; FARINHA et al., 2009; FERGUSON et al., 2016).

A redução da taxa de aplicação deve ser uma decisão técnica com tecnologias que proporcionem essa diminuição sem prejuízo na eficiência das aplicações. Dentre as tecnologias que tem potencial de atingir esses objetivos está a tecnologia de aplicação eletrostática, que tem sido estudada por diversos pesquisadores (ASANO, 1986; CHAIM, 1984, 2006; COFFEE, 1981; CUNHA et al., 2017a; LAW, 1966, 2014; PATEL et al., 2017). Contudo, ainda não há clareza quanto sua viabilidade técnica em diferentes condições operacionais, visto a grande variabilidade do desempenho obtido, necessitando de mais estudos.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a eficiência da pulverização eletrostática nas culturas de milho e soja em diferentes taxas de aplicação e composições de calda.

### **2.1. Objetivos específicos**

Quantificar a deposição da calda fitossanitária nos terços superior e inferior das plantas de soja e milho e as perdas para o solo com emprego de um sistema de pulverização eletrostático em diferentes condições operacionais.

Estudar a influência da técnica de pulverização eletrostática na eficácia biológica das aplicações de fitossanitários.

Determinar as características físico-químicas de diferentes caldas fitossanitárias e quantificar a eletrização das gotas pulverizadas com sistema eletrostático para relacionar suas interferências na deposição e eficácia biológica.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**. 5. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2018. v. 1.
- ASANO, K. Electrostatic spraying of liquid pesticide. **Journal of Electrostatics**, Amsterdam, v. 18, n. 1, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3886\(86\)90016-1](https://doi.org/10.1016/0304-3886(86)90016-1)
- BLUM, L. E. B.; REIS, E. F.; PRADE, A. G.; TAVELA, V. J. Fungicidas e mistura de fungicidas no controle do ódio da soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 12, p. 216-218, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-41582002000200016>
- CHAIM, A. **Desenvolvimento de um pulverizador eletrohidrodinâmico: avaliação do seu comportamento na produção de gotas e controle de trips (*Enneothrips flavens* Moulton, 1951), em amendoim (*Arachishy pogaea* L.)**. 1984. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista ‘Julio de Mesquita Filho’, Jaboticabal, 1984.
- CHAIM, A. **Pulverização Eletrostática**: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 17 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 57). DOI: <https://doi.org/10.5380/pes.v17i0.3181>
- COFFEE, R. A. Electrodynanic crop spraying. **Outlook on Agriculture**, v. 10, n. 7, p. 350-356, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1177/003072708101000709>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 12 Safra 2017/18 - Décimo segundo levantamento, Brasília, DF: CONAB, 2018.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciencia**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.
- CUNHA, J. P. A. R.; BARIZON, R. R. M.; FERRACINI, V. L.; ASSALIN, M. R.. Spray drift and caterpillar and stink bug control from aerial applications with electrostatic charge and atomizer on soybean crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 6, p.1163-1170, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n6p1163-1170/2017>
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017b.
- CUNHA, J. P. A. R.; VICTOR, A. P.; SALES, C. G. R. Spray deposition on soybean crop using different travel speeds and application rates. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 1, p. 82-87, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n1p82-87/2018>
- DERKSEN, R. C.; VITANZA, S.; WELTY, C.; MILLER, S.; BENNETT, M.; ZHU, H. 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.  
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.24090>

FARINHA, J. V.; MARTINS, D.; COSTA, N. V.; DOMINGOS, V. D. Deposição da calda de aplicação em cultivares de soja no estádio R1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p.1738-1744, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000600016>

FERGUSON, J. C.; CHECHETTO, R. G.; HEWITT, A. J.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. T.; KRUGER, G. R.; O'DONNELL, C. C. Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, Guildford, v. 81, n. 1, p. 14-19, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.11.013>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **AMIS Market Database**. FAO, 2018. Disponível em: <http://statistics.amis-outlook.org/data/index.html>. Acesso em: 22 ago. 2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S.; STANLEY, P. E. **Fundamentos da Física: eletromagnetismo**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. v. 3. 390 p.

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELLES, S. B. (org.). **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias**. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária, Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p. 39-51.

LARYEA, G. N.; NO, S. Y. Effect of fan speed and electrostatic charge on deposition of orchard canopy sprays. **Atomization and Sprays**, Danbury, v. 15, n. 2, p. 133-144, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1615/AtomizSpr.v15.i2.20>

LAW, S. E.; BOWEN, H.D. Charging liquid spray by electrostatic induction. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 9, n. 4, p. 501-506, 1966. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.40016>

LAW, S. E. Electrostatically charged sprays. In: MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 4. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2014. 545 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118351284.ch10>

LOURENÇÂO, A. L. F.; FERNANDES, M. G. Evaluation of Cry1Ab and Cry1F Bt maize genotypes for the control of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith. 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) under field conditions. **Científica**, Jaboticabal, v. 41, n. 2, p. 164-188, 2013.

MENDONÇA, C. G.; RAETANO, C. G.; MENDONÇA, C. G. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. esp., p. 16-23, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000200003>

MICHELOTTO, M. D.; FINOTO, E. L.; MARTINS, A. L. M.; DUARTE A. P. Interação entre transgênicos (Bt) e inseticidas no controle de pragas-chave em híbridos

de milho-safrinha. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 1, p. 71-79, 2011.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. 1. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013. 588 p.

PATEL, M. K.; PRAVEEN, B.; SAHOO, H. K.; PATEL, B.; KUMAR, A.; SINGH, M.; NAYAK, M. K.; RAJAN, P. An advance air-induced air-assisted electrostatic nozzle with enhanced performance. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 135, p. 280-288, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.02.010>

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; SANTIAGO, H.; MADUREIRA, R. P.; MACIEL, C. F. S.; FERNANDES, H. C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 274-279, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131604>

TAVARES, R. M.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, T. C.; BUENO, M. R.; SILVA, S. M.; ZANDONADI, C. H. S. Electrostatic spraying in the chemical control of *triozoida limbata* (enderlein) (hemiptera: triozidae) in guava trees (*psidium guajava* l.). **Pest Management Science**, Sussex, v. 73, p. 1148-1153, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4433>

TAVARES, R. M.; SILVA, J. E. R.; ALVES, G. S.; ALVES, T. C.; SILVA, S. M.; CUNHA, J. P. A. R. Tecnologia de aplicação de inseticidas no controle da lagarta-do-cartucho na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 1, p. 30-42, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n1p30-42>

VAN ZYL, J. G.; FOURIE, P. H.; SCHUTTE, G. C. Spray deposition assessment and benchmarks for control of Alternaria brown spot on mandarin leaves with copper oxychloride. **Crop Protection**, Guildford, v. 46, n. 4. p. 80-87, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.12.005>

XIONGKUI, H.; AIJUN, Z.; YAJIA, L.; JIANLI, S. Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Pequim, v. 4, n. 1, p. 35-40, 2011. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2011.01.035-040

ZHENG, J.; ZHOU, H.; XU, Y. Advances in pesticide electrostatic spraying research in China. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING/CIGR WORLD CONGRESS, 15, 2002, Chicago, Anais... St. Joseph.: ASAE, 2002. (Paper nº 021034).

## CAPÍTULO II

### Pulverização eletrostática na cultura da soja: deposição de calda e eficácia biológica no controle do Oídio (*Microsphaera difusa* Cooke & Peck).

#### RESUMO

A pulverização eletrostática pode trazer benefícios à aplicação de produtos fitossanitários, dentre eles a redução da taxa de aplicação e o aumento dos depósitos nos alvos. Contudo, pouca informação existe sobre seu emprego na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill). Diante disso, esse trabalho visou avaliar a eficiência da pulverização eletrostática, em conjunto com o uso de menores taxas de aplicação e diferentes caldas, na deposição de calda na cultura da soja e no controle químico do oídio (*Microsphaera difusa* Cooke & Peck). O experimento em campo com a semeadura de soja foi conduzido em duplicata. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições, em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 2 + 1$ , sendo 2 taxas de aplicação ( $95$  e  $52 \text{ L ha}^{-1}$ ), com e sem eletrização de gotas, 2 composições de calda (óleo mineral e adjuvante sintético) e 1 tratamento adicional (testemunha sem aplicação). Foram avaliados o espectro de gotas, a deposição de calda, perda para o solo e a eficácia de controle de oídio. Para analisar a deposição de calda nas plantas e junto ao solo, adicionou-se um marcador à calda, para ser detectado por espectrofotometria, após sua extração das folhas superiores e inferiores do dossel e de placas de Petri colocadas junto ao solo. O controle de oídio com a calda fungicida (azoxistrobina + benzovindiflupir) foi avaliado por meio do emprego de escala diagramática. Também foram avaliadas as propriedades físico-químicas da calda (condutividade elétrica, densidade, viscosidade e tensão superficial) e a relação carga/massa induzida nas gotas. Todos os tratamentos, independente da técnica de aplicação, apresentaram controle do patógeno causador do oídio da soja. A pulverização eletrostática apresentou benefícios para a aplicação em algumas situações e respondeu positivamente ao aumento da condutividade elétrica da calda. Contudo, não influenciou a perda de calda para o solo, que foi maior com incremento da taxa de aplicação.

**Palavras-chave:** Taxa de aplicação; eletrização de gotas; tecnologia de aplicação; deposição de calda.

**Electrostatic spraying in soybean crop: pesticide deposition and biological efficacy  
in the control of powdery mildew (*Microsphaera diffusa* Cooke & Peck).**

**ABSTRACT**

The electrostatic spray can bring benefits to the application of phytosanitary products, among them the reduction in the rate of application and the increase of deposits on the targets. However, little information exists on its employment in soybean (*Glycine max* L. Merrill). This work aimed to evaluate the efficiency of the electrostatic spray, in conjunction with the use of lower rates of application and different treatments, on the spray deposition in the soybean crop and chemical control of powdery mildew (*Microsphaera diffusa* Cooke & Peck). The field experiment with soybean seeding was conducted in duplicate. The experimental design was a randomized block design with 4 replications, in a  $2 \times 2 \times 2 + 1$  factorial scheme, with 2 application rates (95 and 52 L ha<sup>-1</sup>), with and without droplet electrification, 2 compositions of syrup (mineral oil and synthetic adjuvant) and 1 additional treatment (control without application). We evaluated the droplet spectrum, the deposition of syrup, loss to the soil and the effectiveness of control of powdery mildew. To analyze the deposition of syrup on the plants and near the soil, a marker was added to the syrup, to be detected by spectrophotometry, after its extraction of upper and lower leaves of the canopy and Petri plates placed near the soil. The control of powdery mildew with the fungicide syrup (azoxystrobin + benzovindiflupir) was evaluated by means of the employment of a diagrammatic scale. Were also evaluated the physico-chemical properties of the syrup (electrical conductivity, density, viscosity and surface tension) and the charge / mass ratio induced in the drops. All treatments, regardless of application technique, showed control of the causative pathogen of powdery mildew of soybean. The electrostatic spray presented benefits for the application in some situations and responded positively to the increase of electrical conductivity of the syrup. However, it does not influence the loss of syrup to the soil, which was higher with increase in the rate application.

**Keywords:** Application rate; droplet electrification; application technology; pesticide deposition.

## **1. INTRODUÇÃO**

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é o quarto grão mais produzido no mundo e o primeiro no Brasil, chegando a cerca 119,2 milhões de toneladas e 35,149 milhões de hectares semeados (57% da área total semeada com grãos no País) para a safra 2017/2018 (CONAB, 2018). Devido a grande importância mundial dessa cultura muitas pesquisas são feitas todos os anos com diferentes abordagens a seu respeito. Dentre estas, as que envolvem a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Como exemplo, a cultura após o florescimento apresenta um grande fechamento do dossel, dificultando a deposição de calda nas partes inferiores das plantas, o que pode levar a um controle ineficiente dos problemas fitossanitários. Neste sentido, a pulverização precisa vencer a barreira imposta pelas folhas, o que nem sempre se consegue com as técnicas tradicionais.

Uma das grandes dificuldades no campo são as doenças foliares, muito comuns na cultura da soja, sendo o Oídio, causado pelo fungo biotrófico *Microsphaera difusa* Cooke & Peck, uma delas (AMORIM et al., 2018). Presente nas fases vegetativas e reprodutivas da cultura, sua infecção é favorecida por altas umidades relativa do ar (50-90%) e quando as plantas se encontram entre os estádios R1 (início da floração) e R6 (formação completa das sementes) (BLUM et al., 2002). Em geral, a esporulação dos ódios só ocorre com a umidade relativa abaixo do ponto de saturação, podendo ser totalmente inibida pelo molhamento foliar (AMORIM et al., 2018).

Na ocasião da infecção, os sintomas apresentados são a presença de pulverulência esbranquiçada na superfície foliar composta por fina camada de micélio e esporos, podendo apresentar uma coloração castanho-acinzentada cobrindo as duas faces da folha com sua evolução, o que remete a uma cobertura de sujeira (SANTOS et al., 2018).

Seu tratamento é necessário, pois sob condições de infecção severa o fungo causa dano direto ao tecido foliar e impede a fotossíntese resultando em folhas secas que caem prematuramente, dando aspecto de soja dessecada por herbicida (NIERO et al., 2007). Também pode ocasionar perdas de produtividade variando entre 26 e 50% em função do estádio fenológico em que ocorre a infecção (IGARASHI et al., 2010).

É um fungo que coloniza externamente ao hospedeiro, somente com seus micélios na superfície das folhas, emitindo unicamente os haustórios para células da epiderme (AMORIM et al., 2018). Isso o torna sensível a taxa de aplicação maiores que podem promover a retirada dos micélios das superfícies das folhas.

Apesar desta sensibilidade o aumento do volume das aplicações não é uma saída econômica para esta doença. Há uma tendência a se reduzir o volume de calda, visando a diminuir os custos de aplicação e aumentar a eficiência das aplicações, além da capacidade operacional dos pulverizadores (CUNHA et al., 2018; FARINHA et al., 2009; FERGUSON et al., 2016).

Dentre as tecnologias que tem potencial de atingir esses objetivos, está a tecnologia de aplicação eletrostática que já vem sendo estudada por alguns pesquisadores a algumas décadas até os dias de hoje (ASANO, 1986; CHAIM, 1984, 2006; COFFEE, 1981; CUNHA et al., 2017a; LAW, 1966, 2014; PATEL et al., 2017). A eletrização das gotas pode promover maior deposição da pulverização nos alvos, o que leva a melhoria da eficiência da aplicação e consequente aumento da eficácia biológica em menores taxas de aplicação, quando comparada com métodos convencionais (PATEL et al., 2017).

Outra tecnologia que coopera com a melhoria técnica das aplicações é o uso de adjuvantes. Eles alteram as características físico-químicas das caldas fitossanitárias, podendo modificar o padrão de deposição da calda sobre o alvo desejado. Adjuvante de uso agrícola pode ser definido, segundo Kissmann (1998), como qualquer substância ou composto sem propriedades fitossanitárias, exceto a água, com capacidade de facilitar, aumentar a eficiência ou diminuir os riscos da aplicação.

Alguns destes adjuvantes podem apresentar características diversas como alterar o tempo de evaporação, o tamanho e o ângulo de contato das gotas, o molhamento e o espalhamento do produto nas folhas, além da condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico (pH) e tensão superficial da calda fitossanitária (CUNHA et al., 2017b; CUNHA; ALVES, 2009; MENDONÇA et al., 2007; MONTÓRIO et al., 2004).

A existência de inúmeras formulações no mercado, tanto de produtos fitossanitários como de adjuvantes, torna complexa a interação entre eles possibilitando que o efeito desses possa estar condicionado também à presença ou não daqueles na calda e ao tipo da formulação dos produtos (CUNHA et al., 2017b).

Dentre as diferentes características que influenciam a aplicação, a condutividade elétrica da calda de aplicação pode, segundo Patel et al. (2017), alterar a magnitude da eletrização das gotas com impacto direto na atração das gotas e maior deposição da calda nos alvos e consequente maior eficácia biológica.

A vasta quantidade de doenças que atingem a cultura da soja impulsiona a pesquisa em busca de plantas menos suscetíveis, moléculas mais eficientes e melhores técnicas de aplicação, uma vez que a cultura é de extrema importância para a agricultura nacional e

mundial. Entretanto, quando se busca por trabalhos científicos que envolvam a aplicação de fitossanitários na soja por meio da utilização de pulverizadores eletrostáticos o número é reduzido. Associando pulverizadores terrestres de barra a sistemas eletrostáticos, esse número é ainda mais limitado, sendo a maioria das pesquisas em aplicações aéreas. Desta forma, o trabalho visou avaliar a eficiência da pulverização eletrostática em conjunto com o uso de menores taxas de aplicação e diferentes caldas, na deposição de calda na cultura da soja e no controle do Oídio.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado tanto em campo como em laboratório, sendo todas suas etapas descritas a seguir.

### 2.1. Ensaio 1 - Caracterização físico-química das caldas utilizadas

A determinação das características físico-químicas das caldas foi realizada no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos, e quatro repetições, compostos pelo fungicida (azoxistrobina 300 g kg<sup>-1</sup> e benzovindiflupir 150 g kg<sup>-1</sup>) em duas concentrações (0,89 g L<sup>-1</sup> e 2,96 g L<sup>-1</sup>) presença ou não do adjuvante recomendado pelo fabricante (0,5% e 0% v v<sup>-1</sup>) (óleo mineral do grupo químico hidrocarbonetos alifáticos - adjuvante de baixa condutividade elétrica, OM), presença ou não do adjuvante de elevação da condutividade elétrica (0,05% e 0% v v<sup>-1</sup>) (adjuvante sintético, AS) e um composto pela água utilizada nos tratamentos anteriores. As concentrações das quatro diferentes caldas corresponderam às aplicadas nos tratamentos do experimento conduzido posteriormente em campo. Todos os produtos utilizados e a composição dos tratamentos estão descritos nas Tabela 1 e Tabela 2.

As soluções após serem preparadas utilizando-se 50 mL de água destilada à temperatura de 25 °C, foram acondicionadas em recipientes plásticos com capacidade de 0,1 L.

Tabela 1. Descrição dos produtos utilizados nos diferentes tratamentos.

Produto	Composição	Formulação	Dose (g ha <sup>-1</sup> )
Fungicida	azoxistrobina 300 g kg <sup>-1</sup> e benzovindiflupir, 150 g kg <sup>-1</sup>	Granulado dispersível	200
Adjuvante	Composição	Formulação	Concentração (% v v <sup>-1</sup> )
OM	óleo mineral (hidrocarbonetos alifáticos), 428 g L <sup>-1</sup>	Concentrado emulsionável	0,5
AS	adjuvante sintético (Nitrogênio - 34,5 g L <sup>-1</sup> , fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) - 207 g L <sup>-1</sup> , acidulante - 30,8 g L <sup>-1</sup> e tensoativo siliconado - 57,5 g L <sup>-1</sup> )	Suspensão	0,05

OM = óleo mineral; AS = adjuvante sintético.

Tabela 2. Descrição da composição dos tratamentos.

<b>Tratamentos</b>	<b>Fungicida (g L<sup>-1</sup>)</b>	<b>OM (% v v<sup>-1</sup>)</b>	<b>AS (%v v<sup>-1</sup>)</b>
<b>0,89 OM</b>	0,89	0,5	-
<b>0,89 AS</b>	0,89	-	0,05
<b>2,96 OM</b>	2,96	0,5	-
<b>2,96 AS</b>	2,96	-	0,05
<b>Água</b>	-	-	-

Fungicida: azoxistrobina 300 g kg<sup>-1</sup> e benzovindiflupir 150 g kg<sup>-1</sup>. OM: óleo mineral do grupo químico hidrocarbonetos alifáticos (adjuvante de baixa condutividade elétrica). AS: adjuvante sintético (adjuvante de alta condutividade elétrica).

As características avaliadas foram tensão superficial, condutividade elétrica, pH, viscosidade dinâmica e densidade da calda, conforme metodologia utilizada por Cunha e Alves (2009) e Cunha et al. (2017b). A tensão superficial foi determinada utilizando-se um tensiômetro de bancada (Kruss, K6, Hamburgo, Alemanha) pelo método do anel de Du Nuoy. Neste método, coloca-se o anel sobre a superfície do líquido e mede-se a força requerida para separar o anel da superfície. O pH e a condutividade elétrica foram medidos diretamente nas soluções utilizando-se um peágâmetro e condutivímetro portátil (AKSO, AK59, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil). Anteriormente à realização das leituras, o equipamento foi calibrado por meio de soluções-padrão fornecidas pelo fabricante do aparelho.

A viscosidade dinâmica foi determinada empregando um viscosímetro rotativo microprocessado (Quimis, Q860M21, Diadema, São Paulo, Brasil), o qual permite medir eletronicamente a força de torção já convertida em viscosidade. Este viscosímetro de medição direta funciona pelo princípio da rotação de um cilindro (cabeça de medição) submerso na amostra a ser analisada, medindo-se a força da torção necessária para superar a resistência da rotação. Utilizou-se o rotor zero e rotação de 60 rpm.

Para determinação da densidade das amostras foram identificados e pesados quatro balões volumétricos de 100 mL vazios em balança de precisão. Após isso acondicionou-se 100 mL de cada calda nestes balões e foram novamente levados à balança de precisão. Através da diferença entre a massa do balão volumétrico cheio e vazio e o volume conhecido, foi possível calcular a densidade da amostra.

## **2.2. Ensaio 2 - Quantificação da eletrização das gotas por meio da relação carga/massa**

Para determinação da capacidade de eletrização das gotas foi realizado um experimento na área da Fazenda Experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia – MG.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (Tabela 2) e quatro repetições, a fim de verificar a influência das caldas de pulverização no funcionamento de um sistema de eletrização de gotas, através da análise da relação carga/massa ( $Q/M$ ).

As condições ambientais foram monitoradas durante a realização do experimento através de um termo-higro-anemômetro digital (Kestrel, 4000, Boothwyn, Pensilvânia, U.S.A.) com temperaturas mínima de 26,9°C e máxima de 30°C, umidade relativa do ar entre 65% e 66,4% e ventos com velocidades entre 0,0 e 4,9 km h<sup>-1</sup>.

Neste ensaio, analisou-se um bico presente no equipamento eletrostático empregado no ensaio de campo (descrição completa no item 2.3). A pressão e a vazão de trabalho também foram as mesmas. A tensão regulada no equipamento foi de 6,95 kV.

A quantidade de carga do sistema foi determinada através do método da gaiola de Faraday usado por Chaim (1998) e Tavares et al. (2017). A saída do bico do pulverizador foi mantida a 0,05 m de distância da abertura da gaiola. Essa foi construída em estrutura cilíndrica de aço galvanizado, envolto com tela metálica com abertura de 3,033 mm e fio de 1,2 mm de diâmetro. As dimensões de 0,8 m de diâmetro e 0,6 m de comprimento foram adotadas para que todo o jato de pulverização fosse captado pela gaiola. O isolamento da gaiola foi promovido por uma haste de madeira de 1,6 m de comprimento com 0,5 m da haste abaixo do nível do solo.

Padronizou-se a espera de 5 segundos após o pulverizador entrar em funcionamento e, em seguida, pulverizou-se durante 1 min no interior da gaiola. Após isso, mensurou-se a quantidade de líquido pulverizada com o auxílio de uma proveta graduada com precisão de 5 mL.

Além do volume de líquido pulverizado foi necessário a determinação da densidade das caldas. Esta foi determinada por meio da relação entre a massa da calda e o volume amostrado. Assim, determinou-se a massa de líquido pulverizada no interior da gaiola por unidade de tempo (kg s<sup>-1</sup>).

A aferição da corrente elétrica presente nas gotas pulverizadas foi realizada por meio de um multímetro (Minipa®, ET-2517<sup>a</sup>, Joinville, Santa Catarina, Brasil) conectado a gaiola e a um aterramento. O modelo de multímetro utilizado apresenta escala de medição para corrente elétrica de 0 a 600  $\mu\text{A}$  e precisão de  $\pm 0,2\%$ . O aterramento do multímetro foi realizado pela utilização de uma barra de cobre enterrada a 2 m abaixo do nível do solo, semelhantemente à metodologia empregada por Maski e Durairaj (2010) e Tavares et al. (2017). As leituras no multímetro foram feitas no modo de corrente elétrica contínua.

Assim, foi determinada a corrente elétrica que o jato de gotas pulverizadas induzia na gaiola, a fim de verificar a relação carga/massa ( $Q/M$ ) através da relação entre a corrente elétrica e a quantidade da massa de líquido pulverizada ( $\text{kg s}^{-1}$ ), conforme a seguinte equação (SASAKI et al., 2015):

$$Q/M = \frac{i}{m}$$

Na qual,

$Q/M$ : Relação carga/massa ( $\text{mC kg}^{-1}$ );

$i$ : Corrente elétrica contida no jato de pulverização ( $\text{mC s}^{-1}$ );

$m$ : Fluxo de líquido ( $\text{kg s}^{-1}$ ).

### **2.3. Ensaio 3 - Experimentos em campo**

#### *2.3.1. Área Experimental*

O experimento de campo foi conduzido durante a safra de verão 2017/2018, em duas áreas (duplicata). Primeiramente na Fazenda Experimental Capim Branco (Área 1), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Município de Uberlândia, Minas Gerais. A área possui uma altitude de 842 metros, com coordenadas geográficas 18°53'23,46" S de latitude e 48°20'27,46" O de longitude, topografia plana e clima do tipo Aw segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN, 1948) podendo ser definido como tropical úmido com inverno seco.

E, em segundo lugar, em uma área comercial localizada no distrito de Tapuirama (Área 2), município de Uberlândia, Minas Gerais. Caracterizada com uma altitude de 835 metros, com coordenadas geográficas 19°05'57,00" S de latitude e 47°57'21,13" O de

longitude, topografia plana e clima do tipo Aw segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN, 1948).

Na Área 1, foi realizada a semeadura de soja da cultivar Nidera 6906 de ciclo super-precoce e crescimento indeterminado no dia 17/11/2017, com espaçamento entre linhas de 0,5 m, 16 sementes por metro linear para se obter 320 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Na Área 2, a cultivar foi a Nidera 7901 de ciclo precoce e crescimento indeterminado com semeadura realizada no dia 24/11/2017, com espaçamento de 0,5 m, 13 sementes por metro linear para se obter 260 mil plantas ha<sup>-1</sup>.

A cultura recebeu todas as adubações necessárias de acordo com o solo e sua exigência nutricional.

### *2.3.2. Delineamento experimental*

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições em esquema fatorial 2 x 2 x 2 + 1, sendo 2 taxas de aplicação (95 e 52 L ha<sup>-1</sup>), com ou sem eletrização de gotas, 2 composições de calda (1: fungicida e adjuvante a base de óleo mineral; 2: fungicida e adjuvante sintético) e um tratamento adicional (testemunha sem aplicação) (Tabela 3).

Cada parcela foi constituída de 40 m<sup>2</sup>, sendo 10 linhas de plantas com 8 m de comprimento. Como parcela útil para as avaliações de tecnologia de aplicação e eficácia biológica, foram consideradas as 6 linhas centrais e desprezou-se 2 m de cada extremidade.

Após a aplicação das caldas fungicidas, foram avaliados a deposição de calda nas plantas de soja, as perdas para o solo e a eficácia do controle químico da doença.

### *2.3.3. Aplicação dos tratamentos*

Utilizou-se um pulverizador hidráulico de barra (FMCopling, JB80 400 BR12, Araraquara, São Paulo, Brasil) com 12 m de barra, 24 bicos espaçados 0,5 m e tanque de 400 L. O pulverizador foi tracionado por um trator de 85 cv (62,5 kW) (Ursus, 2-85, Nova Petrópolis, Rio de Janeiro, Brasil). Foi instalado um equipamento de eletrização de gotas (SPE, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) na barra com pontas de jato cônicovazio denominadas SPE 1 (Vazão de 0,265 L min<sup>-1</sup> a 300 kPa). A pressão de trabalho utilizada foi de 300 kPa em todos os tratamentos, variando as velocidades de trabalho de acordo

com as taxas de aplicação de 95 L ha<sup>-1</sup> e 52 L ha<sup>-1</sup> (3,3 e 6,0 km h<sup>-1</sup>, respectivamente), considerando a vazão aferida nas pontas de 0,260 L min<sup>-1</sup> a 300 kPa devido às perdas de carga nas tubulações do equipamento.

As aplicações foram feitas para avaliação de deposição e controle de Oídio na cultura da soja, estando essa em estádio R5.3 (enchimento de grãos) nas duas áreas de aplicação. Foi utilizado um fungicida (F) sistêmico composto pelos grupos químicos das estrobirulinas (i.a. azoxistrobina 300 g kg<sup>-1</sup>) e pirazol + carboxamida (i.a. benzovindiflupir 150 g kg<sup>-1</sup>) na dose de 200 g do produto comercial por hectare.

Como adjuvantes para as caldas fitossanitárias foram utilizados o recomendado pelo fabricante do fungicida, um óleo mineral do grupo químico hidrocarbonetos alifáticos (óleo mineral, OM) na concentração de 0,5% v v<sup>-1</sup>, e outro para alteração da condutividade elétrica, um adjuvante sintético (adjuvante sintético, AS) na concentração de 0,05% v v<sup>-1</sup>. Ambas as concentrações foram determinadas em consonância com as recomendações dos fabricantes (Tabela 3).

Tabela 3. Descrição da composição dos tratamentos utilizados no campo.

Tratamentos	Calda*	Técnica de aplicação	Taxa de Aplicação (L ha <sup>-1</sup> )	Composição da Calda*
1	0,89 OM	Convencional	95	OM + F
2		Eletrostática	95	OM + F
3	0,89 AS	Convencional	95	AS + F
4		Eletrostática	95	AS + F
5	2,96 OM	Convencional	52	OM + F
6		Eletrostática	52	OM + F
7	2,96 AS	Convencional	52	AS + F
8		Eletrostática	52	AS + F
9	Testemunha	-	-	-

\* F: fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir; OM: adjuvante a base de óleo mineral (adjuvante de baixa condutividade elétrica); AS: adjuvante sintético (adjuvante de alta condutividade elétrica); 089: fungicida a 0,89 g L<sup>-1</sup>; 2,96: fungicida a 0,89 g L<sup>-1</sup>.

#### 2.3.4. Espectro de gotas

Para determinação do espectro de gotas foi realizado um experimento na área da Fazenda Experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia – MG (Área 1), em delineamento inteiramente casualizado composto por 8 tratamentos (Tabela 3) e 8 repetições.

O espectro de gotas pulverizadas pela ponta empregada foi avaliado através de papéis hidrossensíveis com dimensões de 76 x 26 mm (Spraying Systems Co., Wheaton, Illinois, U.S.A.). Estes foram colocados em posição horizontal e voltados para cima em superfície plana, pulverizando-se as caldas a uma distância vertical de 0,5 m dos papéis. Em laboratório, os papéis foram digitalizados com um *scanner* (resolução espacial de 1200 dpi não interpolados com cores em 24 bits) e analisados em programa computacional DropScope®, específico para essa finalidade. Foi então determinado o diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), a amplitude relativa (AR), o percentual de área coberta pelas gotas (Cobertura, %) e o número de impactos ou densidade de gotas por  $\text{cm}^2$  (Densidade de gotas,  $\text{N cm}^{-2}$ ).

### 2.3.5. Deposição de calda

Para avaliar a deposição nas plantas de soja, foi adicionado à calda o marcador Azul Brilhante (Duas Rodas, Jaraguá do Sul, Santa Catarina, Brasil) na dose de 400 g  $\text{ha}^{-1}$ , fixa para todos os tratamentos, para ser detectado por absorbância em espectrofotometria. De acordo com Pinto et al., (2007), esse produto é estável por um período de até cinco horas de exposição solar.

Após a aplicação procedeu-se então a coleta de dois folíolos de 10 plantas aleatórias, para cada parcela, sendo um no terço inferior e outro no terço superior ambos próximos a haste central. Após coletados e acondicionados em sacos plásticos separadamente para cada posição, estes foram armazenadas em caixa de isopor.

Foi conduzido, além disso, um estudo de perda para o solo com a colocação de um conjunto de placas de Petri (capa e fundo) por parcela, dispostas, na entre linha central. Após a aplicação as placas foram recolhidas e armazenadas também em caixa térmica para posterior análise em laboratório.

As análises laboratoriais de deposição foram realizadas no Laboratório de Mecanização Agrícola – LAMEC, pertencente à UFU. Para isso, foram adicionados 100 mL de água destilada aos sacos plásticos contendo os folíolos superiores e inferiores. Os sacos foram, então, lavados e agitados por 30 segundos para máxima extração possível do marcador presente nas amostras. Para extração do marcador depositado nas placas de Petri seguiu-se de forma semelhante à extração nos folíolos, adicionando-se 10 mL de água destilada em cada placa. Em seguida, o líquido extraído de cada amostra de folha e das placas foi depositado em copos plásticos, os quais foram acondicionados em local

refrigerado provido de isolamento luminoso por 24 horas para posterior leitura de absorbância no espectrofotômetro.

Utilizou-se um espectrofotômetro com lâmpada de tungstênio-halogênio (Biospectro, SP22, Curitiba, Paraná, Brasil) para realizar as leituras. A quantificação da coloração foi por absorbância em 630 nm. Com o uso de curvas de calibração, obtidas por meio de soluções-padrão do marcador, os dados de absorbância foram transformados em concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ). De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se a massa do marcador retida nos folíolos da soja coletados nas parcelas.

Em paralelo, os folíolos tiveram sua área foliar medida por um scanner específico (LI-COR, LI-3100C, Lincoln, Nebraska, U.S.A.). A partir disso e com os dados do depósito total realizou-se a divisão pela área foliar de cada amostra, obtendo-se assim a quantidade em micrograma ( $\mu\text{g}$ ) de marcador por  $\text{cm}^2$  de folha.

As condições ambientais foram monitoradas durante a realização do experimento através de um termo-higro-anemômetro digital (Kestrel, 4000, Boothwyn, Pensilvânia, U.S.A.) tanto para a Área 1, como para a Área 2.

Para a Área 1, a temperatura mínima registrada foi de 26,8°C e máxima de 30,6°C, umidade relativa do ar esteve entre 55% e 65% e ventos com velocidades entre 3,4 e 7,9  $\text{km h}^{-1}$ . Já para a Área 2, a temperatura mínima registrada foi de 29,5°C e máxima de 31°C, umidade relativa do ar esteve entre 49% e 59% e ventos com velocidades entre 2,1 e 4,6  $\text{km h}^{-1}$ .

### *2.3.6. Eficiácia biológica*

Para a análise da severidade do ódio na soja, foi avaliado o percentual de área foliar comprometido, sendo uma avaliação no mesmo dia da aplicação, antes da mesma ocorrer, e as duas subsequentes em intervalos de sete dias. A quantificação da severidade foi feita com auxílio de uma escala diagramática proposta por Polizel e Juliatti (2010). Foram avaliadas dez folhas do terço superior e dez do terço inferior totalizando vinte folhas por parcela.

A partir dos dados de severidade da doença foram calculados os percentuais de controle em função da redução da doença em comparação com a testemunha (MEYER et al., 2018).

## **2.4. Análises estatísticas**

Todos os dados foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade de distribuição dos resíduos de Shapiro Wilk e Kolmogorov Smirnov, homogeneidade de variâncias dos tratamentos de Levene e a aditividade do modelo estatístico de Tukey utilizando o programa R (R CORE TEAM, 2018).

Após atendidas as pressuposições, foi procedido o teste de F por meio da análise de variância e, quando significativo, a comparação múltipla das médias pelo teste de Tukey. Além destes, um contraste com o tratamento controle, quando aplicável, pelo teste de Dunnett. Todos os testes foram realizados a 5% de probabilidade, com o programa R (R CORE TEAM, 2018).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Ensaios 1 e 2 - Caracterização físico-química da calda e quantificação da eletrização das gotas

A adição do fungicida e dos adjuvantes promoveu alterações nas propriedades físico-químicas e na relação carga/massa em relação à água (Tabela 4). Quanto ao pH, as Caldas 0,89 OM e 2,96 OM apresentaram os maiores valores, podendo este resultado ser associado a adição do adjuvante recomendado pelo fabricante (OM). As caldas com o adjuvante de elevação da condutividade (AS) apresentaram valores mais baixos em comparação às anteriores.

Tabela 4. Propriedades físico-químicas e relação carga/massa das caldas.

Calda	pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Viscosidade dinâmica ( $\text{mPa s}^{-1}$ )	Tensão superficial ( $\text{mN m}^{-1}$ )	Relação carga/massa ( $\text{mC kg}^{-1}$ )
<b>0,89 OM</b>	9,70 a	231 d	0,9965 e	0,96 b	33,0 b	10,39 b
<b>0,89 AS</b>	7,25 b	342 b	0,9991 d	0,94 b	30,4 c	9,74 c
<b>2,96 OM</b>	9,75 a	305 c	1,0016 b	0,94 b	33,5 b	9,41 d
<b>2,96 AS</b>	6,85 c	528 a	0,9998 c	0,88 c	28,8 d	12,19 a
<b>Água</b>	6,85 c	16 e	1,0240 a	0,99 a	71,6 a	0,07 e
C.V. (%)	1,11	4,49	0,01	1,49	1,41	1,66
Fc	1141**	845**	194956**	32**	4246**	4693**
W/K-S	0,215**	0,959*	0,160*	0,897**	0,929*	0,947*
F <sub>Levene</sub>	0,75*	1,832*	5,678**	2,27*	1,773*	3,540**

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade; Fc: valor de F calculado; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; C.V. = coeficiente de variação; K-S = Kolmogorov Smirnov; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; “\*\*” significativo a 5% de probabilidade e “\*\*\*” significativo a 1% de probabilidade.

**Caldas:** (**0,89 OM**) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5% v v<sup>-1</sup>, OM); (**0,89 AS**) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + adjuvante sintético (0,05% v v<sup>-1</sup>, AS); (**2,96 OM**) água + Fungicida (2,96 g L<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5% v v<sup>-1</sup>, OM); (**2,96 AS**) água + Fungicida (2,96 g L<sup>-1</sup>) + adjuvante sintético (0,05% v v<sup>-1</sup>, AS).

Em geral as caldas estudadas apresentaram interferência no pH em relação a água. Alterações no pH podem interferir na eficácia biológica das caldas fitossanitárias como demonstrado por Cunha e Alves (2009). A redução do pH reduz a hidrólise alcalina de produtos sensíveis à calda com pH elevado (CUNHA et al., 2017b).

A adição do adjuvante recomendado pela empresa juntamente a maiores concentrações do fungicida (Calda 2,96 AS) demonstraram valores inferiores em relação aos demais tratamentos, equiparando-se, estatisticamente ao da água.

A condutividade elétrica é um parâmetro fortemente ligado a pulverizações eletrostáticas, sendo essa capaz de alterar a capacidade de eletrização das gotas pulverizadas (Relação Carga/massa, Q/M) (PATEL et al., 2017). Essa relação foi observada para todos os tratamentos quando comparados os valores de CE e Q/M das Caldas 0,89 OM, 0,89 AS, 2,96 OM e 2,96 AS com a Água.

Na Calda 2,96 AS pode-se observar o maior valor de CE e da relação carga/massa. Por outro lado, na menor concentração do fungicida (Calda 0,89 OM e 0,89 AS) a substituição do óleo mineral pelo adjuvante sintético incrementou a condutividade elétrica da calda, mas não resultou em maior valor da relação carga/massa. Possivelmente isso tenha ocorrido em função da interação com a concentração do fungicida, já que nas caldas com maior concentração (Caldas 2,96 OM e 2,96 AS), houve aumento da relação carga/massa. De qualquer forma, fica claro que, ao fazer uma comparação com a Água, a elevação da CE promove aumento da carga. Valores em torno de  $12 \text{ mC kg}^{-1}$  são considerados ideais segundo Law (1983) e os mínimos devem estar em torno de 1 a  $2 \text{ mC kg}^{-1}$  (LAW, 1995), demonstrando que os valores obtidos no experimento estão neste intervalo.

É necessário observar também que a relação carga/massa por ser um resultado de uma divisão, é influenciada pela vazão medida no bico de pulverização no momento do experimento e que esta é diretamente relacionada com a viscosidade cinemática do fluido (relação entre viscosidade dinâmica e densidade). Menores vazões correspondem a menores valores de viscosidade cinemática para os casos em que são mantidas a velocidade e diâmetro da tubulação, alterando o regime de escoamento do fluido (NETTO, 1998). Desta forma, pode-se esperar que as caldas com maiores valores de viscosidade dinâmica (Caldas 0,89 OM, 0,89 AS e 2,96 OM) apresentassem maiores vazões nos bicos, o que foi comprovado no momento do experimento, e consequentemente menores valores de relação carga/massa.

Sasaki et al. (2015), testando diferentes adjuvantes e sua eficiência na eletrização de gotas de um pulverizador eletrostático submetido a uma vazão constante de  $0,150 \text{ L min}^{-1}$  e a uma distância de 0,1 m da gaiola de Faraday, atingiram valores de relação carga/massa de  $4,88 \text{ mC kg}^{-1}$  em caldas de  $227,50 \mu\text{S cm}^{-1}$  e  $5,45 \text{ mC kg}^{-1}$  em caldas de  $607,50 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Os valores encontrados são inferiores aos encontrados neste trabalho. Isto talvez se deva à diferença da distância que o bico foi posicionado em relação ao alvo (0,1 m e 0,05 m) e à diferença no modelo de equipamento testado. O efeito desta distância já foi estudado em outros trabalhos (CHAIM, 2007; TAVARES et al. 2017).

A corrente elétrica induzida é dependente do campo eletromagnético produzido pela nuvem de gotas e essa, por sua vez, é dependente da força eletrostática induzida nas gotas. A distância da zona de formação das gotas até o alvo e, consequentemente, da região onde essas são eletricamente carregadas, é determinante da quantidade de carga que chega até esse, uma vez que as cargas se dissipam em contato com a umidade e os íons do ar (LAW, 2014).

Em relação à tensão superficial, é esperado que um adjuvante de uso agrícola com características surfactantes diminua esse valor com objetivo de melhorar o espalhamento das gotas. Todas as caldas diminuíram essa característica diferenciando-se da Água. Os valores da Calda 2,96 OM também demonstraram que o AS foi mais eficaz na diminuição da tensão superficial do que o OM e que maiores concentrações do fungicida com óleo mineral não resultaram em redução da tensão superficial. Vale ressaltar que o AS é formulado com surfactantes que promovem essa redução.

Quanto à densidade, a magnitude dessas alterações foi relativamente pequena, o que pode resultar em efeito diminuto no peso das gotas. Isso ocorre em geral devido às baixas concentrações recomendadas dos adjuvantes em relação à grande quantidade de água. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha e Alves (2009). Segundo esses autores para se conseguir um aumento significativo de densidade seria necessário aumentar muito a concentração, o que oneraria muito a aplicação e aumentaria riscos de incompatibilidade e fitointoxicação.

### **3.2. Ensaio 3 - Experimentos em campo**

#### *3.2.1. Estudo dos espectros de gotas produzidos*

Em todos os tratamentos foram mantidas as mesmas pontas de pulverização e a mesma pressão de trabalho, com isso, não foram detectadas diferenças significativas nos valores de DMV. Todos os tratamentos se mantiveram dentro da mesma classe de tamanho de gotas, ou próximos ao limite superior, estabelecida pelo Conselho Britânico de Proteção de Culturas (*British Crop Protection Council – BCPC*), classificadas como gotas finas ( $150 \mu\text{m} \leq \text{DMV} \leq 250 \mu\text{m}$ ) nos papéis avaliados (Tabela 5).

Quanto menores as gotas pulverizadas mais eficientemente elas são carregadas eletricamente, aumentando o depósito. De modo geral, gotas com diâmetro de  $100 \mu\text{m}$  apresentam, quando eletrizadas, dominância da força elétrica em relação a gravitacional

na ordem de 14 vezes maior, já gotas com diâmetro de 300 µm esse valor diminui para 4 vezes (LAW, 2014).

Ao se relacionarem os valores das características físico-químicas das caldas (Tabela 4) com as características da pulverização (Tabela 5), é possível notar na Calda 2,96 AS, correspondente aos Tratamentos 52 AS C e 52 AS E, uma diferenciação em relação às características de densidade, viscosidade dinâmica e tensão superficial em comparação com as demais caldas. Essas características podem estar relacionadas a uma queda dos valores de cobertura e densidade de gotas (CUNHA et al., 2017b, CUNHA; ALVES, 2009).

Tabela 5. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), cobertura e densidade de gotas das aplicações eletrostáticas com fungicida e adjuvantes.

Tratamento	DMV (µm)	AR	Cobertura (%)	Densidade de gotas (N cm <sup>-2</sup> )
<b>95 OM C</b>	239	0,82	28 ab	257 abc
<b>95 OM E</b>	247	0,84	30 ab	267 ab
<b>95 AS C</b>	253	0,85	37 a	333 a
<b>95 AS E</b>	238	0,92	37 a	335 a
<b>52 OM C</b>	244	0,80	28 ab	195 bc
<b>52 OM E</b>	252	0,86	28 ab	241 abc
<b>52 AS C</b>	221	0,71	17 b	144 c
<b>52 AS E</b>	220	0,77	22 ab	199 bc
C.V. (%)	11,81	25,7	38,12	31,66
Fc	1,61 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	3,01**	5,85**
W	0,96021**	0,98847*	0,97449*	0,99285*
F <sub>Levene</sub>	1,5282*	1,0957*	1,5257*	1,9779*

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade; Fc: valor de F calculado; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; C.V. = coeficiente de variação; \*\* significativo a 5% de probabilidade, \*\*\* significativo a 1% de probabilidade e “ns” não significativo.

Tratamento (**95 OM C**) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5% v v<sup>-1</sup>, OM) em aplicação convencional; (**95 OM E**) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5% v v<sup>-1</sup>, OM) em aplicação eletrostática; (**95 AS C**) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + adjuvante sintético (0,05% v v<sup>-1</sup>, AS) em aplicação convencional; (**95 AS E**) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + adjuvante sintético (0,05% v v<sup>-1</sup>, AS) em aplicação eletrostática; (**52 OM C**) água + Fungicida (2,96 g L<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5% v v<sup>-1</sup>, OM) em aplicação convencional; (**52 OM E**) água + Fungicida (2,96 g L<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5% v v<sup>-1</sup>, OM) em aplicação eletrostática; (**52 AS C**) água + Fungicida (2,96 g L<sup>-1</sup>) + adjuvante sintético (0,05% v v<sup>-1</sup>, AS) em aplicação convencional; (**52 AS E**) água + Fungicida (2,96 g L<sup>-1</sup>) + adjuvante sintético (0,05% v v<sup>-1</sup>, AS) em aplicação eletrostática.

A amplitude relativa (AR) manteve-se constante para todos os tratamentos com valores baixos, menores que 1. Menores valores de AR estão relacionados a uma melhor pulverização ou maior homogeneidade da população de gotas (MINGUELA; CUNHA, 2013)

### **3.2.2. Estudos de deposição, perda para o solo e eficácia biológica**

Os valores obtidos de deposição nos terços superior e inferior das plantas e os referentes a perda para o solo demonstraram que houve interação significativa dos fatores técnica de aplicação e composição de calda no terço superior e nas perdas para o solo para a Área 1. Não foram obtidos valores significativamente diferentes para o terço inferior (Tabela 6).

Na Área 2, o fator taxa de aplicação foi significativo no terço superior e nas perdas para o solo. No terço inferior, para esta área, houve interação entre o fator técnica de aplicação e taxa de aplicação.

Tabela 6. Valores de F calculado obtidos na análise de variância (ANOVA) para os dados de deposição nos terços superior e inferior e perdas para o solo nas Áreas 1 e 2.

Fatores	Área 1			Área 2		
	T. Sup.	T. Inf.	Solo	T. Sup.	T. Inf.	Solo
Téc.	3,03 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	2,32 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>
Taxa	0,06 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	21,75**	13,58 <sup>ns</sup>	17,97**
Calda	0,33 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	4,16 <sup>ns</sup>
Téc.*Taxa	1,57 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	3,27 <sup>ns</sup>	4,60*	1,16 <sup>ns</sup>
Téc.*Calda	6,07*	0,03 <sup>ns</sup>	7,57*	0,80 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
Taxa*Calda	0,70 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	1,38 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Téc.*Taxa*Calda	0,05 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>

“\*” significativo a 5% de probabilidade, “\*\*” significativo a 1% de probabilidade e “ns” não significativo. Téc. = técnica de aplicação; Taxa = taxa de aplicação; Calda = composição da calda; T. Sup. = terço superior; T. Inf. = terço inferior; Solo = perdas para o solo.

### 3.2.2.1. Área 1

#### *Deposição de calda nas plantas*

Analisando-se a deposição de calda na Área 1, verifica-se que no terço superior das plantas os valores para as duas composições de calda não apresentaram diferenças na técnica convencional (Tabela 7). Para a calda composta pelo adjuvante com OM não houve diferenças entre a aplicação convencional e eletrostática. Também não foi detectada diferença entre as caldas, demonstrando que a elevação da condutividade elétrica da calda não interferiu na técnica convencional.

Ao se comparar a técnica eletrostática com a convencional com a utilização do adjuvante que aumenta a condutividade elétrica (AS), houve diferença, sendo essa inferior àquela. O aumento da condutividade mostrou-se determinante para melhorar os valores de deposição para a técnica eletrostática, corroborando com Sasaki et al. (2015) e Patel et al. (2017).

Segundo Patel et al. (2017), maiores valores de condutividade elétrica são benéficos à técnica eletrostática, pois alteram a amplitude da eletrização das gotas com impacto direto na atração das gotas e maior deposição da calda nos alvos e, consequente, maior eficácia biológica. Sasaki et al. (2015) observaram que, em geral, a adição de adjuvantes à calda de aplicação tem a capacidade de alterar os valores de condutividade elétrica, aumentando a mesma e, consequentemente, a relação carga/massa, que pode interferir em aplicações eletrostáticas.

Serra et al. (2008), ao estudarem a deposição em plantas de crisântemo com a utilização de um pulverizador eletrostático, encontraram valores significativamente diferentes entre a deposição do marcador utilizado para o sistema eletrostático em comparação ao convencional. Na região basal das plantas, o pulverizador eletrostático apresentou, em sua maioria, maiores valores de deposição.

As diferenças dos valores de deposição no terço superior não foram significativas para as duas taxas de aplicação, comportando-se diferentemente do encontrado em outros trabalhos, que também variaram a taxa de aplicação e encontraram incremento da deposição ao se aumentar a taxa (BOSCHINI et al., 2008; CUNHA et al., 2011; TORMEN et al., 2012; VILLALBA et al., 2009).

A deposição no terço inferior das plantas também não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6). Este comportamento pode estar relacionado

à arquitetura das plantas que imprimiam grande dificuldade de penetração das gotas no dossel devido a densa massa foliar superficial no estádio da aplicação, dificultando a chegada de produto em todos os tratamentos.

Tabela 7. Massa de marcador retida na folhagem da cultura da soja ( $\mu\text{g cm}^{-2}$  de folha) no terço superior após as diferentes técnicas de aplicação e composição das caldas.

Técnica de aplicação	Calda de aplicação	
	OM	AS
Convencional	1206,80 aA	1023,27 aB
Eletrostático	1136,71 bA	1432,27 aA
C.V. (%)		22,95
F <sub>Levene</sub>		1,6354*
W		0,98059*
Adt		0,2429475*

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na linha ou maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*” significativo a 5% de probabilidade; OM = óleo mineral; AS = adjuvante sintético.

### *Perda para o solo*

As médias de perda para o solo (Tabela 8) apresentaram interação significativa entre a composição da calda e a técnica de aplicação, sendo que na aplicação convencional o adjuvante OM apresentou maiores valores em comparação com o AS. Na aplicação eletrostática a perda se manteve constante para as duas composições de calda.

Ao relacionar a perda para o solo com a tensão superficial das caldas (Tabela 4 e Tabela 8), é possível notar que as caldas que continham o adjuvante OM apresentaram maiores valores de tensão superficial. Esta característica pode indicar que houve mais escorramento das gotas nas folhas nesta condição, proporcionando maiores perdas para o solo, pois a tensão superficial pode ser relacionada à retenção e a adesividade da calda na superfície foliar e consequentemente a boa molhabilidade (CUNHA et al., 2017b). Entretanto, altas concentrações de adjuvantes, provocando queda acentuada na tensão superficial das caldas, também podem provocar escorramento (VARGAS; ROMAN, 2006).

A pulverização eletrostática já se mostrou capaz de reduzir a perda de produto para o solo em algumas pesquisas (CHAIM, 2006; TAVARES et al., 2017; ZHOU et al., 2012). No presente trabalho esta redução não foi observada, podendo ser em consequência das características do dossel no momento em que foram realizadas as

aplicações, entretanto, a deposição do produto no solo não foi prejudicada pela técnica eletrostática mostrando-se equivalente a técnica convencional.

Tabela 8. Massa de marcador retida nas placas de Petri ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) dispostas como alvo artificial para estimar a perda para o solo após as diferentes técnicas de aplicação e composição das caldas.

Técnica de aplicação	Calda de aplicação	
	OM	AS
Convencional	467,08 aA	309,98 bA
Eletrostático	327,70 aA	449,48 aA
C.V. (%)	36,89	
F <sub>Levene</sub>	2,1961*	
W	0,94791*	
Adt	0,0002301*	

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na linha ou maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*\*” significativo a 5% de probabilidade; OM = óleo mineral; AS = adjuvante sintético.

### *Eficácia biológica*

A avaliação prévia da severidade demonstrou que, pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade, a doença estava igualmente distribuída em toda a área. Esta avaliação também demonstrou que no terço inferior a severidade era numericamente superior ao terço superior, 63,8 e 15,3 % de média de área foliar comprometida, respectivamente.

Em geral, não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos para a severidade nas avaliações realizadas (Tabela 9). Porém, é possível notar que em todos os tratamentos houve redução da severidade da doença, confirmando que o produto estudado chegou ao alvo e teve efeito sobre o patógeno causador do ódio-da-soja (

Tabela 10). Tormen et al. (2012), ao testarem diferentes pontas de pulverização e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), concluíram que a deposição do produto no alvo pretendido é essencial para que se consiga diminuir a quantidade da doença.

Para Santos et al. (2018), as estrobilurinas possuem baixa translocação na planta. Fungicidas deste grupo apresentam propriedades mesostêmicas ou de profundidade, o que lhes proporciona translocação via vasos condutores mínima ou inexistente. Apesar disso, apresentam alta lipofilicidade, permitindo interação com as camadas foliares externas e

internas, o que leva a entrada na planta e penetração nos tecidos (REIS; BERSOLIN, 2007). Isso indica, portanto, a importância de uma boa deposição de calda para o controle das doenças.

Tabela 9. Valores de F calculado obtidos na análise de variância (ANOVA) para os valores de severidade<sup>+</sup> de oídio nos terços superior e inferior aos 7 e 14 dias após aplicação dos tratamentos na Área 1.

Fatores	Superior		Inferior	
	7 DAA	14 DAA	7 DAA	14 DAA
Téc.	0,73 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	4,02*
Taxa	0,81 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>
Calda	3,49 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	3,60 <sup>ns</sup>	3,19 <sup>ns</sup>
Téc.*Taxa	2,00 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
Téc.*Calda	0,04 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
Taxa*Calda	0,46 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	2e <sup>-04 ns</sup>
Téc.*Taxa*Calda	2,61 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	2,56 <sup>ns</sup>

“\*” significativo a 5% de probabilidade, “\*\*” significativo a 1% de probabilidade e “<sup>ns</sup>” não significativo. Téc. = técnica de aplicação; Taxa = taxa de aplicação; Calda = composição da calda; <sup>+</sup> Severidade segundo escala diagramática (POLIZEL; JULIATTI, 2010).

Nos fungos causadores de oídios todo o processo de colonização ocorre externamente ao hospedeiro. Com isso, seu controle muitas vezes é relacionado a maiores taxas de aplicação no campo, pois o micélio do patógeno desenvolve-se na superfície das folhas, emitindo unicamente os haustórios para células da epiderme da planta (AMORIM et al., 2018). Isso não ocorreu no trabalho, uma vez que não houve diferença de controle entre as duas taxas de aplicação estudadas.

A facilidade da remoção do patógeno da superfície foliar juntamente com a ocorrência de chuvas podem promover um controle natural da doença. Sendo assim, a não ocorrência de chuvas nas épocas de avaliação também foi positiva para a condução do experimento.

Todos os tratamentos apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento adicional (testemunha sem aplicação), sendo os valores da severidade para a testemunha no terço superior 59,9 e 67,3% e para o terço inferior, 67,5 e 88,6% aos 7 e 14 dias após a aplicação, respectivamente.

Não foi detectada diferença entre as deposições de calda no terço inferior da planta, corroborando com os dados de controle da doença, demonstrando que o fungicida atuou igualmente nesta região atingindo um controle médio de todos os tratamentos de 47% e no superior de 77% aos 7 DAA.

Os valores de controle para o terço inferior aos 7 DAA são numericamente menores em comparação ao terço superior. Isso representa a dificuldade de penetração das gotas no dossel da cultura resultando em menor controle do patógeno. Heiffig et al. (2006), ao trabalharem com soja em diferentes espaçamentos, ressaltaram que o fechamento nas entrelinhas estabelece condições de menor circulação de ar e maior umidade, prejudicando a penetração e a cobertura das gotas, além de poder favorecer a incidência de doenças.

Tabela 10. Percentual de severidade de oídio nos folíolos de acordo com escala diagramática e controle relativo para os diferentes tratamentos nos terços superior e inferior das plantas aos 7 e 14 dias após aplicação (DAA).

Trat.	Superior				Inferior			
	7 DAA		14 DAA		7 DAA		14 DAA	
	Seve. (%)	Contr. (%)	Seve. (%)	Contr. (%)	Seve. (%)	Contr. (%)	Seve. (%)	Contr. (%)
95 OM C	10,0*	83	8,7*	87	37,1*	45	25,5*	71
95 OM E	12,9*	79	11,0*	83	39,0*	42	21,6*	75
95 AS C	16,9*	71	11,5*	83	36,6*	46	23,8*	73
95 AS E	11,5*	81	8,1*	87	33,1*	50	14,1*	84
52 OM C	11,0*	81	12,9*	81	37,8*	45	26,0*	70
52 OM E	12,9*	78	12,1*	81	40,4*	41	17,1*	81
52 AS C	13,6*	77	9,7*	85	27,9*	59	16,0*	82
52 AS E	22,1*	61	10,5*	85	33,9*	49	17,8*	80
Test.	59,9	0	67,3	0	67,5	0	88,6	0
C.V.	15,81		11,63		8,45		11,92	

Médias seguidas por “\*\*” se diferem da testemunha (Test.) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. C.V. = coeficiente de variação; Seve. = Severidade segundo escala diagramática (POLIZEL; JULIATTI, 2010); Contr. = Controle relativo ao tratamento testemunha (Test.).

Tratamento (195 OM C) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5% v/v-1, OM) em aplicação convencional; (295 OM E) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5% v/v-1, OM) em aplicação eletrostática; (395 AS C) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + adjuvante sintético (0,05% v/v-1, AS) em aplicação convencional; (495 AS E) água + Fungicida (0,89 g L<sup>-1</sup>) + adjuvante sintético (0,05% v/v-1, AS) em aplicação eletrostática; (552 OM C) água + Fungicida (2,96 g L<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,5% v/v-1, OM)

em aplicação convencional; (652 OM E) água + Fungicida (2,96 g L-1) + óleo mineral (0,5% v v-1, OM) em aplicação eletrostática; (752 AS C) água + Fungicida (2,96 g L-1) + adjuvante sintético (0,05% v v-1, AS) em aplicação convencional; (52 AS E8) água + Fungicida (2,96 g L-1) + adjuvante sintético (0,05% v v-1, AS) em aplicação eletrostática.

Aos 14 DAA, o sistema eletrostático foi superior ao convencional no controle da doença no terço inferior demonstrando que os métodos de avaliação da deposição nesta posição da planta não foram capazes de estimar com precisão o comportamento das gotas eletrizadas no dossel da cultura (Tabela 11).

Tabela 11. Percentual de severidade de oídio nos folíolos de acordo com escala diagramática para as diferentes técnicas de aplicação no terço inferior das plantas 14 dias após aplicação do fungicida.

Técnica de aplicação	Severidade (%)
Convencional	22,8 B
Eletrostático	17,6 A
C.V. (%)	11,92
$F_{Levene}$	0,9146*
W	0,96067*
Adt	1,5749511*

Médias seguidas por letras iguais maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade;  $F_{Levene}$  = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*” significativo a 5% de probabilidade.

### 3.2.2.2. -Área 2

#### *Deposição de calda nas plantas*

A análise dos dados de deposição de calda no terço superior da planta demostrou que a única diferença significativa encontrada ocorreu com a variação da taxa de aplicação (Tabela 12). Esta variação se deu em uma ordem de, aproximadamente, 2,08 vezes menor na menor taxa de aplicação, o que se aproxima muito da real diferença entre as duas taxas adotadas, 1,82 vezes. Era esperada essa diferença como observado por Farinha et al. (2009) em estudo realizado com soja para determinar a deposição em duas diferentes cultivares e em diferentes taxas de aplicação, observou-se a correspondência da redução dos valores de deposição com a redução da taxa de aplicação.

No terço inferior das plantas, a deposição do marcador apresentou uma interação entre a técnica de aplicação e a taxa (Tabela 13). Essa interação demonstrou que para a

taxa de aplicação de 95 L ha<sup>-1</sup> a aplicação convencional apresentou melhores resultados em comparação com a eletrostática. Outras pesquisas testando a técnica de aplicação eletrostática, em alguns casos, não encontraram diferenças significativas em comparação a aplicação convencional na deposição dos marcadores nas folhas-alvo para as mesmas taxas de aplicação (CERQUEIRA et al., 2017; FRANZ et al., 1987; SERRA et al., 2008).

Tabela 12. Massa de marcador retida na folhagem da cultura da soja ( $\mu\text{g cm}^{-2}$  de folha) no terço superior em função das taxas de aplicação.

Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )	Deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
95	1411,57 A
52	766,46 B
C.V. (%)	35,81
F <sub>Levene</sub>	1,9795*
W	0,95522*
Adt	3,4024803*

Médias seguidas por letras iguais maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade; Fc: valor de F calculado; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*” significativo a 5% de probabilidade.

Esses resultados também indicam que a aplicação convencional, em menor taxa de aplicação, apresentou menores valores de deposição. Isso não foi observado na aplicação eletrostática, permitindo inferir que, para essa, apesar de responder menos às maiores taxas de aplicação em comparação com a convencional, não apresenta diferença significativa de deposição do marcador quando submetida a uma redução da taxa de aplicação.

Cerqueira et al. (2017), utilizando taxa de aplicação de 800 L ha<sup>-1</sup> e 40 L ha<sup>-1</sup>, convencional e eletrostático, respectivamente, em plantas de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev), não encontraram diferença na deposição do marcador no terço inferior das plantas para os tratamentos.

Os valores de deposição para os dois terços da cultura (Tabela 12 e Tabela 13) demonstram que há uma queda de, em média, 2,9 vezes para a taxa de 95 L ha<sup>-1</sup> e 2,3 vezes para a de 52 L ha<sup>-1</sup> na deposição no terço inferior. Esta tendência está em consonância com trabalhos realizados por Boschini et al. (2008), Cunha et al. (2011), Tormen et al. (2012) e Villalba et al. (2009) que também encontraram redução da

deposição em aplicações de fitossanitários nos terços inferiores do dossel da cultura da soja.

Tabela 13. Massa de marcador retida na folhagem da cultura da soja ( $\mu\text{g cm}^{-2}$  de folha) no terço inferior, após as diferentes técnicas e taxas de aplicação.

Técnica de aplicação	Taxa de aplicação (L $\text{ha}^{-1}$ )	
	95	52
Convencional	561,18 aA	318,33 bA
Eletrostático	421,92 aB	357,83 aA
C.V. (%)	28,79	
F <sub>Levene</sub>	1,3936*	
W	0,91433 **	
Adt	0,7213096 *	

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na linha ou maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*\*” significativo a 5% de probabilidade e “\*\*\*” significativo a 1% de probabilidade.

### *Perda para o solo*

Os valores de perda para o solo das aplicações (Tabela 14) demonstram que o único fator que influenciou foi a taxa de aplicação. Os valores de maior perda ocorreram nas parcelas que receberam as maiores taxas de aplicação. Tavares et al. (2017) obtiveram dados semelhantes em estudo com a cultura da goiaba, ao elevar a taxa de aplicação de 100 L  $\text{ha}^{-1}$  para 200 L  $\text{ha}^{-1}$ , visto que as perdas para o solo também aumentaram nas maiores taxas.

Tabela 14. Massa de marcador retida nas placas de Petri ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) dispostas como alvo artificial para estimar a perda para o solo, após a aplicação em diferentes taxas.

Taxa de aplicação (L $\text{ha}^{-1}$ )	Deposição
95	416,12 A
52	175,60 B
C.V. (%)	57,13
F <sub>Levene</sub>	2,8844**
W	0,94036*
Adt	0,0677669*

Médias seguidas por letras iguais maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*\*” significativo a 5% de probabilidade e “\*\*\*” significativo a 1% de probabilidade.

### *Eficácia biológica*

Em relação à avaliação do controle químico de doenças na Área 2, fez-se o monitoramento ao longo de todo o ciclo, contudo, não foram detectados níveis significativos que permitissem a avaliação por meio das escalas diagramáticas.

Ao comparar a aplicação nas duas áreas foi possível notar que há alguns comportamentos diferentes de deposição nos terços das plantas. Estas diferenças podem ter sido detectadas, principalmente, por se tratarem de duas cultivares e que, apesar de estarem no mesmo estádio fenológico, apresentaram populações e arquitetura de planta distintas. Tormen et al. (2012), ao realizarem aplicações em plantas de soja nos estádios R1 e R4 em duas diferentes cultivares concluíram que a diferença do índice de área foliar das cultivares estudadas afetou a deposição de gotas no seu dossel.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os adjuvantes apresentaram características capazes de alterar significativamente as propriedades físico-químicas das caldas, podendo, assim, influenciar a eficiência das aplicações. O incremento da condutividade elétrica aumentou a relação carga/massa das gotas pulverizadas.

O fungicida utilizado azoxistrobina + benzovindiflupir reduziu a severidade da doença do ódio da soja, independente do adjuvante e da taxa de aplicação.

A pulverização eletrostática apresentou benefícios para a aplicação em algumas situações, no que se refere à eficácia biológica, porém necessita de mais estudos para resultados mais conclusivos.

A adição do adjuvante sintético, aumentou a condutividade elétrica da calda e resultou em incremento da deposição para a técnica eletrostática no terço superior da soja.

Maiores taxas de aplicação demonstraram, em uma das áreas, maiores valores de deposição do marcador no terço superior da planta.

A pulverização eletrostática não influenciou a perda de calda para o solo. Maiores taxas de aplicação apresentaram maiores perdas para o solo.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**. 5. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2018. v. 1.
- ASANO, K. Electrostatic spraying of liquid pesticide. **Journal of Electrostatics**, Amsterdam, v. 18, n. 1, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3886\(86\)90016-1](https://doi.org/10.1016/0304-3886(86)90016-1)
- BLUM, L. E. B.; REIS, E. F.; PRADE, A. G.; TAVELA, V. J. Fungicidas e mistura de fungicidas no controle do ódio da soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 12, p. 216-218, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-41582002000200016>
- BOSCHINI, L.; CONTIERO, R. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K.; GUIMARÃES, V. F. Avaliação da deposição da calda de aplicação em função da vazão e do tipo de bico hidráulico na cultura da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 171-175, 2008. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i2.1789>
- CERQUEIRA, D. T. R.; RAETANO, C. G.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; CARVALHO, M. M.; PRADO, E. P.; COSTA, S. I. A.; MOREIRA, C. A. F. Optimization of spray deposition and *Tetranychus urticae* control with air assisted and electrostatic sprayer. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 74, n. 1, p. 32-40, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2015-0340>
- CHAIM, A. **Desenvolvimento de um pulverizador eletrohidrodinâmico: avaliação do seu comportamento na produção de gotas e controle de trips (*Enneothrips flavens* Moulton, 1951), em amendoim (*Arachis hypogaea* L.)**. 1984. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista ‘Julio de Mesquita Filho’, Jaboticabal, 1984.
- CHAIM, A. Aperfeiçoamento de bico de pulverização eletrostática para geração de gotas com alto nível de carga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 463-470, 1998.
- CHAIM, A. **Pulverização Eletrostática**: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 17 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 57). DOI: <https://doi.org/10.5380/pes.v17i0.3181>
- CHAIM, A. Pulverização eletrostática com bicos hidráulicos. Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 17, p. 67-74, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5380/pes.v17i0.3181>
- COFFEE, R. A. Electrodynanic crop spraying. **Outlook on Agriculture**, v. 10, n. 7, p. 350-356, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1177/003072708101000709>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 12 Safra 2017/18 - Décimo segundo levantamento, Brasília, DF: CONAB, 2018.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciencia**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.

CUNHA, J. P. A. R.; FARNESE, A. C.; OLIVET, J. J.; VILLALBA, J. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000200014>

CUNHA, J. P. A. R.; BARIZON, R. R. M.; FERRACINI, V. L.; ASSALIN, M. R.. Spray drift and caterpillar and stink bug control from aerial applications with electrostatic charge and atomizer on soybean crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 6, p.1163-1170, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n6p1163-1170/2017>

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017b.

CUNHA, J. P. A. R.; VICTOR, A. P.; SALES, C. G. R. Spray deposition on soybean crop using different travel speeds and application rates. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 1, p. 82-87, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n1p82-87/2018>

FARINHA, J. V.; MARTINS, D.; COSTA, N. V.; DOMINGOS, V. D. Deposição da calda de aplicação em cultivares de soja no estádio R1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p.1738-1744, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000600016>

FERGUSON, J. C.; CHECHETTO, R. G.; HEWITT, A. J.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. T.; KRUGER, G. R.; O'DONNELL, C. C. Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, Guildford, v. 81, n. 1, p. 14-19, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.11.013>

FERREIRA, M. C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 1539-1548, 2013.

FRANZ, E.; REICHARD, D. L.; CARPENTER, T. G.; BRAZEE, R. D. Deposition and effectiveness of charged sprays for pest control. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 30, n. 1, p. 50-55, 1987. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.30400>

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar na cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000200010>

IGARASHI, S.; OLIVEIRA, G. M.; CAMARGO, L. C. M.; FALKOSKI FILHO, J.; GARDIANO, C. G.; BALAN, M. G. Danos causados pela infecção de oídio em diferentes estádios fenológicos da soja. **Instituto Biológico de São Paulo**, São Paulo, v. 77, n. 2, p. 245-250, 2010.

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELLES, S. B. (org.). **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias**. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária, sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p. 39-51.

KÖPPEN, W. **Climatología: con un estudio de los climas de la tierra**. Cidade do México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

LAW, S. E.; BOWEN, H. D. Charging liquid spray by electrostatic induction. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 9, n. 4, p. 501-506, 1966. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.40016>

LAW, S. E. Electrostatic Pesticide Spraying: Concepts and Practice. **Transactions on Industry Applications**, New York, v. 19, n. 2, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.1983.4504176>

LAW, S. E. Electrostatic atomization and spraying. In CHANG, J. S.; KELLY, A. J.; CROWLEY, J.M. (ed.). **Handbook of electrostatic processes**. New York: Marcel Dekker, 1995.

LAW, S. E. Electrostatically charged sprays. In: Matthews, G. A. **Pesticide application methods**. 4. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2014. 545 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118351284.ch10>

MASKI, D.; DURAIRAJ, D. Effects of charging voltage, application speed, target height and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial surfaces. **Crop Protection**, Guildford, v. 29, n. 2, p. 134-141, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.10.006>

MENDONÇA, C. G.; RAETANO, C. G.; MENDONÇA, C. G. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. esp., p. 16-23, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000200003>

MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; SEII, A. H.; DIAS, A. R.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; JULIATTI, F.C.; NUNES JUNIOR, J.; SILVA, L. H. C. P.; SATO, L. N.; MARTINS, M. C.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2017/18**: Resultados summarizados dos ensaios cooperativos. Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2018.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. 1. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013. 588 p.

MONTÓRIO, G. A.; VELINI, E. D.; MONTÓRIO, T. Definição de um coeficiente de eficácia para estudo de tensão superficial com surfactantes siliconados e não siliconados. **Scientia Agraria Paranaensis**, Acrelândia, v. 3, n. 1, p. 25-34, 2004.

NETTO, J. M. A. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1998.

NIERO A. R.; TRATCH, R.; PINTO JUNIOR, A.R. Eficácia dos fungicidas no controle de doenças de final de ciclo (DFC) da soja. **Revista Academica**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 19-25, 2007. DOI: <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v5i1.9564>

PATEL, M. K.; PRAVEEN, B.; SAHOO, H. K.; PATEL, B.; KUMAR, A.; SINGH, M.; NAYAK, M. K.; RAJAN, P. An advance air-induced air-assisted electrostatic nozzle with enhanced performance. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 135, p. 280-288, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.02.010>

PINTO, J. R.; LOECK, A. E.; SOUZA, R. T. de; LOUZADA, R. S. Estabilidade à exposição solar dos traçantes azul brilhante e amarelo tartrasina utilizados em estudos de deposição de pulverização. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 1, p. 105-107, 2007.

POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C. Quantificação de doenças foliares da soja por escalas diagramáticas. **Encyclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, 2010.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2018.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. Fungicidas: aspectos gerais. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, RS, ed. 97, jan./fev. 2007.

SANTOS, F. H.; SANTOS, L. A; FARIA, C. M. D. R. Translocação de triazóis e estrobilurinas no controle do ódio da soja. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 11, n. 1, p. 87-92, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5935/PAeT.V11.N1.10>

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; SANTIAGO, H.; MADUREIRA, R. P.; MACIEL, C. F. S.; FERNANDES, H. C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 274-279, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131604>

SERRA, M. E.; CHAIM, A.; RAETANO, C. G. Pontas de pulverização e eletrificação das gotas na deposição da calda em plantas de crisântemo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 479-485, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000400006>

TAVARES, R. M.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, T. C.; ALVES, G. S.; SILVA, J. E. R. Estudo de um sistema de eletrificação de gotas em pulverizador costal pneumático pelo método de gaiola de Faraday. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 5, p. 476-485, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764050004>

TORMEN, N. R.; SILVA, F. D. L.; DEBORTOLI, M. P.; UEBEL, J. D.; FÁVERA, D. D.; BALARDIN, R. S. Deposição de gotas no dossel e controle químico de *Phakopsora pachyrhizi* na soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, 2012, p. 802-808. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000700015>

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006, 7 p.

VILLALBA, J. F.; DAGOBERTO, M.; COSTA, N. V.; DOMINGOS, V. D. Deposição da calda de aplicação em cultivares de soja no estádio R1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1.738-1.744, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000600016>

ZHOU, Y.; QI L.; JIA, S.; ZHENG, X.; MENG, X.; TANG, Z.; SHEN, C. Development and application prospects of pneumatic electrostatic sprayer in orchard. **Asian Agricultural Research**, Örebro, v. 4, n. 1, p. 78-80, 2012.

## CAPÍTULO III

### Pulverização eletrostática na cultura do milho (*Zea mays L.*)

#### RESUMO

A pulverização eletrostática pode trazer benefícios à aplicação de produtos fitossanitários, dentre eles a redução da taxa de aplicação e o aumento dos depósitos nos alvos. Contudo, pouca informação existe sobre seu emprego na cultura do milho (*Zea mays L.*). Diante disso, este trabalho visou avaliar a eficiência da pulverização eletrostática, em conjunto com o uso de menores taxas de aplicação e diferentes caldas, na deposição na cultura do milho. O experimento em campo com a semeadura de milho foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 2$ , sendo 2 taxas de aplicação (95 e 52 L ha<sup>-1</sup>), com e sem eletrização de gotas, 2 composições de calda (com e sem adição de adjuvante sintético). Foram avaliados o espectro de gotas, a perda para o solo e a deposição de calda nas plantas, em duas aplicações de calda inseticida. Para analisar a deposição de calda nas plantas e solo, adicionou-se um marcador à calda, para ser detectado por espectrofotometria, após sua extração das folhas superiores e inferiores do dossel e de placas de Petri colocadas junto ao solo. Também foram avaliadas as propriedades físico-químicas da calda (pH, condutividade elétrica, densidade, viscosidade e tensão superficial) e a relação carga/massa induzida nas gotas pulverizadas. A pulverização eletrostática apresentou benefícios para a aplicação e respondeu positivamente ao aumento da condutividade elétrica da calda. Houve incremento na deposição da calda pulverizada no terço superior e redução da perda para o solo.

**Palavras-chave:** Taxa de aplicação; eletrização de gotas; tecnologia de aplicação; deposição de calda.

## **Electrostatic spraying on corn (*Zea mays L.*)**

### **ABSTRACT**

The electrostatic spray can bring benefits to the application of phytosanitary products, among them the reduction in the rate of application and the increase of deposits on the targets. However, little information exists on your employment in the culture of maize (*Zea mays L.*). In addition, the objective of this work was to evaluate the efficiency of electrostatic spray, in conjunction with the use of lower rates of application and different treatments, the deposition in the corn crop. The field experiment with the sowing of corn was conducted in a randomized block design with four replications, in a 2 x 2 x 2 in a factorial scheme, with two application rates (95 and 52 L ha<sup>-1</sup>), with and without drops, 2 compositions of syrup (with and without addition of synthetic adjuvant). We evaluated the spectrum of droplets, the loss to the ground and the spray deposition on the plants in two applications of insecticide syrup. To analyze the deposition of syrup on plants and soil, added to a marker to the syrup, to be detected by spectrophotometry, after its extraction of upper and lower leaves of the canopy and Petri plates placed near the soil. Were also evaluated the physicochemical properties of the syrup (pH, electrical conductivity, density, viscosity and surface tension) and the load / mass ratio induced in drops sprayed. The electrostatic spray showed benefits for the application and responded positively to the increase of electrical conductivity of syrup. There was an increase in the deposition of the pulverized syrup in the upper third and reduction of the loss to the soil.

**Keywords:** Application rate; droplet electrification; application technology; pesticide deposition

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) destaca-se como sendo um dos principais cereais produzidos no Brasil, tendo aptidões diversas como grãos, silagem, milho verde (consumo in natura), entre outras. Durante seu cultivo, diversos fatores podem comprometer seu potencial produtivo como pragas, doenças e plantas infestantes.

Apesar do amplo uso de híbridos com resistência a lepidópteros (LOURENÇÂO; FERNANDES, 2013), o cultivo do milho ainda apresenta sérios problemas em relação a infestações, por exemplo, da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (MICHELLOTO et al., 2011).

A multiplicação destes insetos é facilitada pelas condições meteorológicas dos períodos mais quentes e úmidos do ano e pela presença de restos culturais de safras anteriores (SANTIAGO et al., 2008). Nessas condições a aplicação de inseticidas ocorre já nos primeiros estádios fenológicos do milho, em busca da proteção da cultura, o que leva ao aumento dos custos de produção (DAL POGETTO et al., 2012).

Além disso, o cultivo sucessivo da mesma cultura e o uso indiscriminado de produtos fitossanitários têm aumentado consideravelmente os problemas com insetos-pragas (ABD EL-MAGEED et al., 2007). O controle químico é uma das mais importantes ferramentas do Manejo Integrado de Pragas, mas o uso incorreto das técnicas de controle, como má calibração de equipamentos ou práticas inadequadas de cultivo tem aumentado o número de aplicações de inseticidas sem eficiência no controle de pragas (ABD EL-HADY; ABDEL-AAL, 2011).

Para isso, novas ferramentas têm sido investigadas, como a pulverização eletrostática, já que pode promover maior deposição da calda fitossanitária nas culturas. Como exemplo, estudos anteriores, em cultivos distintos ao milho, relataram ganhos em deposição de calda na ordem de 0,5 a 2,5 vezes e também redução de 6 vezes da taxa de aplicação tradicionalmente utilizada (DERKSEN et al., 2007; LARYEA; NO, 2005; XIONGKUI et al., 2011).

Com a eletrização das gotas pulverizadas a deposição dos produtos fitossanitários nos alvos pode aumentar resultando em maior eficácia biológica. Esse incremento de deposição pode representar maior eficiência de aplicações realizadas em menores taxas de aplicação (CHAIM, 2006; PATEL et al., 2017).

Além da técnica de aplicação, ainda é possível alterar a eficiência das aplicações com o uso de adjuvantes, que podem alterar as características físico-químicas das caldas

fitossanitárias, modificando a deposição sobre o alvo desejado. Qualquer substância ou composto sem propriedades fitossanitárias, exceto a água, com capacidade de facilitar, aumentar a eficiência ou diminuir os riscos da aplicação podem ser consideradas um adjuvante (KISSMANN, 1998).

Para obter melhorias na deposição, os adjuvantes podem alterar o tempo de evaporação, o tamanho e o ângulo de contato das gotas, o molhamento e o espalhamento do produto nas folhas, a condutividade elétrica, o potencial hidrogeniônico (pH) e a tensão superficial da calda fitossanitária (CUNHA et al., 2017b; CUNHA; ALVES, 2009; MENDONÇA et al., 2007; MONTÓRIO et al., 2004).

Para a pulverização eletrostática a variação da condutividade elétrica da calda pode representar alteração da magnitude da eletrização das gotas e, consequentemente, alteração da atração das gotas aos alvos, resultando em maior eficácia biológica (PATEL et al., 2017). Contudo, para a cultura do milho, ainda faltam informações sobre possíveis ganhos em deposição de produtos, melhor cobertura de gotas e eficácia biológica, ao se utilizar a pulverização eletrostática e menores volumes de calda. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a redução da taxa de aplicação com sistema eletrostático e diferentes caldas, na deposição da calda fitossanitária em plantas de milho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Ensaio 1 - Caracterização físico-química das caldas utilizadas

A determinação das características físico-químicas das caldas foi realizada no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos, e quatro repetições, compostos pelo inseticida (fenpropatrina 300 g L<sup>-1</sup>) em duas concentrações (0,89 g L<sup>-1</sup> e 1,63 mL L<sup>-1</sup>), presença ou não de um adjuvante visando elevação da condutividade elétrica (0,05% e 0% v v<sup>-1</sup>) (adjuvante sintético, AS) e um composto pela água utilizada nos tratamentos anteriores. As concentrações das quatro diferentes caldas corresponderam às aplicadas nos tratamentos do experimento conduzido posteriormente em campo. Todos os produtos utilizados e a composição dos tratamentos estão descritos nas Tabela 1 e Tabela 2.

As soluções após serem preparadas utilizando-se 50 mL de água à temperatura de 25°C, foram acondicionadas em recipientes plásticos com capacidade de 0,1 L.

Tabela 1. Descrição dos produtos utilizados nos diferentes tratamentos.

Produto	Composição	Formulação	Dose (L ha <sup>-1</sup> )
Inseticida	fenpropatrina, 300 g L <sup>-1</sup>	Concentrado emulsionável	0,085
Adjuvante	Composição	Formulação	Concentração (% v v <sup>-1</sup> )
AS	Adjuvante sintético (Nitrogênio - 34,5 g L <sup>-1</sup> , fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) - 207 g L <sup>-1</sup> , acidulante - 30,8 g L <sup>-1</sup> e tensoativo siliconado - 57,5 g L <sup>-1</sup> )	Suspensão	0,05

AS: adjuvante sintético.

Tabela 2. Descrição da composição dos tratamentos.

Tratamentos	Inseticida (mL L <sup>-1</sup> )	AS (% v v <sup>-1</sup> )
95 IN	0,89	-
95 IN AS	0,89	0,05
52 IN	1,63	-
52 IN AS	1,63	0,05
Água	-	-

Inseticida: fenpropatrina 300 g L<sup>-1</sup>. AS: adjuvante sintético.

As características avaliadas foram tensão superficial, condutividade elétrica, pH, viscosidade dinâmica e densidade da calda, conforme metodologia utilizada por Cunha e Alves (2009) e Cunha et al. (2017b). A tensão superficial foi determinada utilizando-se um tensiômetro de bancada (Kruss, K6, Hamburgo, Alemanha), pelo método do anel de Du Nuoy. Neste método, coloca-se o anel sobre a superfície do líquido e mede-se a força requerida para separar o anel da superfície. O pH e a condutividade elétrica foram medidos diretamente nas soluções utilizando-se um peagâmetro e condutivímetro portátil (AKSO, AK59, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil). Anteriormente à realização das leituras, o equipamento foi calibrado por meio de soluções-padrão fornecidas pelo fabricante do aparelho.

A viscosidade dinâmica foi determinada empregando-se um viscosímetro rotativo microprocessado (Quimis, Q860M21, Diadema, São Paulo, Brasil), o qual permite medir eletronicamente a força de torção já convertida em viscosidade. Este viscosímetro de medição direta funciona pelo princípio da rotação de um cilindro (cabeça de medição) submerso na amostra a ser analisada, medindo-se a força da torção necessária para superar a resistência da rotação. Utilizou-se o rotor zero e rotação de 60 rpm.

Para determinação da densidade das amostras foram identificados e pesados quatro balões volumétricos de 100 mL vazios em balança de precisão. Após isso, acondicionaram-se 100 mL de cada tratamento nestes balões e foram novamente levados à balança de precisão. Através da diferença entre a massa do balão volumétrico cheio e vazio e o volume conhecido, foi possível calcular a densidade da amostra.

## **2.2. Ensaio 2 - Quantificação da eletrização das gotas por meio da relação carga/massa**

Para determinação da capacidade de eletrização das gotas, foi realizado um experimento na área da Fazenda Experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia – MG.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (Tabela 2) e quatro repetições, a fim de verificar a influência das caldas de pulverização no funcionamento de um sistema de eletrização de gotas através da análise da relação carga/massa ( $Q/M$ ).

As condições ambientais foram monitoradas durante a realização do experimento através de um termo-higro-anemômetro digital (Kestrel, 4000, Boothwyn, Pensilvânia,

U.S.A.) com temperaturas mínima de 31,8 °C e máxima de 32,8 °C, umidade relativa do ar entre 45,5 e 47,7% e ventos com velocidades entre 0,0 e 3,1 km h<sup>-1</sup>.

Neste ensaio, analisou-se um bico presente no equipamento eletrostático empregado no ensaio de campo (descrição completa no item 2.3). A pressão e a vazão de trabalho também foram as mesmas. O equipamento operou em uma tensão de 6,95 kV.

A quantidade de carga do sistema foi determinada através do método da gaiola de Faraday usado por Chaim (1998) e Tavares et al. (2017). A saída do bico do pulverizador foi mantida a 0,05 m de distância da abertura da gaiola. Essa foi construída em estrutura cilíndrica de aço galvanizado, envolto com tela metálica com abertura de 3,033 mm e fio de 1,2 mm de diâmetro. As dimensões de 0,8 m de diâmetro e 0,6 m de comprimento foram adotadas para que todo o jato de pulverização fosse captado pela gaiola. O isolamento da gaiola foi promovido por uma haste de madeira de 1,6 m de comprimento com 0,5 m da haste abaixo do nível do solo.

Padronizou-se a espera de 5 segundos após o pulverizador entrar em funcionamento e, em seguida, pulverizou-se durante 1 min no interior da gaiola. Após isso, mensurou-se a quantidade de líquido pulverizada com o auxílio de uma proveta graduada com precisão de 5 mL.

Além do volume de líquido pulverizado foi necessário a determinação da densidade das caldas. Esta foi determinada por meio da relação entre a massa da calda e o volume amostrado. Assim, determinou-se a massa de líquido pulverizada no interior da gaiola por unidade de tempo (kg s<sup>-1</sup>).

A aferição da corrente elétrica presente nas gotas pulverizadas foi realizada por meio de um multímetro (Minipa, ET-2517<sup>a</sup>, Joinville, Santa Catarina, Brasil) conectado a gaiola e a um aterramento. O modelo de multímetro utilizado apresenta escala de medição para corrente elétrica de 0 a 600 µA e precisão de ± 0,2%. O aterramento do multímetro foi realizado pela utilização de uma barra de cobre enterrada a 2 m abaixo do nível do solo, semelhantemente à metodologia empregada por Maski e Durairaj (2010) e Tavares et al. (2017). As leituras no multímetro foram feitas no modo de corrente elétrica contínua.

Assim, foi determinada a corrente elétrica que o jato de gotas pulverizadas induzia na gaiola, a fim de verificar a relação carga/massa (Q/M), através da relação entre a corrente elétrica e a quantidade da massa de líquido pulverizada (kg s<sup>-1</sup>), conforme a seguinte equação (SASAKI et al., 2015):

$$Q/M = \frac{i}{m}$$

Na qual,

Q/M: Relação carga/massa ( $\text{mC kg}^{-1}$ );

i: Corrente elétrica contida no jato de pulverização ( $\text{mC s}^{-1}$ );

m: Fluxo de líquido ( $\text{kg s}^{-1}$ ).

### **2.3. Ensaio 3 - Experimentos em campo**

#### *2.3.1. Área experimental*

O experimento foi conduzido durante a segunda safra do ano de 2018, na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, Município de Uberlândia, Minas Gerais. A área possui uma altitude de 842 metros, com coordenadas geográficas  $18^{\circ}53'23,46''$  S de latitude e  $48^{\circ}20'27,46''$  O de longitude, topografia plana e clima do tipo Aw (Tropical úmido com inverno seco) (KÖPPEN, 1948)

Foi realizada a semeadura do híbrido de milho convencional BM709 (Helix Sementes Ltda), com dupla aptidão, semeado em linhas de cultivo espaçadas por 0,5 m e densidade populacional de 65 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

A cultura recebeu todas as adubações necessárias de acordo com o solo e sua exigência nutricional. Foram analisadas duas aplicações em diferentes momentos com o intuito de aumentar a confiabilidade dos resultados de eficácia biológica e deposição da calda.

#### *2.3.2. Delineamento experimental*

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 2$ , sendo 2 taxas de aplicação ( $95$  e  $52 \text{ L ha}^{-1}$ ), com ou sem eletrização de gotas, 2 composições de calda (1. Inseticida sem adição de adjuvante; 2. Inseticida e adjuvante sintético).

Cada parcela foi constituída de  $40 \text{ m}^2$ , sendo 10 linhas de plantas com 8 m de comprimento. Como parcela útil para as avaliações de tecnologia de aplicação e eficácia biológica, foram consideradas as 6 linhas centrais, desprezando-se 2 m de cada extremidade.

### 2.3.3. Aplicação dos tratamentos

Utilizou-se um pulverizador hidráulico de barra (FMCopling, JB80 400 BR12, Araraquara, São Paulo, Brasil) com 12 m de barra, 24 bicos espaçados 0,5 m e tanque de 400 L. O pulverizador foi montado em um trator de 85 cv (62,5 kW) (Ursus, 2-85, Nova Petrópolis, Rio de Janeiro, Brasil). Foi instalado um equipamento de eletrização de gotas (SPE, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) na barra com pontas de jato cônicos vazios denominadas SPE 1 (Vazão de  $0,265 \text{ L min}^{-1}$  a 300 kPa). A pressão de trabalho utilizada foi de 300 kPa em todos os tratamentos, variando as velocidades de trabalho de acordo com as taxas de aplicação de  $95 \text{ L ha}^{-1}$  e  $52 \text{ L ha}^{-1}$  ( $3,3 \text{ e } 6 \text{ km h}^{-1}$ , respectivamente), considerando a vazão aferida nas pontas de  $0,260 \text{ L min}^{-1}$  a 300 kPa devido às perdas de carga nas tubulações do equipamento.

As aplicações foram feitas para avaliação de deposição e simulação do controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) no milho. A área recebeu os tratamentos aos 37 e 44 dias após a semeadura da cultura (DAS), quando esta se encontrava em estádio vegetativo V8 e V10, respectivamente. Foi utilizado o inseticida fenpropatrina ( $300 \text{ g L}^{-1}$ ), na dose de  $85 \text{ ml ha}^{-1}$ , seguindo recomendações do fabricante.

Como adjuvante para as caldas fitossanitárias foi utilizado um para alteração da condutividade elétrica, adjuvante sintético (AS) na concentração de 0,05% v/v. A concentração foi determinada em consonância com a recomendação do fabricante (Tabela 3).

Tabela 3. Descrição da composição dos tratamentos utilizados.

Tratamentos	Calda	Técnica de aplicação	Taxa de Aplicação ( $\text{L ha}^{-1}$ )	Composição da Calda*
1	<b>95 IN</b>	Convencional	95	IN
2		Eletrostática	95	IN
3	<b>95 IN AS</b>	Convencional	95	AS + IN
4		Eletrostática	95	AS + IN
5	<b>52 IN</b>	Convencional	52	IN
6		Eletrostática	52	IN
7	<b>52 IN AS</b>	Convencional	52	AS + IN
8		Eletrostática	52	AS + IN

\* IN: Inseticida fenpropatrina; AS: adjuvante sintético.

#### *2.3.4. Espectro de gotas*

Para determinação do espectro de gotas foi realizado um experimento na área da Fazenda Experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia – MG, em delineamento inteiramente casualizado composto por 8 tratamentos (Tabela 3) e 8 repetições.

O espectro de gotas pulverizadas pela ponta empregada foi avaliado através de papéis hidrossensíveis com dimensões de 76 x 26 mm (Spraying Systems Co., Wheaton, Illinois, U.S.A.). Estes foram colocados em posição horizontal e voltados para cima em superfície plana e foi realizada a passagem do equipamento pulverizando as caldas a uma distância vertical de 0,5 m dos papéis. Em laboratório, os papéis foram digitalizados com um *scanner* (resolução espacial de 1200 dpi não interpolados com cores em 24 bits) e analisados em programa computacional DropScope®, específico para essa finalidade. Foi então determinado o diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), a amplitude relativa (AR), o percentual de área coberta pelas gotas (Cobertura, %) e o número de impactos ou densidade de gotas por  $\text{cm}^2$  (Densidade de gotas,  $\text{N cm}^{-2}$ ).

#### *2.3.5. Deposição de calda*

Para avaliar a deposição nas plantas de milho, foi adicionado à calda o marcador Azul Brilhante (Duas Rodas, Jaraguá do Sul, Santa Catarina, Brasil) na dose de 400 g  $\text{ha}^{-1}$ , fixa para todos os tratamentos, para ser detectado por absorbância em espectrofotometria. De acordo com Pinto et al., (2007), esse produto é estável por um período de até cinco horas de exposição solar.

Foram coletadas, após aplicação, quatro folhas de milho em cada parcela, duas da parte superior e duas da parte inferior das plantas. Como parte superior, foi considerada a quinta folha totalmente aberta. Já em relação à parte inferior, as escolhidas foram aquelas posicionadas 15 cm em relação ao solo. Após a coleta, as folhas (acondicionadas separadamente em sacos plásticos) foram mantidas em caixa térmica para posterior manipulação em laboratório.

Foi conduzido, além disso, um estudo de perda para o solo com a colocação de um conjunto de placas de Petri (capa e fundo) por parcela, dispostas, na entre linha central. Após a aplicação, as placas foram recolhidas e armazenadas também em caixa térmica para posterior análise em laboratório.

As análises laboratoriais de deposição foram feitas no Laboratório de Mecanização Agrícola – LAMEC, pertencente à UFU. Para isso, foram adicionados 100 mL de água destilada aos sacos plásticos contendo as folhas superiores e inferiores. Os sacos foram, então, lavados e agitados por 30 segundos, para máxima extração possível do marcador presente nas amostras. Para extração do marcador depositado nas placas de Petri seguiu-se de forma semelhante à extração nas folhas, adicionando-se 10 mL de água destilada em cada placa. Em seguida, o líquido extraído de cada amostra de folha e das placas foi depositado em copos plásticos, os quais foram acondicionados em local refrigerado provido de isolamento luminoso por 24 horas, para posterior leitura de absorbância no espectrofotômetro.

Utilizou-se um espectrofotômetro com lâmpada de tungstênio-halogênio (Biospectro, SP22, Curitiba, Paraná, Brasil) para realizar as leituras. A quantificação da coloração foi por absorbância em 630 nm. Com o uso de curvas de calibração, obtidas por meio de soluções-padrão do marcador, os dados de absorbância foram transformados em concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ). De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se a massa do marcador retida nas folhas de milho coletadas nas parcelas.

Em paralelo, as folhas tiveram sua área foliar medida por um scanner específico (LI-COR, LI-3100C, Lincoln, Nebraska, U.S.A.). A partir disso e com os dados do depósito total, realizou-se a divisão pela área foliar de cada amostra, obtendo-se assim a quantidade em micrograma ( $\mu\text{g}$ ) de marcador por  $\text{cm}^2$  de folha.

As condições ambientais foram monitoradas durante a realização das aplicações em campo através de um termo-higro-anemômetro digital (Kestrel, 4000, Boothwyn, Pensilvânia, U.S.A.). Para a primeira aplicação realizada aos 37 DAS, a temperatura mínima foi de 27,1°C e a máxima de 28,3°C, umidade relativa do ar entre 49,8 e 55,8% e ventos com velocidades entre 1,8 e 6,6  $\text{km h}^{-1}$ . Já para a segunda aplicação realizada aos 44 DAS, a temperatura mínima foi de 22,4 °C e máxima de 24,5 °C, umidade relativa do ar entre 45,7 e 59,2% e ventos com velocidades entre 0,0 e 4,2  $\text{km h}^{-1}$ .

#### **2.4. Análises estatísticas**

Todos os dados foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade de distribuição dos resíduos de Shapiro Wilk e Kolmogorov Smirnov, homogeneidade de

variâncias dos tratamentos de Levene e a aditividade do modelo estatístico de Tukey utilizando o programa R (R CORE TEAM, 2018).

Após atendidas as pressuposições, foi procedido o teste de F por meio da análise de variância e, quando significativo, a comparação múltipla das médias pelo teste de Tukey. Todos foram realizados a 5% de probabilidade com o programa estatísticos R (R CORE TEAM, 2018). Para elaborar gráficos foi utilizado o programa SigmaPlot 10.0 (AHMED et al., 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Ensaio 1 e 2 - Caracterização físico-química das caldas utilizadas e quantificação da eletrização das gotas por meio da relação carga/massa

A adição do inseticida e/ou do adjuvante provocou alteração nas características físico-químicas das caldas (Tabela 4). O inseticida demonstrou não alterar o pH da calda quando em concentrações para aplicações de 95 L ha<sup>-1</sup> (95 IN), comparado a Água. Porém, quando adicionado em maiores concentrações (52 L ha<sup>-1</sup>), acarretou em pequena redução de seu valor, de 8,46 (Água) para 8,08 (52 IN).

Tabela 4. Propriedades físico-química e relação carga/massa das caldas.

Calda	pH	CE ( $\mu$ S cm <sup>-1</sup> )	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Viscosidade dinâmica (mPa s <sup>-1</sup> )	Tensão superficial (mN m <sup>-1</sup> )	Relação carga/massa (mC kg <sup>-1</sup> )
<b>95 IN</b>	8,52 a	200 b	0,9981 d	0,92 b	28,1 a	6,62 d
<b>95 IN AS</b>	6,44 d	216 a	0,9967 e	0,93 b	35,5 b	8,50 a
<b>52 IN</b>	8,08 b	179 c	1,0948 a	0,93 b	28,1 a	7,70 c
<b>52 IN AS</b>	7,20 c	214 a	1,0673 b	0,94 b	34,2 b	8,15 b
<b>Água</b>	8,46 a	173 d	1,0240 c	0,99 a	71,6 c	4,84 e
C.V. (%)	1,1	1,31	0,01	1,24	2,6	0,95
Fc	446**	234**	925826*	26*	1266*	1876**
W	0,971*	0,969*	0,871**	0,95*	0,925*	0,952*
F <sub>Levene</sub>	0,9*	2,314*	0,321*	1,23*	0,19*	3,570**

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade; Fc: valor de F calculado; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; C.V. = coeficiente de variação; “\*” significativo a 5% de probabilidade e “\*\*” significativo a 1% de probabilidade.

**Caldas:** (95 IN) água + Inseticida (0,89 mL L<sup>-1</sup>); (95 IN AS) água + Inseticida (0,89 mL L<sup>-1</sup>) + adjuvante (0,05% v/v, AS); (52 IN) água + Inseticida (1,63 mL L<sup>-1</sup>); (52 IN AS) água + Inseticida (1,63 mL L<sup>-1</sup>) + adjuvante (0,05% v/v, AS).

Já o adjuvante promoveu uma queda mais acentuada neste quesito tornando a calda mais ácida, chegando a atingir o valor de 6,44 (Calda 95 IN AS). O pH interfere principalmente na dinâmica da dissociação das moléculas químicas do produto fitossanitário, podendo alterar as moléculas e, consequentemente, o grau de eficiência da calda. A redução do pH reduz a hidrólise alcalina de produtos sensíveis à calda com pH elevado. De modo geral, os produtos apresentam maior eficiência com pH entre 6,0 e 6,5 (CUNHA et al., 2017; CUNHA; ALVES, 2009; KISSMAN, 1998).

As caldas que atingiram os maiores valores de condutividade elétrica (CE) foram aquelas em que foi adicionado o adjuvante (Caldas 95 IN AS e 52 IN AS). Por ser também um fertilizante foliar e, portanto, conter sais, este foi capaz de elevar mais a condutividade do que o inseticida e a água. A CE é afetada pela formulação dos produtos utilizados, principalmente pela quantidade de íons, sua concentração e valência (CUNHA et al., 2017).

Valores de CE são relevantes, principalmente, quando se utiliza a técnica eletrostática de aplicação de produtos fitossanitários. Segundo Patel et al. (2017), maiores valores de CE são benéficos a esta técnica pois alteram a amplitude da eletrização das gotas com impacto direto na atração das gotas e maior deposição da calda nos alvos e, consequente, maior eficácia biológica. Sasaki et al. (2015) observaram que, em geral, a adição de adjuvantes à calda de aplicação tem a capacidade de alterar os valores de condutividade elétrica, aumentando a mesma e, consequentemente, a relação carga/massa, que pode interferir em aplicações eletrostáticas.

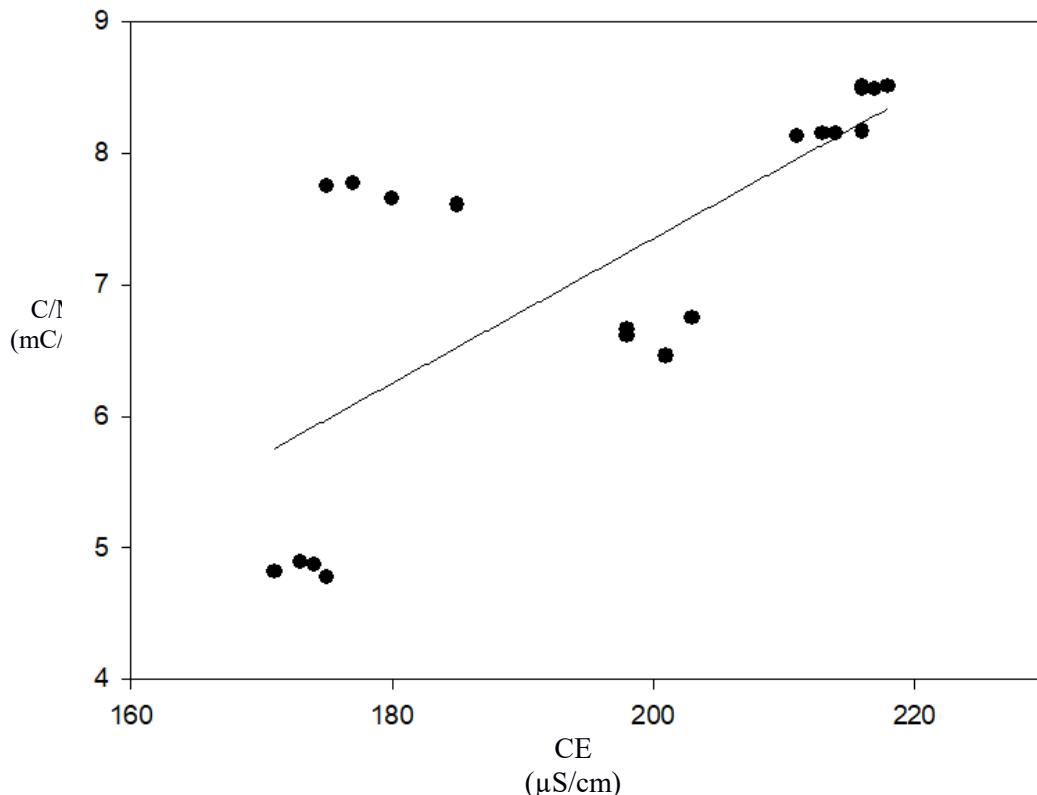
Pode-se observar que houve correlação positiva entre o aumento da CE e da relação carga/massa, sendo diretamente proporcionais suas alterações e variando em um modelo linear (Figura 1). O uso do adjuvante aumentou a relação carga/massa em relação à calda somente com inseticida, e este também o fez em relação à água.

Os tratamentos que mais reduziram a tensão superficial, em comparação com água, foram aqueles em que não foram adicionados o adjuvante (Calda 95 IN e 52 IN), demonstrando que o inseticida já continha em sua formulação moléculas que o proviam características tensoativas. A tensão superficial da calda é a propriedade principal que é afetada pelos adjuvantes surfactantes (IOST; RAETANO, 2010). Todas as caldas diminuíram essa característica, se diferenciando da Água. Iost e Raetano (2010) verificaram que as menores tensões superficiais e ângulos de contato das gotas resultaram em maiores níveis de molhamento. Além disso, esta propriedade altera a retenção e a adesividade da calda nos alvos (CUNHA et al., 2017, CUNHA; ALVES, 2009).

Já a densidade e a viscosidade dinâmica podem afetar o tamanho de gotas, uma vez que alteram o tamanho da lâmina líquida formada pelas pontas de pulverização. Isso gera interferência, principalmente, no risco de deriva (CALORE et al., 2015; CUNHA et al., 2017; OLIVEIRA. et al., 2015). Todas as caldas diferiram da Água nestas características. A adição do adjuvante não alterou a viscosidade em relação ao inseticida, mas reduziu a densidade. Contudo, a magnitude das alterações foi pequena, não

contribuindo, desta forma, com grandes alterações no tamanho das gotas, conforme pode ser visto na Tabela 4.

Figura 1. Condutividade elétrica e relação carga/massa das gotas pulverizadas.



\*Regressão significativa a 0,05.  $R^2 = 54,37\%$ ;  $y = -3,6472 + 0,055x$ ;  $r$  (Pearson) = 0,737; C/M = Relação carga/massa; CE = Condutividade elétrica;

### 3.2. Ensaio 3 - Experimentos em campo

#### 3.2.1. Estudo dos espectros de gotas produzidos

Como em todos os tratamentos foram mantidas as mesmas pontas de pulverização e a mesma pressão de trabalho não foi detectada diferença de DMV. Todos os tratamentos se mantiveram dentro da mesma classe de tamanho de gotas estabelecida pelo Conselho Britânico de Proteção de Culturas (British Crop Protection Council – BCPC), classificadas como gotas finas ( $150 \mu\text{m} \leq \text{DMV} \leq 250 \mu\text{m}$ ) nos papéis avaliados (Tabela 5).

Quanto menor o diâmetro da gota mais fácil de eletrizá-la, isto é, menor a carga exigida para isso (SASAKI et al., 2013). Gotas muito grossas tem a dominância da força

gravitacional no lugar da elétrica, não trazendo muitos benefícios da técnica de pulverização eletrostática (ASANO, 1986; LAW, 2014).

Os valores de cobertura distinguiram-se em duas classes sendo que o maior valor foi alcançado no tratamento 95 AS C e os menores nos tratamentos 52 IN C e 52 IN E. Houve variação dos valores de densidade de gotas nos mesmos tratamentos. A cobertura e a densidade de gotas do produto fitossanitário no alvo estão diretamente ligadas à sua eficácia biológica (MINGUELA; CUNHA, 2013). Quanto mais elevado o valor, maior a chance de sucesso do tratamento. De forma geral, verifica-se que o sistema eletrostático, bem como o emprego do adjuvante, pouco influenciaram os resultados obtidos no papel hidrossensível.

Tabela 5. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), cobertura e densidade de gotas das aplicações eletrostáticas com inseticida e adjuvante.

Tratamento	DMV ( $\mu\text{m}$ )	AR	Cobertura (%)	Densidade de gotas ( $\text{N cm}^{-2}$ )
<b>95 IN C</b>	248	0,77	22 ab	182 ab
<b>95 IN E</b>	243	0,64	22 ab	198 ab
<b>95 AS C</b>	242	0,72	26 a	226 a
<b>95 AS E</b>	234	0,73	22 ab	196 ab
<b>52 IN C</b>	234	0,64	12 b	106 b
<b>52 IN E</b>	230	0,68	12 b	109 b
<b>52 AS C</b>	243	0,71	16 ab	131 ab
<b>52 AS E</b>	242	0,71	13 ab	107 b
C.V. (%)	5,08	11,69	29,89	31,89
Fc	1,06 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	3,94**	3,81**
W	0,94875*	0,93088**	0,94463*	0,96189*
F <sub>Levene</sub>	1,1174*	0,2895*	3,1572**	1,9659*

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade; Fc: valor de F calculado; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; C.V. = coeficiente de variação; \*\* significativo a 5% de probabilidade, \*\*\* significativo a 1% de probabilidade e “ns” não significativo. (95 IN C) água + Inseticida (0,89 mL L<sup>-1</sup>) em aplicação convencional; (95 IN E) água + Inseticida (0,89 mL L<sup>-1</sup>) em aplicação eletrostática; (95 AS C) água + Inseticida (0,89 mL L<sup>-1</sup>) + adjuvante (0,05% v/v, AS) em aplicação convencional; (95 AS E) água + Inseticida (0,89 mL L<sup>-1</sup>) + adjuvante (0,05% v/v, AS) em aplicação eletrostática; (52 IN C) água + Inseticida (1,63 mL L<sup>-1</sup>) em aplicação convencional; (52 IN E) água + Inseticida (1,63 mL L<sup>-1</sup>) em aplicação eletrostática; (52 AS C) água + Inseticida (1,63 mL L<sup>-1</sup>) + adjuvante (0,05% v/v, AS) em aplicação convencional; (52 AS E) água + Inseticida (1,63 mL L<sup>-1</sup>) + adjuvante (0,05% v/v, AS) em aplicação eletrostática.

Van Zyl et al. (2013) estudando oxicloreto de cobre para controle de *Alternaria alternata* em plantas de citrus determinaram, por meio de modelo estatístico, que a eficácia biológica da aplicação estava diretamente ligada à cobertura do produto no alvo, confirmando que quanto maior a cobertura, maior a eficácia de controle.

A amplitude relativa (AR) também se manteve constante para todos os tratamentos com valores baixos, menores que 1. Valores reduzidos de AR estão relacionados a uma melhor pulverização ou maior homogeneidade da população de gotas (MINGUELA; CUNHA, 2013). Não houve interferência do adjuvante neste parâmetro.

### **3.2.2. Estudos de deposição e perda para o solo**

Na primeira aplicação, os valores obtidos de deposição nos terços superior e inferior das plantas, e os referentes à perda para o solo demonstraram que houve significância nos fatores técnica de aplicação e composição de calda no terço superior. Para o terço inferior, houve interação significativa entre técnica e taxa de aplicação, além da taxa com a calda de aplicação. Nas perdas para o solo o fator técnica de aplicação foi significativo (Tabela 6).

Tabela 6. Valores de F calculado obtidos na análise de variância (ANOVA) para os dados de deposição nos terços superior e inferior e perdas para o solo na 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> aplicação.

Fatores	1 <sup>a</sup> aplicação			2 <sup>a</sup> aplicação		
	T. Sup.	T. Inf.	Solo	T. Sup.	T. Inf.	Solo
Téc.	23,08**	6,02*	4,29*	18,32**	1,13 <sup>ns</sup>	5,37*
Taxa	0,41 <sup>ns</sup>	7,75*	1,00 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	2,49 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
Calda	4,48*	0,05 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	3,52 <sup>ns</sup>	5,81*	0,69 <sup>ns</sup>
Téc.*Taxa	1,59 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	2,34 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	5,01*	0,51 <sup>ns</sup>
Téc.*Calda	0,78 <sup>ns</sup>	9,12**	0,43 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
Taxa*Calda	0,97 <sup>ns</sup>	5,02*	0,41 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
Téc.*Taxa*Calda	0,21 <sup>ns</sup>	2,87 <sup>ns</sup>	1e-04 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>

“\*\*” significativo a 5% de probabilidade, “\*\*\*” significativo a 1% de probabilidade e “<sup>ns</sup>” não significativo. Téc. = técnica de aplicação; Taxa = taxa de aplicação; Calda = composição da calda; T. Sup. = terço superior; T. Inf. = terço inferior; Solo = perdas para o solo.

Já para a segunda aplicação o fator técnica de aplicação mostrou-se significativo no terço superior e nas perdas para o solo. No terço inferior, houve interação entre os fatores técnica de aplicação e taxa de aplicação, além de serem significativo os valores de calda de aplicação.

A deposição alcançada pela técnica eletrostática, no terço superior, superou a convencional em quase 50% da massa do marcador ( $1460 \mu\text{g cm}^{-2}$  para a eletrostática e  $982 \mu\text{g cm}^{-2}$  para a convencional) na primeira aplicação e quase 30% na segunda aplicação (Tabela 7). Estes dados estão em consonância com Marques (2018), que para a mesma cultura e posição da planta, conseguiu um incremento de 64% na deposição do marcador ao utilizar a técnica eletrostática. Sasaki et al. (2013) verificaram resultados semelhantes, atingindo 37% de incremento na deposição de calda com a pulverização eletrostática em plantas de café.

Tabela 7. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$  de folha) no terço superior em função da pulverização eletrostática em aplicações realizadas aos 37 dias após semeadura (1<sup>a</sup> aplicação) e aos 44 dias após semeadura (2<sup>a</sup> aplicação).

Técnica de aplicação	Deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )	
	1 <sup>a</sup> Aplicação	2 <sup>a</sup> Aplicação
Convencional	982 B	1033 B
Eletrostático	1460 A	1334 A
C.V. (%)	23,03	16,83
F <sub>Levene</sub>	1,9753*	1,2806*
W	0,937*	0,9605*
Adt	0,0199488*	0,5344

Médias seguidas por letras iguais maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; “\*” significativo a 5% de probabilidade e “\*\*” significativo a 1% de probabilidade.

Verifica-se na Tabela 8 a deposição de calda em função da presença dos adjuvantes. Nota-se que a composição da calda foi fator determinante na deposição, atingindo maiores valores com caldas com condutividade elétrica mais elevada.

Esta relação já foi estudada, mostrando que o aumento da condutividade tem influência na relação carga/massa (SAZAKI et al., 2015; PATEL et al., 2017). Como demonstrado na Tabela 4, o aumento da condutividade elétrica resultou em aumento da carga das gotas. Gotas mais carregadas tendem a aumentar a deposição nos alvos (CHAIM et al., 2002).

Pelos resultados obtidos, verifica-se também que o aumento de deposição com o adjuvante de elevação de CE se deu também na pulverização sem carga eletrostática, visto que não houve interação entre técnica de aplicação e calda. Possivelmente, alguma outra característica também tenha sido melhorada com o adjuvante, permitindo o aumento de deposição.

Tabela 8. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$  de folha) no terço superior em função da composição da calda em aplicações realizadas aos 37 dias após semeadura.

Calda de aplicação	Deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
IN	1116 B
AS	1327 A
C.V. (%)	23,03
F <sub>Levene</sub>	1,9753*
W	0,937*
Adt	0,0199488*

Médias seguidas por letras iguais maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade; F<sub>Levene</sub> = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*” significativo a 5% de probabilidade; IN = calda composta de água + Inseticida; AS = calda composta por água + Inseticida + adjuvante sintético.

A deposição no terço inferior das plantas apresentou interação entre os fatores técnica e calda de aplicação (Tabela 9) e taxa e calda de aplicação (Tabela 10). Nos valores de deposição a técnica eletrostática superou a convencional na calda de menor condutividade elétrica, confirmando o incremento de deposição desta técnica já discutido anteriormente (Tabela 9). Destaca-se que a água utilizada no ensaio apresentava CE de 173 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), o que pode ter contribuído para os resultados alcançados.

Na Tabela 10 demonstra-se que a maior taxa de aplicação sem adjuvante apresentou menor valor de deposição em comparação com a menor taxa de 52 L ha<sup>-1</sup>. Isso indica a maior possibilidade de perda do inseticida em maiores taxas quando aplicado sem adjuvante. O uso de adjuvantes aumenta a capacidade de aderência dos produtos aplicados ao alvo (KISSMANN, 1998).

A não deposição do produto no local requerido pode ser considerado desperdício de recursos financeiros para as propriedades rurais, além de representar um potencial problema ambiental. Sendo assim, conhecimentos acerca da tecnologia de aplicação adequada para cada situação são indispensáveis para se evitar tais desperdícios e contaminações ambientais (CALORE et al., 2015; MATHEWS, 2014).

Zheng et al. (2002) afirmaram ainda que a pulverização eletrostática pode melhorar a distribuição e deposição das gotas na planta com menor contaminação ambiental, taxas de aplicação reduzidas e menor custo operacional. Além disso, o sistema eletrostático pode reduzir as perdas totais das aplicações em até 50% (ZHOU et al., 2012).

Tabela 9. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$  de folha) no terço inferior em função das diferentes técnicas de aplicação e composição das caldas em aplicações realizadas aos 37 dias após semeadura.

Técnica de aplicação	Calda de aplicação	
	IN	AS
Convencional	995 bB	1251 aA
Eletrostático	1425 aA	1206 aA
C.V. (%)	18,23	
$F_{\text{Levene}}$	0,5398*	
W	0,943*	
Adt	0,7351*	

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na linha ou maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade;  $F_{\text{Levene}}$  = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*” significativo a 5% de probabilidade; IN = calda composta de água + Inseticida; AS = calda composta por água + Inseticida + adjuvante sintético.

Tabela 10. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$  de folha) no terço inferior em função das diferentes taxas de aplicação e composição das caldas em aplicações realizadas aos 37 dias após semeadura.

Taxa de aplicação ( $\text{L ha}^{-1}$ )	Calda de aplicação	
	IN	AS
95	1013 aB	1207 aA
52	1408 aA	1250 aA
C.V. (%)	18,23	
$F_{\text{Levene}}$	0,5398*	
W	0,943*	
Adt	0,7351*	

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na linha ou maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade;  $F_{\text{Levene}}$  = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*” significativo a 5% de probabilidade; IN = calda composta de água + Inseticida; AS = calda composta por água + Inseticida + adjuvante sintético.

Comportamento semelhante ao que aconteceu no terço superior das plantas para a primeira aplicação se repetiu para o terço inferior na segunda aplicação (Tabela 11). A deposição do marcador nesta posição alcançou  $846 \mu\text{g}$  de marcador por  $\text{cm}^2$  de folha para a calda de maior condutividade elétrica e  $697 \mu\text{g cm}^{-2}$  de folha para a de menor. Estes

resultados reforçam a possível influência da condutividade elétrica da calda nas aplicações com pulverização eletrostática discutida anteriormente, assim como os benefícios que os adjuvantes podem trazer para as aplicações (KISSMANN, 1998).

Ao se comparar os valores dos depósitos no terço superior e inferior, é possível notar uma queda maior para a segunda aplicação em relação a primeira. Esta queda pode estar relacionada a um maior número de folhas e maior fechamento do dossel na segunda aplicação, uma vez que a cultura já se encontrava em estádio fenológico V10. Valores de deposição são maiores quanto maior a proximidade do bico de pulverização em relação à superfície alvo (LARYEA; NO, 2005). Além disso, a redução da deposição de fitossanitários nos terços inferiores do dossel das culturas ter sido relatada em várias pesquisas (BOSCHINI et al., 2008; CUNHA et al., 2011; TORMEN et al., 2012; VILLALBA et al., 2009).

Tabela 11. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$  de folha) no terço inferior em função das diferentes composições das caldas em aplicações realizadas aos 44 dias após semeadura.

Calda de aplicação	Deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
IN	697 B
AS	846 A
C.V. (%)	16,28
$F_{\text{Levene}}$	1,765*
W	0,964*
Adt	3,7435*

Médias seguidas por letras iguais e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade;  $F_{\text{Levene}}$  = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*” significativo a 5% de probabilidade; IN. = calda composta de água + Inseticida; AS = calda composta por água + Inseticida + adjuvante sintético.

Na segunda aplicação realizada houve interação entre o fator técnica de aplicação e a taxa de aplicação para o terço inferior das plantas (Tabela 12). Assim como na primeira aplicação a menor taxa de aplicação apresentou maior valor de deposição para a técnica convencional de aplicação, ratificando a importância do uso de adjuvantes nas aplicações.

Observou-se um incremento na deposição para a técnica eletrostática na maior taxa de aplicação. Esse resultado está em consonância com Pye (1983), que ao examinar a penetração de gotas no dossel de culturas de cereais, concluiu que a indução de cargas nas gotas aumenta a deposição em alvos mais próximos ao solo.

Tabela 12. Massa de marcador retida na folhagem da cultura do milho ( $\mu\text{g cm}^{-2}$  de folha) no terço inferior, em função das técnicas e taxas de aplicação das caldas em aplicações realizadas aos 44 dias após semeadura.

Técnica de aplicação	Taxa de aplicação ( $\text{L ha}^{-1}$ )	
	95	52
Convencional	690 bB	867 aA
Eletrostático	843 aA	812 aA
C.V. (%)	16,28	
$F_{\text{Levene}}$	1,765*	
W	0,964*	
Adt	3,7435*	

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na linha ou maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade;  $F_{\text{Levene}}$  = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*\*” significativo a 5% de probabilidade.

Fazer com que as gotas atravessem a camada superior de folhas das plantas e atinjam as partes mais internas do dossel, passando pela barreira imposta pela massa de folhas e aumentando a cobertura da planta sem ocasionar perdas para o solo é um desafio para as aplicações (FERREIRA; OLIVEIRA, 2008; OZKAN et al., 2006; ZHU et al., 2008). A técnica eletrostática, além da melhora na deposição da calda fitossanitária nas plantas (Tabela 7 e Tabela 12), também conseguiu diminuir as perdas da calda para o solo (Tabela 13).

Tabela 13. Massa de marcador retida nas placas de Petri ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) dispostas como alvo artificial para estimar a perda para o solo em função das diferentes técnicas de aplicação das caldas em pulverizações realizadas aos 37 dias após semeadura (1<sup>a</sup> aplicação) e aos 44 dias após semeadura (2<sup>a</sup> aplicação).

Técnica de aplicação	1 <sup>a</sup> Aplicação	2 <sup>a</sup> Aplicação
Convencional	4424 B	3057 B
Eletrostático	3525 A	2283 A
C.V. (%)	30,87	31,47
$F_{\text{Levene}}$	3,065**	0,721*
W	0,977*	0,981*
Adt	0,0736 *	1,9659*

Médias seguidas por letras iguais e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade;  $F_{\text{Levene}}$  = estatística do teste de Levene; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; Adt = Aditividade de Tukey; C.V. = coeficiente de variação; valores seguidos de “\*\*” significativo a 5% de probabilidade.

A capacidade de criar uma zona de interferência eletromagnética com o efeito de fazer as gotas, suficientemente eletrizadas, acompanharem o desenho das linhas do campo

eletromagnético criado a partir da diferença de potencial elétrico entre o solo ou a superfície vegetal e o bico eletrizado, diminuem as perdas para o solo, pois as gotas são direcionadas para as plantas superfícies aterradas mais próximas (LAW, 2014).

As perdas para o solo na primeira e segunda aplicação evidenciaram que a técnica eletrostática diminuiu o risco de contaminação ambiental e o desperdício da calda pulverizada, assim como demonstrado por alguns outros estudos (CHAIM, 2006; TAVARES et al., 2017; ZHOU et al., 2012).

## **4. CONCLUSÕES**

O incremento da condutividade elétrica da calda de aplicação aumentou a relação carga/massa na pulverização eletrostática.

O sistema eletrostático não alterou o espectro de gotas e a cobertura avaliada em papel sensível.

A técnica de aplicação eletrostática pode trazer benefícios para as aplicações em campo, pois promoveu aumento da deposição no terço superior da cultura e diminuição da perda para o solo. Contudo, no terço inferior nem sempre a técnica mostrou-se superior à aplicação convencional.

## REFERÊNCIAS

ABD-ELHADY, H.K.; ABD EL-AAL, A.A. Insecticides resistance detection in field-collected populations of *Pectinophora gossypiella* (Saunders). **American Journal of Biochemistry and Molecular Biology**, n. 1, p. 337-348, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajbmb.2011.337.348>

ABD EL-MAGEED, A. E. M.; ANWAR, E. M.; ELGOHARY, L. R. A.; DAHI, H. F. Evaluation of several programs of sequences pesticides application on cotton bollworms and some other sucking pests in cotton field. **Journal of Entomology**, Londres, v. 4, n. 2, p. 93-103, 2007. DOI: <https://doi.org/10.3923/je.2007.93.103>

AHMED, N.; DIXON, F.; DUTTA, J.; GELB, S.; BONDURANT, J.; ISHIKAWA, J.; JACOBS, L.; KELLY, K.; MAQSAT, A.; MITCHELL, D.; MURTHY, O.; NORBY, J.; POPOV, O.; RUBENSTEIN, S.; SAH, L.; YSARKAR, D.; SHIMBERG, B.; SPRAGENS, T.; TRIPATI, P.; YAREMCHUK, M. **Sigma Plot for Windows version 10.0, Build 10.0.0.54.** Copyrighth ©. 2006.

ASANO, K. Electrostatic spraying of liquid pesticide. **Journal of Electrostatics**, Amsterdam, v. 18, n. 1, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3886\(86\)90016-1](https://doi.org/10.1016/0304-3886(86)90016-1)

CALORE, R. A.; FERREIRA, M. da C.; GALLI, J. C. Efeitos de adjuvantes no controle de *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: *trypidae*) na cultura do amendoim. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 1, p. 74-81, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i1a5043>

CHAIM, A. **Desenvolvimento de um pulverizador eletrohidrodinâmico: avaliação do seu comportamento na produção de gotas e controle de trips (*Enneothrips flavens* Moulton, 1951), em amendoim (*Arachishy pogaea* L.).** 1984. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista ‘Julio de Mesquita Filho’, Jaboticabal, 1984.

CHAIM, A. **Pulverização Eletrostática:** principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 17 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 57). DOI: <https://doi.org/10.5380/pes.v17i0.3181>

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L. Eficiência de deposição de agrotóxicos obtida com bocal eletrostático para pulverizador costal motorizado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 497-501, p. 963-969, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400011>

COFFEE, R. A. Electrodynanic crop spraying. **Outlook on Agriculture**, v. 10, n. 7, p. 350-356, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1177/003072708101000709>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** v. 12 Safra 2017/18 - Décimo segundo levantamento, Brasília, DF: CONAB, 2018.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciencia**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017.

DAL POGETTO, M. H. F. A.; PRADO, E. P.; GIMENES, M. J.; CHRISTOVAM, R. S.; REZENDE, D. T.; AGUIAR-JUNIOR, H. O.; COSTA S. I. A.; RAETANO, C. G. Corn yield with reduction of insecticidal sprayings against fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Agronomy**, Faisalabad, v. 11, n. 1, p. 17-21, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3923/ja.2012.17.21>

DERKSEN, R. C.; VITANZA, S.; WELTY, C.; MILLER, S.; BENNETT, M.; ZHU, H. 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. DOI: 10.13031/2013.24090

FERREIRA, M. C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 1539-1548, 2013.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; MARTIN, D. E.; THOMSON, S. J. Aerial application methods for increasing spray deposition on wheat heads. **Applied Engineering Agriculture**, St. Joseph, v. 23, n. 3, p. 709-715, 2007. DOI: 10.13031/2013.20453

IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfactantes em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 670-680, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000400011>

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELLES, S. B. (org.). **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias**. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária, sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p. 39-51.

KÖPPEN, W. **Climatología: con un studio de los climas de la tierra**. Cidade do México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

LARYEA, G. N.; NO, S. Y. Effect of fan speed and electrostatic charge on deposition of orchard canopy sprays. **Atomization and Sprays**, Danbury, v. 15, p. 133-144, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1615/AtomizSpr.v15.i2.20>

LAW, S. E. Electrostatically charged sprays. In: Matthews, G. A. **Pesticide application methods**. 4. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2014. 545 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118351284.ch10>

LOURENÇO, A. L. F.; FERNANDES, M. G. Evaluation of Cry1Ab and Cry1F Bt maize genotypes for the control of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith. 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) under field conditions. **Científica**, Jaboticabal, v. 41, n. 2, p. 164-188, 2013.

MARQUES, R. S. **Controle de *Dalbulus maidis* (De Long & Wolcott) (Hemíptera: Cicadellidae) na cultura do milho com pulverização eletrostática.** 2018. Dissertação (mestrado) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

MATHEWS, G. A. **Pesticide application methods.** 4. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2014. 545 p.

MICHELOTTO, M. D.; FINOTO, E. L.; MARTINS, A. L. M.; DUARTE A. P. Interação entre transgênicos (Bt) e inseticidas no controle de pragas-chave em híbridos de milho-safrinha. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 1, p. 71-79, 2011.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários.** 1. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013. 588 p.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A. Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 109-116, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p109-116/2015>

PATEL, M. K.; PRAVEEN, B.; SAHOO, H. K.; PATEL, B.; KUMAR, A.; SINGH, M.; NAYAK, M. K.; RAJAN, P. An advance air-induced air-assisted electrostatic nozzle with enhanced performance. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 135, p. 280-288, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.02.010>

PYE, B. J. Application techniques to increase crop penetration of charged sprays (summary). In: Proceedings, 10TH INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PROTECTION, **Anais [...] Brighton, UK**, v. 504, n. 2, 1983.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. M. de B.; RODRIGUES, D. E. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 9, p. 1605-1609, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000900011>

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; SANTIAGO, H.; MADUREIRA, R. P.; MACIEL, C. F. S.; FERNANDES, H. C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 274-279, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131604>

TAVARES, R. M.; SILVA, J. E. R.; ALVES, G. S.; ALVES, T. C.; SILVA, S. M.; CUNHA, J. P. A. R. Tecnologia de aplicação de inseticidas no controle da lagarta-do-cartucho na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n.1, p. 30-42, 2017.

VAN ZYL, J. G.; FOURIE, P.H.; SCHUTTE, G.C. Spray deposition assessment and benchmarks for control of Alternaria brown spot on mandarin leaves with copper

oxychloride. **Crop Protection**, Guildford, v. 46, n. 4. p. 80-87, 2013. DOI: 10.1016 / j.cropro.2012.12.005

XIONGKUI, H.; AIJUN, Z.; YAJIA, L.; JIANLI, S. Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques.

**International Journal of Agricultural and biological engineering**, Pequim, v. 4, n. 1, p. 35-40, 2011. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2011.01.035-040