

SAULO FELIPE BROCKES CAMPOS

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA NO CONTROLE QUÍMICO
DE PLANTAS DANINHAS AVALIADO VISUALMENTE E POR IMAGEM
AÉREA**

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

SAULO FELIPE BROCKES CAMPOS

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA NO CONTROLE QUÍMICO
DE PLANTAS DANINHAS AVALIADO VISUALMENTE E POR IMAGEM
AÉREA**

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 obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

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

C198t Campos, Saulo Felipe Brockes, 1993
2019 Tecnologia de aplicação eletrostática no controle químico de plantas daninhas avaliado visualmente e por imagem aérea [recurso eletrônico] / Saulo Felipe Brockes Campos. - 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.2019.1302>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Erva daninha - Controle químico. 3. Pulverização.
4. Agricultura de precisão. 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



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
 Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppga.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA

Ata da defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO junto ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia.

Defesa de Mestrado, 14/2019, PPGAG

Data: 25 de fevereiro de 2019.

Discente: SAULO FELIPE BROCKES CAMPOS

Matrícula: 11712AGR023

Título do Trabalho: “Tecnologia de aplicação eletrostática no controle químico de plantas infestantes avaliado visualmente e por imagem aérea.”

Área de concentração: Fitotecnia

Linha de pesquisa: Produção Vegetal em Áreas do Cerrado

Às 14:00 horas do dia vinte e cinco de fevereiro do ano de 2019, na sala 102 do bloco 8C - Campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado - UFU, Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga - UFU, Dr^a. Mariana Rodrigues Bueno – Forquímica e Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU - orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao(à) discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa. A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o conceito final (**B**).

Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o(a) candidato(a) (**A**)provado, sugerindo (se for o caso) o novo título para o trabalho:

Tecnologia de aplicação eletrostática no controle químico de plantas daninhas avaliado visualmente e por imagem aérea

Esta defesa de Dissertação de Mestrado é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, legislação e regulamentação internas da UFU, em especial do artigo 55 da resolução 12/2008 do Conselho de Pós-graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Uberlândia.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos às (**18:45**) horas. Foi lavrada a presente ata que após lida e em conformidade foi assinada pela Banca Examinadora.

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado	UFU	(80)
Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga	UFU	(70)
Dr^a. Mariana Rodrigues Bueno	Forquímica	(75)
Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha	UFU	(80)

Orientador

Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2019, às 09:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sandro Manuel Carmelino Hurtado, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2019, às 10:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mariana Rodrigues Bueno, Usuário Externo**, em 27/02/2019, às 09:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cleyton Batista de Alvarenga, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/02/2019, às 07:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1026446** e o código CRC **EB806338**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, e por estar sempre presente ao meu lado, me dando forças, fé e perseverança para jamais desistir dos meus sonhos e objetivos, possibilitando essa conquista.

Aos meus pais Fábio de Melo Campos II e Silene Cavalcante Brockes, por me ensinarem que se queremos algo na vida, temos que lutar, trabalhar e ser gratos por aqueles que nos ajudaram a alcançar nossos objetivos... ensinando-me não apenas com palavras, mas com exemplos para eu e minha querida irmã Mariana Brockes, que amo e admiro muito.

Para posteridade ela poder se orgulhar, nunca iria deixar de agradecer minha pequena grande paixão, que faz 2 aninhos dia 19 de abril, minha linda filha Alice Brockes, que mesmo aos prantos não deixava de me lembrar o porquê de eu estar aqui. A razão sempre será você meu anjo... Papai te ama muito, e nunca se esqueça... "O mundo é seu!"

Aos incríveis professores, que são inspiração de pessoas e profissionais, onde pude compartilhar conhecimentos e receber além de ensinamentos, experiências no campo, onde levarei para o resto da vida. Gostaria de agradecer pela evolução e dedicação prestada ao próximo, pois é apenas com educação que se pode transformar uma pessoa boa em melhor, além de um profissional capacitado.

Um grande professor, orientador e pessoa, que me abriu as portas de uma área incrível, cheia de inovações e oportunidades, obrigado Prof. João Paulo Arantes R. da Cunha, pelos ensinamentos, exemplos e serenidade que nos transmite, tanto na sala quanto no campo. Obrigado por ser esse professor que inspiram jovens a desenvolver soluções para problemas no campo, principalmente na área da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários.

Agradeço também aos meus amigos do LAMEC, todos sem exceção. Mostraram-me a importância do trabalho em equipe, deixando claro que sozinho você pode ir mais rápido, mas em equipe todos vão mais longe. Obrigado a todos... Heli, Guilherme, Sérgio, Thales, Cesar, Roxanna, Arthur, Matheus e Ernane. Todos tem seu suor nesse trabalho, seja ajudando na condução dos experimentos, ou com dicas na sua confecção. Sentirei falta das conversas no LAMEC e nas trocas de experiências. Nunca me esquecerei do convívio e do café com risadas, obrigado!

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia, por realizar mais esse sonho de ser Mestre, e por me acolher desde 2011, na 2º turma da agronomia campus de Monte Carmelo-MG. Obrigado a CAPES, por contribuir, de forma financeira para a concretização dessa etapa. O Brasil ainda tem muito a crescer e evoluir quando o assunto é educação!

“A sabedoria do mundo não está contida somente em livros, porém ao estudá-los, incontáveis técnicas novas poderão ser criadas. Estude e pratique, e então reflita sobre o seu progresso. ”

(Morihei Ueshiba)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	7
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMO GERAL	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 OBJETIVO GERAL	8
2.1 Objetivos Específicos.....	8
REFERÊNCIAS	9
CAPÍTULO I.....	13
RESUMO	14
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.1 Local do experimento	18
2.2 Tratamentos.....	18
2.3 Avaliações	19
2.3.1 Características físico-químicas das caldas.....	19
2.3.2 Eletrificação das gotas.....	20
2.3.3 Espectro de gotas.....	22
2.3.4 Deposição de calda e perdas para o solo	23
2.3.5 Eficácia de controle de plantas daninhas.....	24
2.3.6 Deriva	24
2.4 Análises estatísticas	27
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4 CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO II	44
RESUMO	45
ABSTRACT	46
1 INTRODUÇÃO.....	47
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	50
2.1 Local do experimento	50
2.2 Levantamento fitossociológico.....	50
2.3 Aplicação de herbicida com uso da tecnologia de pulverização eletrostática e adjuvante adicionado à calda.....	50
2.4 Equipamentos e procedimentos realizados no campo	51
2.4.1 Avaliação da eficácia de controle de plantas daninhas.....	52

2.5	Processamento de imagens aéreas com auxílio dos softwares ImageJ e SisCob	53
2.6	Análises estatísticas	53
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS.....	59

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas por herbicidas (ALAM, 1974).....	28
Tabela 2. Propriedades físico-químicas e relação carga/massa das caldas.....	28
Tabela 3. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e amplitude relativa (AR) das aplicações do herbicida glifosato, em diferentes taxas de aplicação, com adjuvante e sistema eletrostático.....	30
Tabela 4. Deposição de calda aplicada nas plantas daninhas e perdas para o solo em diferentes taxas de aplicação, na presença e ausência de adjuvante, utilizando a tecnologia de aplicação eletrostática (Ensaio 1).....	32
Tabela 5. Deposição de calda aplicada nas plantas daninhas e perdas para o solo em diferentes taxas de aplicação, na presença e ausência de adjuvante, utilizando a tecnologia de aplicação eletrostática (Ensaio 2).....	33
Tabela 6. Eficácia de controle de plantas daninhas em diferentes taxas de aplicação, na presença e ausência de adjuvante, utilizando a tecnologia de aplicação eletrostática (Ensaio 1).....	36
Tabela 7. Eficácia de controle de plantas daninhas em diferentes taxas de aplicação, na presença e ausência de adjuvante, utilizando a tecnologia de aplicação eletrostática (Ensaio 2).....	37
Tabela 8. Deriva (%) de herbicida com adjuvante adicionado à calda utilizando a tecnologia de pulverização eletrostática, em distintas distâncias com coletores de fio de nylon e papéis).....	38

CAPÍTULO II

Tabela 1. Escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas por herbicidas (ALAM, 1974).....	52
Tabela 2. Correlação da porcentagem de controle de plantas daninhas aos 35 dias após a aplicação do glifosato, utilizando a escala visual de notas e imagens processadas pelos softwares SisCob e ImageJ, entre as avaliações em diferentes áreas.....	56

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Vista lateral (A) e frontal (B) da Gaiola de Faraday.....21

Figura 2. A) Multímetro utilizado para medir a corrente. B) Detalhe da conexão do multímetro com a gaiola de Faraday. C) Detalhe da barra de ferro utilizada para aterrar o multímetro.....22

Figura 3. Croqui da área experimental para avaliação da deriva nas distâncias de 5, 10 e 15 m da área aplicada.....26

CAPITULO II

Figura 1. Imagem aérea da área experimental (n = 40) aos 35 dias após a aplicação de herbicida, antes (esquerda) e depois do processamento com o software ImageJ (centro) e SisCob (direita).....55

RESUMO GERAL

CAMPOS, SAULO FELIPE BROCKES. **Tecnologia de aplicação eletrostática no controle químico de plantas daninhas avaliado visualmente e por imagem aérea.** 2019. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG¹

Dentre os processos da tecnologia de aplicação que necessitam de otimização, destaca-se a aplicação do herbicida glifosato para o controle de plantas daninhas. Nesse sentido, a fim de reduzir perdas para o ambiente por deriva e proporcionar maior contato das gotas com seus alvos, com maiores depósitos dos produtos fitossanitários e menores taxas de aplicação, desenvolveu-se o sistema de pulverização eletrostático. Contudo, alguns fatores influenciam seu desempenho como as características físico-químicas da calda, alteradas principalmente pelos adjuvantes, o tamanho das gotas, o sistema de eletrificação de gotas e a relação carga/massa. Outra aliada no manejo das plantas daninhas é a agricultura de precisão, que permite monitoramento de lavouras, identificação de pragas, doenças e plantas daninhas, e pode ser utilizada para avaliação de eficácia de herbicidas com softwares de processamento de imagens aéreas, capturadas com aeronaves remotamente pilotadas (ARP). Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar visualmente e por imagem aérea a eficácia de controle de plantas daninhas com herbicida utilizando o sistema de pulverização eletrostática, com adição de adjuvante, em duas taxas de aplicação (50 e 90 L ha⁻¹), comparadas à taxa de 150 L ha⁻¹. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com dez tratamentos e quatro repetições. Em duplicata, com duas áreas e épocas distintas, totalizaram 40 parcelas por experimento, em esquema fatorial 2 x 2 x 2 + 2, sendo ausência e presença de pulverização eletrostática, presença e ausência de adjuvante e duas taxas de aplicação (50 e 90 L ha⁻¹), além dos adicionais controle e aplicação convencional (150 L ha⁻¹). Utilizou-se o herbicida glifosato, na dose de 2 L ha⁻¹, e o adjuvante lecitina de soja+ácido propiônico, na concentração de 0,5 L 100 L⁻¹. Foram avaliadas as propriedades físico-químicas das caldas, relações carga/massa, espectro de gotas, deposição de calda nas plantas daninhas, perdas para o solo, eficácia de controle e deriva. Juntamente à calda de aplicação, foi adicionado também o traçador Azul Brilhante[®], para o estudo de deposição da calda nas plantas daninhas e perdas para o solo, pelo método da espectrofotometria. A deriva foi avaliada pelo método de fluorimetria, com o traçador Rodamina B[®]. As análises visuais da eficácia de controle das plantas daninhas foram realizadas mediante a escala de notas, desenvolvida pela Associação Latino-americana de Malezas – ALAM. Junto à avaliação visual, foram realizados voos com ARP para captura de imagens, e posteriormente as mesmas foram processadas com os softwares ImageJ e SisCob. A pulverização eletrostática não influenciou em nenhuma das variáveis avaliadas. O adjuvante melhorou a eficácia de controle de plantas daninhas em várias situações, alterou as propriedades da calda e proporcionou menor deriva. A correlação entre as análises visuais e por imagem aérea foram positivas, e demonstraram potencial como alternativa para a avaliação da eficácia e controle de plantas daninhas.

Palavras-chave: Adjuvante, agricultura de precisão, glifosato, pulverização, taxa de aplicação.

¹ Comitê Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU (Orientador).

ABSTRACT

CAMPOS, SAULO FELIPE BROCKES. **Electrostatic application technology in the chemical control of weeds evaluated visually and by aerial imaging**. 2019. 60 p. Dissertation (Master in Agronomy / Phytotechnology) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG.²

Among the processes of the application technology that need optimization, emphasizes the application of glyphosate herbicide for weed control. In this sense, in order to reduce losses to the environment by drift and provide greater contact with the drops with their targets, with larger deposits of phytosanitary products and lower rates of application, developed the system of electrostatic spray. However, some factors influence their performance as the physico-chemical characteristics of the syrup, altered mainly by adjuvants, the droplet size, the system of electrification of drops and the mass/ charge ratio. Another ally in the management of weeds is the precision agriculture, which allows monitoring of crops, identification of pests, disease and weeds, and can be used for evaluation of efficacy of herbicides with software for processing images captured with aircraft carriers, remotely control valves piloted (ARP). Considering the above the objective of this work was to evaluate visually and by image carrier the effectiveness of weed control with herbicide using the electrostatic spray system, with addition of adjuvant in two application rates (50 and 90 L ha⁻¹), compared to the rate of 150 L ha⁻¹. The experimental design was randomized blocks with ten treatments and four replications. In duplicate, with two areas and different times, totaling 40 plots per experiment, in a 2 x 2 x 2 + 2, being the absence and presence of electrostatic spray, presence and absence of adjuvant and two application rates (50 and 90 L ha⁻¹), in addition to the conventional additional control and enforcement (150 L ha⁻¹). We used the herbicide glyphosate, at a dose of 2 L ha⁻¹, and the adjuvant soy lecithin + propionic acid, at a concentration of 0,5 L 100 L⁻¹. We evaluated the physicochemical properties of the syrup, load / mass relations, droplet spectrum, spray deposition on the weeds, losses to the soil, effectiveness of control and drift. Along the syrup of application was added also the Brilliant Blue dye tracer for the study of the deposition on the weeds and losses to the soil the method of spectrophotometric. The drift was evaluated by the method of fluorimetry, with the tracer Rodamina B®. The visual analysis of the effectiveness of weed control were performed through the scale of notes, developed by the Latin American Weed Association - ALAM. Next to the visual evaluation were performed flights with ARP to capture images and later the same were processed with the Software ImageJ and SisCob. The electrostatic spray not influence in any of the evaluated variables. The adjuvant improved the effectiveness of weed control in several situations, altered the properties of the syrup and provided lower drift. The correlation between the visual analyzes and by image carrier were positive and demonstrated potential as an alternative for the evaluation on the effectiveness and weed control.

Keywords: Adjuvant, precision agriculture, glyphosate, spraying, application rate.

² Guidance Committee: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU (Major Professor) – UFU.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura tem como objetivo principal a produção de alimentos e matéria prima. Essa busca acentuou-se principalmente devido ao crescimento da população mundial e à necessidade de produções mais sustentáveis. Atualmente habitada por 7,6 bilhões de habitantes, a Terra abrigará 8,6 bilhões em 2030, 9,8 bilhões em 2050 e 11,2 bilhões em 2100, segundo estimativas do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (2017). Diante disso, a agricultura foi modernizada a fim de otimizar as produções agrícolas. No entanto, houve com isso consequências como a contaminação ambiental e danos à integridade dos ecossistemas, devido aos erros nas aplicações de produtos fitossanitários, causadas principalmente por aplicações inadequadas sem acompanhamento de um profissional agrícola responsável.

Apesar dos avanços na área agrícola, a agricultura sempre é caracterizada pela grande presença de pragas, doenças e plantas daninhas nas lavouras, que prejudicam o potencial produtivo das culturas e a qualidade dos produtos. Frente a isso, o manejo fitossanitário é de grande importância, pois mantém a sanidade das lavouras e favorece o desenvolvimento adequado das plantas.

A aplicação de produto fitossanitário visa o manejo econômico de insetos-praga, doenças e plantas daninhas, com distribuições corretas e uniformes das quantidades de produto. Dessa forma, reduzem-se as perdas de rentabilidade nas lavouras, além de menores danos ao ambiente e à saúde das pessoas (MINGUELA; CUNHA, 2010). No entanto, nos tratamentos fitossanitários, dá-se muita atenção aos produtos utilizados e suas características, mas a tecnologia para a sua aplicação é deixada muitas vezes para segundo plano (CUNHA, 2008).

Conceitua-se tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários como sendo um processo em que se coloca o produto químico em um alvo. Quanto maior a quantidade de calda com produto colocada na superfície, maior será a sua ação. Desta maneira, é possível valorizar em termos de eficiência a aplicação de um produto químico, sendo a relação da porcentagem entre a quantidade de produto que efetivamente atinge o alvo e a quantidade de produto liberada pela máquina (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Como forma de garantir melhores resultados quanto à eficiência na aplicação, vários pesquisadores estudam novas alternativas que aumentem a deposição dos produtos nos alvos e conseqüentemente reduzam a contaminação ambiental e outras perdas. Sabe-se que apenas parte do produto aplicado é depositada de fato no alvo, exemplo disso é que grande parte do produto aplicado não atinge a superfície abaxial das folhas. Desta forma, a

eficácia na aplicação do produto fitossanitário dependerá da sua redistribuição posterior à aplicação, podendo ser através da superfície da planta, dentro dela ou através da movimentação da praga, fazendo com que a mesma entre em contato com o produto (CHAIM, 2006).

A deposição e perdas de produtos são influenciadas pelas características de trabalho dos pulverizadores, pela velocidade do vento, evaporação, altura da cultura e condições meteorológicas, arquitetura da planta, características morfológicas (pilosidade, cerosidade), estágio de desenvolvimento e taxa de aplicação. Para aumentar a deposição e diminuir as perdas, alternativas como alterações na taxa de aplicação, tipos de pontas, uso de adjuvantes e tecnologia de pulverização com carga eletrostática têm sido utilizados (SOUZA, 2002).

Para avaliação do depósito de calda de pulverização, há diversas opções de metodologias, através da utilização de alvos artificiais (tiras de papel, lâminas de vidro), colocados próximos as alvos reais (folhas, caules, solo, etc.), papéis sensíveis, que mostram as gotas apenas em função da sensibilidade à umidade, utilização de corantes especiais, como fluorescentes (sensíveis sob luz ultravioleta) e uso da condutividade elétrica para determinação de concentrações de produtos fitossanitários, técnica esta que permite a utilização de alvos reais (TOMAZELA, 1997).

Dentre os processos que necessitam de otimização, destaca-se a aplicação de herbicidas. O controle de plantas daninhas consiste na adoção de certas práticas que resultam na redução da infestação até o desenvolvimento e crescimento da cultura principal, sem que haja por parte das plantas daninhas uma competição. As plantas daninhas que atuam de forma negativa competem com a cultura por espaço, nutrientes, água, luminosidade, entre outros, causando redução na produção (SOUZA, 2002).

Um dos herbicidas mais utilizados para o controle das plantas infestantes ou plantas daninhas é o glifosato, que, desde sua introdução no mercado, tem demonstrado alta efetividade e amplo espectro de ação em plantas daninhas, tanto em espécies anuais quanto em perenes. Uma vez absorvido, transloca-se rapidamente via simplasto às regiões de alta demanda por carboidratos em caules, raízes e outros órgãos subterrâneos, como bulbos, tubérculos, etc. Além disso, uma vez absorvido, o glifosato não é facilmente degradado naturalmente por um grande número de plantas. Isto tem sido de grande importância no controle de plantas daninhas mais resistentes, que apresentam enraizamento profundo ou que produzem propágulos vegetativos. Apesar do seu amplo espectro de ação existem algumas plantas daninhas que são bastante tolerantes ao herbicida, dentro destas se encontram espécies dos gêneros: *Commelina*, *Malva*, *Conyza*, dentre outros. A atividade e eficácia do glifosato, como de outros herbicidas pós-emergentes, podem ser modificadas

por um conjunto de fatores: condições ambientais, estágio de desenvolvimento de plantas daninhas, período livre de precipitações após as aplicações, adição de adjuvantes, qualidade da água, etc (KOGAN, 1997).

O glifosato é um excelente herbicida para o controle de plantas daninhas, quando aplicado em pós-emergência. Devido a sua grande eficácia e seu baixo preço, tornou-se um dos herbicidas mais utilizados. Encontra-se formulado como concentrado solúvel (CS), a 360 ou 480 g L⁻¹ e.a, solução aquosa concentrada (SAC) a 360 g L⁻¹ e.a., grânulos dispersíveis em água (GRDA) a 720 g L⁻¹ e.a., transorb, a 480 g L⁻¹ e.a, e também pode apresentar-se associado a outros herbicidas, como o diuron, o 2,4-D amina e a simazina (RODRIGUES; ALMEIDA, 1998).

Neste contexto, o herbicida glifosato representa um produto de grande preocupação mundial. Como outros ingredientes ativos, oferece riscos ao ambiente natural e à saúde humana, quando mal manejado. Entretanto, quando seguidas às recomendações técnicas para correta utilização desse herbicida, os riscos ambientais, sociais e econômicos são evitados ou minimizados.

Outro fator importante é quanto à taxa de aplicação empregada nas aplicações de produtos fitossanitários, que deve permitir bom molhamento do alvo e mínimas perdas por escorrimento de gotas para o solo (SILVA et al., 2014). Sobre isso, um fator relevante a ser considerado é quanto à possibilidade da redução das taxas aplicadas, de acordo com as condições de campo (GARCERÁ et al., 2011). Essas reduções podem ser alternativas para aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores, reduzir custos nas aplicações (SOUZA et al., 2011) e diminuir perdas para o ambiente (BUENO et al., 2014). No entanto, essa redução de taxa requer otimização da tecnologia de aplicação, a fim de manter a eficiência das aplicações (SOUZA et al., 2012).

Devido ao emprego inadequado das tecnologias de aplicação, sérios problemas de contaminação ambiental e humana podem ocorrer, prejudicando também a economia e a eficácia do tratamento. Isso se dá principalmente através da deriva da calda de pulverização para outras áreas distantes dos alvos, além do escorrimento superficial e lixiviação, contaminação dos cursos d'água e lençol freático e da evaporação para o ambiente. Quanto a isso, fatores como as condições meteorológicas e os aspectos intrínsecos da tecnologia de aplicação são de extrema importância, especialmente no que diz respeito à penetração da calda no dossel da cultura e à redução da deriva (MINGUELA; CUNHA, 2010; ANTUNIASSI; BOLLER, 2011).

Na agricultura moderna, a deriva é uma das maiores preocupações no uso de produtos químicos, já que nas aplicações os desperdícios pela ação do vento podem ser maiores que 70% (CHAIM et al., 1999; CHAIM et al., 2000; ALVES, 2014). Alguns

autores afirmam que 80% do que se aplica nas culturas anuais pode ser perdido para áreas vizinhas, contaminando rios, lençóis freáticos, solo e atmosfera (MASKI; DURAIRAJ, 2010).

O dano por deriva de herbicidas também é reconhecido como um problema em muitas áreas (HEMPHILL JÚNIOR; MONTGOMERY, 1981). A sua detecção tem grande importância, pois, enquanto as perdas ocasionadas por esse fator não forem facilmente identificadas, produtores em áreas adjacentes podem ter substanciais reduções na produção, sem identificar a verdadeira causa (SCHROEDER et al., 1983), além do problema da contaminação ambiental.

A fim de reduzir perdas para o meio ambiente e proporcionar maior contato das gotas com seus alvos, com melhores depósitos dos produtos fitossanitários e menores taxas de aplicação, desenvolveu-se o sistema de pulverização eletrostático. As pesquisas sobre estes sistemas iniciaram-se na década de 70, com o desenvolvimento de um protótipo de bico pneumático eletrostático, por Law (1978) na Universidade de Georgia. Na década seguinte, as pesquisas sobre o uso de gotas com cargas eletrostáticas tiveram crescimento, principalmente depois de Coffee (1981) desenvolver o pulverizador Electrodyn, proporcionando uma indução elétrica. Essa técnica quando utilizada de forma correta consegue controlar o movimento dessas gotas, reduzindo a deriva, inclusive contra a gravidade, favorecendo uma maior deposição na superfície abaxial das folhas durante as pulverizações. No Brasil, por sua vez, Chaim (1984) também desenvolveu um protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico.

A pulverização eletrostática é um sistema que carrega eletricamente as gotas geradas nos bicos de pulverização, fazendo com que migrem para as folhas das plantas, que as atraem por diferença de cargas. Para saber a relação existente entre gotas eletrificadas e seus alvos, é necessário entender duas leis básicas da eletrostática: 1. Cargas de polaridades opostas se atraem e cargas de polaridades iguais se repelem e, 2. A carga de um corpo ou nuvem de partículas eletrificadas induzirá uma carga elétrica igual e oposta em outro corpo condutor aterrado próximo. Portanto, uma nuvem de gotas carregadas eletricamente, ao se aproximar de um objeto neutro e aterrado – no caso, a planta - provoca um desequilíbrio entre prótons e elétrons e induz na sua superfície uma carga de sinal contrário e então, é atraída e fixada pela planta. Assim, a taxa de perda é reduzida consideravelmente e, portanto, a cobertura do alvo aumenta (CHAIM, 2006).

A pulverização eletrostática já vem sendo utilizado há muitos anos na indústria, principalmente relacionado a pintura de automóveis, por exemplo, e atualmente em impressoras à jato de tinta, entretanto sua utilização na agricultura não progrediu principalmente por falta de equipamentos portáteis de alta voltagem.

O uso de pulverizadores não condutores limitaram o uso viável dessa tecnologia na agricultura anteriormente, mas é uma realidade, sendo utilizado por alguns agricultores. (CHAIM, 2006).

Sobre isso, Chaim, em 2004 afirma que a produção de gotas pequenas favorece a indução de forças elétricas em grandeza suficiente para controlar o movimento das mesmas, inclusive contra a força da gravidade, para evitar que elas se percam para o ambiente, e proporcionar até mesmo capacidade às gotas de se depositarem na face inferior das folhas.

Por isso, a tecnologia de aplicação com pulverizadores eletrostáticos vem sendo estudada por alguns pesquisadores (KIRK et al., 2001; CHAIM, 2002; KANG et al., 2004; LARYEA; NO, 2005; DERKSEN et al., 2007; MAGNO JÚNIOR et al., 2011; XIONGKUI et al.; 2011; SASAKI et al., 2013a; SASAKI et al., 2013b; MAGNO JÚNIOR et al., 2014) no entanto, diversas dúvidas ainda cercam esta tecnologia principalmente em relação à forma de funcionamento. Apesar da pulverização eletrostática ser um sistema disponível comercialmente, ainda é pouco utilizada principalmente devido às dúvidas a respeito da eficiência desse sistema, o que faz necessário o estudo dessa tecnologia e suas interações com a planta (SASAKI et al., 2013a).

Desse modo, Zheng et al. (2002), afirmou que alguns fatores influenciam o desempenho dos sistemas de pulverização eletrostática, como as características da calda utilizada, o tamanho das gotas geradas, o sistema de eletrificação de gotas e a relação carga/massa. Estes autores também afirmaram que a pulverização eletrostática favorece a distribuição e deposição das gotas no dossel das plantas, reduz a contaminação ambiental, devido a utilização de menores taxas de aplicação, e melhora a eficácia de controle dos tratamentos em comparação com tecnologias convencionais. Mas, por outro lado, também há estudos com pulverização eletrostática que não verificaram melhorias em aplicação de produtos fitossanitários (BAYER et al., 2011; MAGNO JÚNIOR et al., 2011).

Outras tecnologias também têm sido pesquisadas e incorporadas à pulverização visando auxiliar na aplicação correta, dentre elas, tem se ressaltado o uso de adjuvantes agrícolas. Eles são compostos adicionados às formulações ou à calda de pulverização, que podem trazer benefícios como aumento no molhamento, na aderência, na facilidade de mistura e no espalhamento (YU et al., 2009; CUNHA; PERES, 2010).

A eficácia dos produtos fitossanitários está diretamente associada ao seu comportamento e reação na calda de aplicação. Dessa forma, a melhoria das técnicas de aplicações depende do conhecimento das características físico-químicas das caldas fitossanitárias. Estas características podem ser alteradas tanto pelo próprio produto fitossanitário quanto pelos adjuvantes adicionados. Segundo a Lei 7802, decreto N° 4074

de 4 de janeiro de 2002, adjuvante é um produto utilizando em mistura com produtos formulados para melhorar sua aplicação. Adjuvante de uso agrícola também pode ser entendido como 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 (KISSMAN, 1997).

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 tensão superficial da calda fitossanitária (MENDONÇA et al., 2007; CUNHA; ALVES, 2009; CUNHA et al., 2017). Contudo, a mistura em tanque de produtos fitossanitários e adjuvantes pode causar alterações indesejáveis na calda de aplicação e que precisam ser conhecidas para se evitar riscos à segurança no trabalho e ambientais, assim como prejuízos econômicos para os produtores.

Outro aliado no manejo das lavouras e conseqüentemente das plantas daninhas e seu controle é a Agricultura de Precisão (AP), que é um conjunto de técnicas que permite ser usada para monitoramento de lavouras, identificação de pragas, doenças e plantas daninhas, e também pode ser utilizada para avaliação de eficácia de herbicidas. Segundo Plant (2001), agricultura de precisão é compreendida pelo uso da tecnologia de informação em todo ciclo da produção agrícola, um processo em prol da agricultura sustentável. Assim, toda a ação auxiliada pela tecnologia atual tem o objetivo de aumentar a eficiência na utilização de insumos e recursos naturais (ZHANG et al., 2002), tornando a tomada de decisão mais precisa minimizando erros.

O conceito de gerenciamento localizado de culturas pode ser estendido para o monitoramento de outras operações que não são necessariamente aquelas de levantamento de mapas de fertilidade de solos, aplicações localizadas de fertilizantes ou monitoramento de operações de colheita (BALASTREIRE; BAIIO, 2001; BAIIO et al., 2001), mas também para mapeamento e controle de plantas daninhas com pulverizações localizadas através de equipamentos de mapeamento ou de sistemas de monitoramento em tempo real e assim, racionalizar o uso de produtos fitossanitários e também minimizar danos ao meio ambiente.

Com o advento das aeronaves remotamente pilotadas - (ARP), também conhecidas como drones, é possível tirar fotos em altas resoluções. Essas imagens do campo têm auxiliado no manejo de plantas daninhas, contudo, os softwares empregados para processamento precisam ser testados sob diferentes condições para o desenvolvimento das rotinas e validação dos resultados, vindo à tona o desafio de desenvolver programas computacionais ou rotinas computacionais para aquisição, tratamento e análise das

imagens aéreas captadas por máquinas fotográficas embarcadas, pois os aparelhos por si só não identificam plantas daninhas, pragas e doenças na lavoura.

Dessa forma, nota-se que há a necessidade de estudos para otimizar a aplicação do herbicida glifosato com e sem o uso de ferramentas como o adjuvante além de outras tecnologias de aplicações, como o sistema de pulverização eletrostática, o que permitirá uma melhor eficiência de aplicação, traduzida por redução de custos, lavouras com menos problemas fitossanitários e ambiente preservado.

Conhecer a deriva causada pela pulverização de herbicida é de fundamental importância para se entender o comportamento da aplicação com e sem o sistema de pulverização eletrostático na presença e ausência de adjuvante adicionado a calda visando a redução de riscos em lavouras adjacentes, problemas ambientais, sociais e econômicos.

O uso de softwares de análise de imagens é uma ferramenta tradicional na AP, sendo utilizada para diversas finalidades, inclusive para avaliações de eficácia de controle de plantas daninhas com herbicida como será explorado no presente trabalho.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o sistema de pulverização eletrostática no controle químico de plantas daninhas, analisado visualmente e por de imagem aérea, via ARP, em função do uso de adjuvante e diferentes taxas de aplicação.

2.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a deposição de calda nas plantas daninhas, as perdas para o solo e a deriva proporcionada pela tecnologia de aplicação eletrostática somada ao uso de adjuvante à calda.

- Avaliar a eficácia de controle de plantas daninhas com herbicida utilizando a tecnologia de aplicação eletrostática com diferentes taxas de aplicação e uso de adjuvante e caracterizar as propriedades físico-químicas das caldas aplicadas, além da relação carga/massa.

- Correlacionar às metodologias de análise visual e por imagem aérea da eficácia de controle de plantas daninhas utilizando diferentes softwares de processamento de imagens.

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 8, p. 622-629, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800006>
- ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. 279 p.
- BAIO, F.H.R. Avaliação da acuraria de uma barra de luz utilizada na Agricultura de Precisão, em relação ao marcador de espuma. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 357-360, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000200031>
- BALASTREIRE, L.A.; BAIO, F.H.R. Avaliação de uma metodologia pratica para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 349-352, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000200029>
- BAYER, T.; COSTA, I. F. D.; LENZ, G.; ZEMOLIN, C.; MARQUES, L. N.; STEFANELO, M. S. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 192-198, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000200007>
- BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; NAVES, M. G.; TAVARES, R. M. Deposição de calda e controle de plantas daninhas empregando pulverizador de barra convencional e com barra auxiliar, em volumes de calda reduzidos. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 447-454, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000200023>
- 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. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1984.
- CHAIM, A. Pulverização eletrostática. In: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. [ed.]. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 2004. p. 85-92.
- CHAIM, A. **Pulverização eletrostática**: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 17 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, n. 57). <https://doi.org/10.5380/pes.v17i0.3181>
- CHAIM, A.; CASTRO, V. L. S. S.; CORRALES, F.; GALVÃO, J. A. H.; CABRAL, O. M. R. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura do tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 5, p. 741-747, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000500003>
- CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L. Eficiência de deposição de agrotóxicos, obtida com bocal eletrostático para pulverizador motorizado costal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p. 497-501, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400011>

CHAIM, A.; VALARINI, P. J.; PIO, L. C. Avaliação de perdas na pulverização de agrotóxicos na cultura do feijão. **Pesticidas**: revista de ecotoxicologia e meio ambiente, Curitiba, v. 10, p. 65-74, 2000. <https://doi.org/10.5380/pes.v10i0.39659>

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Pulverização ou Aplicação?** São Paulo: Teejet South América, 1999. p. 2-5, (Boletim Técnico BT01/99).

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

CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500039>

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

CUNHA, J. P. A. R.; PERES, T. C. M. Influências de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, n.4, p.597-602, 2010. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.2502>

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**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 261-270, abr./jun. 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170030>

DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; KRAUSE, C. R. Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchards applications. **Transaction of the ASABE**, St. Joseph, v.50, n. 5, p. 1493-1501, 2007. <https://doi.org/10.13031/2013.23941>

GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E.; CHUECA, P. Effect of spray volume of two organophosphate pesticides on coverage and on mortality of California red scale *Aonidiellaaurantii* (Maskell). **Crop Protection**, London, v. 30, n. 6, p. 693-697, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.02.019>

HEMPHILL Jr., D. D.; MONTGOMERY, M. L. Response of vegetable crops to sublethal application of 2,4-D. **Weed Science**, Champaign, v. 29, p. 632-635, 1981. <https://doi.org/10.1017/S0043174500040182>

KANG, T. G.; LEE, C. S.; KIM, S. H.; LEE, G. I.; CHOI, W. K.; NO, S. Y. Spray and depositional characteristics of electrostatic nozzles for orchard sprayers. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 5, p. 21-28, 2004.

KIRK, I.W.; HOFFMANN, W. C.; CARLTON, J. B. Aerial electrostatic spray system performance. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, p. 1089-1092, 2001. <https://doi.org/10.13031/2013.6431>

KISSMANN, K. G. **Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997,

Caxambu. **Palestras e mesas redondas [...]** Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997. P. 61-77.

KOGAN, M. Efecto de la calidad del agua en la actividad del glyphosate, com especial enfasis en la concentracion de cationes y pH de la solucion. *In: CONGRESO LATINO AMERICANO DE MALEZAS*, 13. 1997, Buenos Aires. **Resumos [...]** Buenos Aires: Asociación Latino americana de Malezas, Asociación Argentina de Protección Vegetal, 1997. p. 273.

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. <https://doi.org/10.1615/AtomizSpr.v15.i2.20>

LAW, S. E. Embedded-electrode electrostatic-induction spray nozzle: theoretical and engineering design. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 21, p. 1096-1104, 1978. <https://doi.org/10.13031/2013.35448>

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; RODRIGUES, D. E.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrostático para pulverizador pneumático costal. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p. 9- 16, 2014. <https://doi.org/10.13083/1414-3984.v22n01a01>

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, L. B.; FERREIRA, L. R.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para atração de gotas da aplicação eletrostática em plantas cítricas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 798 804, 2011.

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**, London, v. 29, n. 2, p. 134-141, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.10.006>

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

MINGUELA, V. J.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. 1. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2010. 588 p.

PLANT, R. E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 30, p. 9-29, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00152-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00152-6)

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 4. ed. Londrina: IAPAR, 1998. 648 p.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. M. 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, 2013a. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000900011>

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. M. B.; RODRIGUES, D. E.; ALVARENGA, C. B. Parameters of electrostatic spraying and its influence on the application efficiency. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, n. 4, p. 474-479, 2013b. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000400005>

SCHROEDER, G. L.; COLE, D. F.; DEXTER, A. G. Sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) response to simulated herbicide spray drift. **Weed Science**, Champaign, v. 31, p. 831-836, 1983. <https://doi.org/10.1017/S004317450007082X>

SILVA, J. E. R.; CUNHA, J. P. A. R.; NOMELINI, Q. S. S. Deposição de calda em folhas de cafeeiro e perdas para o solo com diferentes taxas de aplicação e pontas de pulverização. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1302-1306, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1302-1306>

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Deposição do herbicida 2,4-D Amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas daninhas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 78-85, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100010>

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Eficácia e perda do herbicida 2,4-D amina aplicado com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 1149-1156, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000500023>

SOUZA, R. T. **Efeito da eletrização de gotas sobre a variabilidade dos depósitos de pulverização e eficácia do glyphosate no controle de plantas daninhas da cultura da soja**. 2002. 75 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

TOMAZELA, M. S. **Avaliação da deposição da calda de pulverização em função da densidade populacional de *Brachiaria plantaginea* (Link) Wicth, volume e ângulo de aplicação**. 1997. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura), - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

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.

YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and sprays additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n.1, p. 39-49, 2009. <https://doi.org/10.13031/2013.25939>

ZHANG, N., WANG, M., WANG, N. Precision agriculture-a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**. Amsterdam, v. 36, p. 113-132, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)

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, **Proceedence** [...] St. Joseph.: ASAE, 2002. (Paper n° 021034).

CAPÍTULO I

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA NO CONTROLE QUÍMICO DE PLANTAS DANINHAS

RESUMO

O uso da pulverização eletrostática tem potencial para otimizar a aplicação de produtos fitossanitários, contudo há a necessidade de mais estudos que verifiquem sua eficiência principalmente atrelada ao emprego de diferentes taxas de aplicação e adjuvantes com o uso do glifosato. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o sistema de aplicação eletrostática no controle químico de plantas daninhas com glifosato e uso de adjuvante em diferentes taxas de aplicação (50 e 90 L ha⁻¹), comparadas à taxa tradicionalmente utilizada de 150 L ha⁻¹. Foram avaliadas as propriedades físico-químicas das caldas, relações carga/massa, espectro de gotas, deposição de calda nas plantas daninhas, perdas para o solo, eficácia de controle das plantas daninhas e deriva. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com dez tratamentos e quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 2 x 2 + 2, sendo ausência e presença de pulverização eletrostática, com e sem adjuvante e duas taxas de aplicações (50 e 90 L ha⁻¹), além dos adicionais controle e aplicação convencional (150 L ha⁻¹), totalizando 40 parcelas por experimento. O estudo foi realizado em duplicata, em duas áreas e épocas distintas. Utilizou-se o herbicida glifosato, na dose de 2 L ha⁻¹, e o adjuvante a base de lecitina de soja+ácido propiônico, na concentração de 0,5 L 100 L⁻¹. Juntamente à calda de aplicação foi adicionado também o traçador Azul Brilhante, para o estudo de deposição da calda nas plantas daninhas e perdas para o solo, pelo método da espectrofotometria. A deriva foi avaliada, em experimento separado, pelo método de fluorimetria, com o traçador Rodamina B. As análises visuais da eficácia de controle das plantas daninhas foram realizadas mediante uma escala de notas. A pulverização eletrostática não influenciou em nenhuma das variáveis avaliadas. O adjuvante melhorou a eficácia de controle de plantas daninhas em várias situações alterou as propriedades da calda e proporcionou menor deriva.

Palavras-chave: adjuvante, deriva, glifosato, propriedades físico-químicas, taxa de aplicação.

¹ Comitê Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU (Orientador).

ABSTRACT

The use of electrostatic spray has the potential to optimize the application of phytosanitary products, however, there is a need for more studies to verify its effectiveness mainly linked to the employment of different rates of application and adjuvants with the use of glyphosate. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the electrostatic application in the chemical control of weeds with glyphosate and use of adjuvant, in different application rates (50 and 90 L ha⁻¹) compared to the rate traditionally used for 150 L ha⁻¹. We evaluated the physicochemical properties of the grout, load / mass relations, droplet spectrum, spray deposition on the weeds, losses to the soil, effectiveness of weed control and drift. The experimental design was randomized blocks, with ten treatments and four replications, in a factorial 2 x 2 x 2 + 2, being the absence and presence of electrostatic spray, with and without adjuvant and two rates of application (50 and 90 L ha⁻¹), in addition to the conventional additional control and application (150 L ha⁻¹), totaling 40 plots per experiment. The study was performed in duplicate, in two areas and different times. We used the herbicide glyphosate, at the dose of 2 L ha⁻¹, and the adjuvant on the basis of soy lecithin + propionic acid adjuvant, at the concentration of 0,5 L 100 L⁻¹. Along the syrup of application was added also the Brilliant Blue dye tracer for the study of the deposition on the weeds and losses to the soil the method of spectrophotometric. The drift was evaluated in separate experiments by the method of fluorimetry with the tracer Rhodamine B. The visual analysis of the effectiveness of weed control were carried out on a scale of notes. The electrostatic spray not influenced in any of the evaluated variables. The adjuvant improved the effectiveness of weed control in various situations altered the properties of the syrup and provided lower drift.

Keywords: Adjuvant, drift, glyphosate, physicochemical properties, rate of application

1 INTRODUÇÃO

Um dos herbicidas mais utilizados para o controle das plantas daninhas nos cultivos agrícolas é o glifosato, que, desde sua introdução no mercado, tem demonstrado alta efetividade e amplo espectro de ação tanto em espécies anuais quanto em perenes. No ano de 2014, segundo o IBGE, o consumo de glifosato no Brasil foi de 193.947,9 toneladas de ingrediente ativo. A atividade e a eficácia do glifosato, como de outros herbicidas pós-emergentes, podem ser modificadas por um conjunto de fatores, como condições ambientais, estágio de desenvolvimento das plantas daninhas, período livre de precipitações logo após as aplicações, adição de adjuvantes, qualidade da água, reações químicas ou físicas (KOGAN, 1997).

Neste contexto, o herbicida glifosato representa um produto de grande preocupação mundial, se utilizado de maneira incorreta sem acompanhamento de um profissional agrícola. Como outros ingredientes ativos, os produtos fitossanitários também podem oferecer riscos ao ambiente e à saúde humana quando mal manejado. Entretanto, quando seguidas às recomendações técnicas para correta utilização desse herbicida, os riscos ambientais, sociais e econômicos são evitados ou minimizados otimizando a atividade.

Um grande problema decorrente das aplicações de herbicidas é o risco de deriva para áreas vizinhas e, com isso, faz-se necessário o uso de ferramentas na tecnologia de aplicação, tanto em relação aos pulverizadores, quanto em relação à composição da calda. Há relatos sobre pulverizações agrícolas ineficientes com excesso ou falta de ingrediente ativo. Para o sucesso nessas aplicações, é fundamental que ocorra o depósito das gotas pulverizadas nos alvos sendo necessário conhecer bem o equipamento de pulverização (ALVES; CUNHA, 2014; TAVARES et al., 2014; SASAKI et al., 2015).

A fim de aumentar a eficácia dos tratamentos fitossanitários e reduzir custos e impactos ambientais, algumas tecnologias de aplicação têm sido desenvolvidas como a tecnologia de aplicação eletrostática. Esta técnica ainda é pouco utilizada pelos agricultores para controle de plantas daninhas, pois faltam pesquisas para mostrar seu real efeito na aplicação. Pode ser utilizada em qualquer aplicação de líquido, sendo que as propriedades físico-químicas das caldas podem interferir na sua eficácia.

Sobre a pulverização com sistema eletrostático, Law (1987) explica que a força elétrica foi incorporada com sucesso nas aplicações de produtos fitossanitários basicamente melhorando o processo de deposição de gotas. Law (2001) afirmou também que os benefícios da força eletrostática são devidos à correta deposição de produtos em determinados locais das plantas, onde os sistemas convencionais, usando a gravidade e a inércia das gotas não são eficientes.

Essa tecnologia consiste no carregamento das gotas com cargas positivas ou negativas, com formação de um campo elétrico que evita o desvio da gota de sua trajetória até o alvo e provoca atração entre ambos. Para isso, é necessário causar desequilíbrio nas cargas elétricas da gota com fornecimento ou extração de elétrons. Dessa forma, cargas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinais opostos se atraem, além de que a carga de um corpo eletrificado induz uma carga igual e oposta em algum outro corpo condutor aterrado. Então, a nuvem de gotas eletrificada ao se aproximar da planta, um objeto neutro e aterrado provoca desequilíbrio entre prótons e elétrons, induz uma carga de sinal contrário na superfície do alvo e, promove assim, atração entre as cargas (CHAIM,2006).

Como vantagens, a pulverização eletrostática pode aumentar a eficácia dos tratamentos fitossanitários principalmente por favorecer a deposição dos ingredientes ativos sobre os alvos, além de possibilitar redução da taxa de aplicação e de perdas de calda (MAYNAGH et al., 2009; SASAKI et al., 2015). Porém, há estudos com pulverização eletrostática que não constataram melhorias nas aplicações de agrotóxicos, como os realizados por Bayer et al. (2011) e Magno Júnior et al. (2011). Sobre o processo utilizado para eletrificar as gotas, Chaim et al. (2002) afirmam que o aumento na tensão de indução eleva a intensidade de carga das gotas até determinado limite, a partir do qual a tensão pode também prejudicar a eletrificação.

Atualmente, existe uma tendência em reduzir as taxas de aplicação empregadas pelos agricultores nas pulverizações agrícolas visando aumentar a capacidade operacional das máquinas. Neste contexto, a pulverização eletrostática pode auxiliar na melhora da deposição de calda nos alvos, mesmo com os baixos volumes empregados. O emprego de adjuvantes também pode ajudar neste processo, já que tem potencial para alterar as propriedades físico-químicas das caldas condicionando uma melhor aplicação.

Dessa forma, nota-se que há a necessidade de mais estudos para otimizar a aplicação do herbicida glifosato utilizando o sistema de pulverização eletrostático com distintas taxas de aplicação. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o uso da tecnologia de aplicação eletrostática na deposição, deriva e controle químico de plantas daninhas com glifosato em função do emprego de adjuvante e diferentes taxas de aplicação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

Os experimentos foram realizados na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, localizada no Município de Uberlândia, MG. 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 segundo Koppen, clima do tipo Aw (Tropical úmido com inverno seco).

A parte laboratorial foi conduzida no Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC) do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), ambos na Universidade Federal de Uberlândia, campus Umuarama, em Uberlândia, MG.

2.2 Tratamentos

O experimento foi conduzido em duplicata em épocas e áreas distintas (Março e Abril no ensaio 1, Junho e Julho no ensaio 2, ambos em 2018), com delineamento em blocos ao acaso com dez tratamentos e quatro repetições em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2 + 2$, sendo ausência e presença de pulverização eletrostática, ausência e presença de adjuvante e duas taxas de aplicação (90 e 50 L ha⁻¹), além dos adicionais testemunha sem aplicação e aplicação convencional (150 L ha⁻¹) totalizando 40 parcelas. Cada uma delas apresentou uma área de 35 m² (7 x 5 m) sendo a bordadura de 1 m de cada lado. A área aplicada estava em pousio há quatro meses sendo a soja a cultura anterior.

Nas aplicações foi utilizado o herbicida glifosato (Sal de Di-amônio N-(phosphonomethyl) glycine), na concentração de 445 g L⁻¹ de i.a. (370 g L⁻¹ equivalente ácido), formulação concentrado solúvel, na dose de 2 L ha⁻¹ de produto comercial (Roundup Original DI[®]) de acordo com o fabricante. Trata-se de um herbicida recomendado para o uso em dessecação, que deve ser aplicado nas plantas daninhas, já germinadas (pós-emergência). Como adjuvante foi usado o LI 700[®] (Lecitina de soja + ácido propiônico na concentração de 712 g L⁻¹), formulação concentrado emulsionável, na concentração de 5 mL L⁻¹, ou 0,5% em relação ao volume de calda.

Juntamente à calda de aplicação foi adicionado também um traçador composto do corante alimentício Azul Brilhante (catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1). O corante foi utilizado na dose de 300 g ha⁻¹ para ser detectado por absorvância em espectrofotometria no estudo de deposição e perdas para o solo.

Para aplicação dos tratamentos foi utilizado um pulverizador FM Copling, barra de 12 m com 24 bicos, acoplado ao sistema hidráulico de um trator modelo Ursus 4x2 2-85 de 85 cv (62,5 kW). Neste pulverizador foi instalado um sistema de pulverização eletrostática da marca SPE - Sistema de Pulverização Eletrostática (Porto Alegre, Brasil). O sistema produz um campo elétrico de alta voltagem (6950 V) na base do jato produzido por pontas de jato cônico vazio (Ponta SPE 1, com vazão de 0,265 L min⁻¹ a 300 kPa), carregando eletricamente as gotas. A carga é gerada devido ao campo elétrico produzido por anéis de indução conectados a um gerador de alta tensão. A pressão utilizada no trabalho foi de 2,5 bar (250 kPa), e a velocidade de deslocamento foi de 3,3 km h⁻¹ para a taxa de aplicação de 90 L ha⁻¹, e 6,0 km h⁻¹ para 50 L ha⁻¹. Para a aplicação convencional com taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹, a velocidade foi de 6,5 km h⁻¹ e a pressão de 3 bar (300 kPa), utilizando pontas de jato plano com indução de ar (Ponta AIXR 11002, com vazão de 0,790 L min⁻¹ a 300 kPa).

Antes da aplicação do herbicida foi realizada uma estimativa de cobertura do solo pelas plantas daninhas incidentes na área. As principais presentes nas parcelas durante a condução do experimento foram às seguintes: *Acanthospermum hispidum* DC. (Carrapicho de carneiro), *Ageratum conyzoides* L. (Mentrasto), *Amaranthus deflexus* (Caruru), *Commelina benghalensis* L. (Trapoeaba), *Raphanus raphanistrum* (Nabo ou nabiça), *Chamaesyce hirta* L. (Erva de Santa Luzia), *Alternanthera tenela* (Apaga-fogo), *Portulaca oleracea* (Beldroega), *Bidens pilosa* (Picão-preto), *Cyperus rotundus* (Tiririca) e *Cortaderia selloana* (Capim navalha).

As aplicações foram realizadas quando as plantas daninhas se encontravam em estado de pós-emergência tardia, com 40 a 60 cm de altura, nas duas áreas.

As condições ambientais no momento das aplicações foram monitoradas por meio de um termo-higro-anemômetro digital: temperatura do ar entre 26,5 e 29,0°C, umidade relativa entre 56,4% e 59,8% e velocidade do vento de até 4,5 km h⁻¹, no primeiro ensaio. No segundo, temperatura do ar entre 23,7 e 28,2°C, umidade relativa entre 51% e 63% e velocidade do vento de até 11,3 km h⁻¹, sendo evitada a aplicação na ausência total de vento.

2.3 Avaliações

2.3.1 Características físico-químicas das caldas

Foram avaliadas as características físico-químicas das caldas com glifosato, nas concentrações referentes às diferentes taxas de aplicação, e em combinação ao adjuvante:

tensão superficial, condutividade elétrica, pH, viscosidade dinâmica e densidade da calda conforme metodologia utilizada por Cunha e Alves (2009) e Cunha et al. (2017).

Para esta etapa, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com seis tratamentos (C1 = calda com glifosato na taxa de aplicação de 50 L ha⁻¹, C2 = calda com glifosato na taxa de 50 L ha⁻¹ + Adjuvante, C3 = calda com glifosato na taxa de 90 L ha⁻¹, C4 = calda com glifosato na taxa de 90 L ha⁻¹ + Adjuvante, C5 = calda com glifosato na taxa de 150 L ha⁻¹, C6 = água), todos com quatro repetições. As avaliações foram realizadas a partir de soluções preparadas em béqueres de 0,5 L, à temperatura de 25°C.

A densidade foi calculada por meio da determinação da massa de 0,1 L da solução depositada em um balão volumétrico em balança (Urano[®], UA-420) com resolução de 0,1 mg (CUNHA, ALVES, REIS, 2010). O pH e a condutividade elétrica foram medidos diretamente nas soluções, utilizando peagâmetro e condutivímetro portátil (Hanna[®], HI98139). O equipamento foi previamente calibrado por meio de soluções padrão e compensação automática de temperatura desativada.

A viscosidade dinâmica foi determinada empregando-se um viscosímetro rotativo microprocessado (Quimis[®], Q860M21) que permite medir eletronicamente a força de torção convertida em viscosidade. Esse 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 (indicado para a faixa de viscosidade avaliada) e rotação de 60 rpm.

A tensão superficial foi determinada por um tensiômetro de bancada com anel de platina (Kruss[®], K6), empregando o método Du Nouy (DOPIERALA; PROCHASKA, 2008). O teste consiste em medir a tensão sofrida pelo anel que fica na extremidade de uma haste flexível colocada sobre a superfície da amostra e pressionada contra esta até que sofra repulsão. O tensiômetro foi calibrado com água destilada.

2.3.2 Eletrificação das gotas

Para determinação da capacidade de eletrificação das gotas foi realizado um experimento em delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (semelhantes aqueles empregados na avaliação 2.3.1, exceto a Calda 5, onde não se aplicou a condição eletrostática) e quatro repetições, a fim de verificar a influência das caldas de pulverização no funcionamento do sistema de eletrificação de gotas, através da análise da relação carga/massa (Q/M).

Neste ensaio analisou-se o bico presente no equipamento eletrostático (SPE1) empregado no ensaio de campo. A pressão e a vazão de trabalho também foram as mesmas. A tensão regulada no sistema eletrostático 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 com as dimensões de 0,8 m de diâmetro e 0,6 m de comprimento, de modo que todo o jato de pulverização fosse captado pela gaiola ao longo dos tratamentos. Para a construção da gaiola (Figura 1), fez-se uma estrutura cilíndrica de aço galvanizado, envolto com tela metálica malha 6 (abertura de 3,033mm) e fio de 1,2 mm. A gaiola foi isolada por meio de uma haste de madeira de 1,7 m de comprimento, com 0,7 m da haste abaixo do nível do solo.

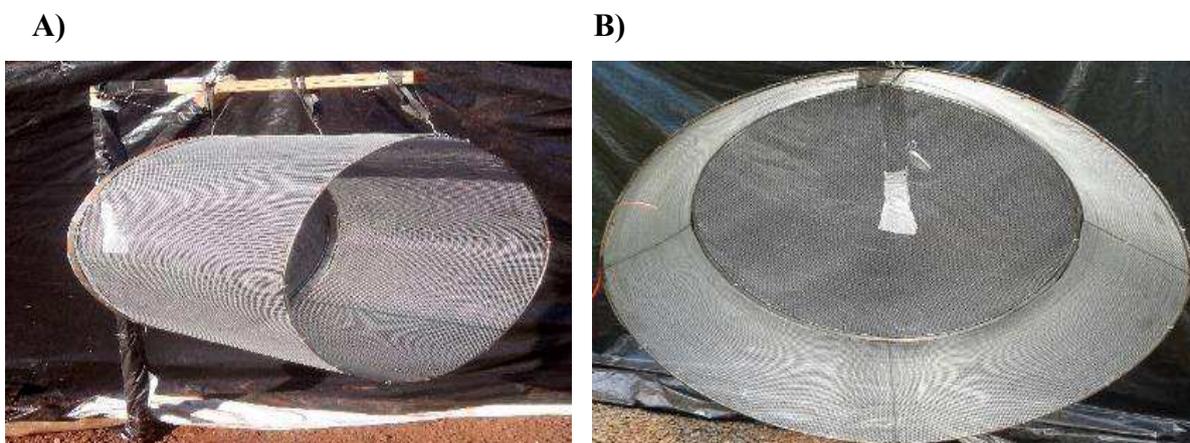


Figura 1. Vista lateral (A) e frontal (B) da Gaiola de Faraday.

Antes de todas as pulverizações, marcou-se o tempo de 15 segundos até se estabilizar o pulverizador e, em seguida, pulverizou-se durante 2 min no interior da gaiola. Determinou-se a densidade de cada calda utilizada através da relação entre a massa da calda e o volume amostrado. Dessa forma, a cada pulverização no interior da gaiola, determinou-se a massa de líquido pulverizada.

Para verificar a corrente elétrica presente nas gotas pulverizadas, conectou-se à gaiola um multímetro da marca Minipa[®], modelo ET-2517A, com escala de 0 a 600 μA e precisão de $\pm 0,2\%$ (Figura 2 A e B). O multímetro foi aterrado por uma barra de ferro enterrada a 1 m abaixo do nível do solo (Figura 2. C), semelhantemente à metodologia empregada por Maski e Durairaj (2010). As leituras no multímetro foram feitas no modo de corrente elétrica contínua.

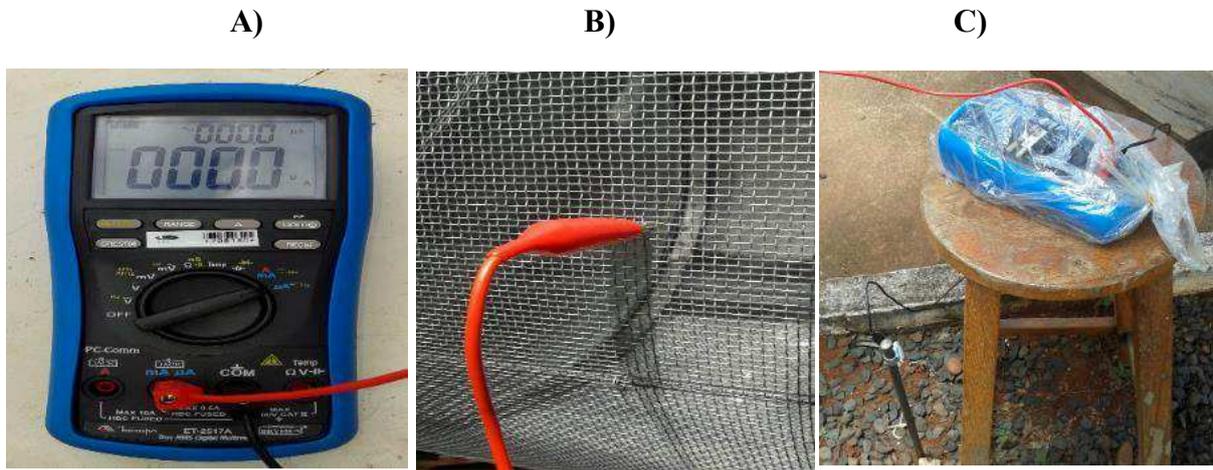


Figura 2. A) Multímetro utilizado para medir a corrente. B) Detalhe da conexão do multímetro com a gaiola de Faraday. C) Detalhe da barra de ferro utilizada para aterrar o multímetro.

Dessa forma, determinou-se a descarga de eletricidade contida no jato de gotas, 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^{-1}), conforme a seguinte equação:

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

Em que,

Q/M: relação carga/massa (mC kg^{-1});

i: corrente elétrica contida no jato de pulverização (mC s^{-1});

m: fluxo de líquido (kg s^{-1}).

As condições ambientais foram monitoradas durante a realização deste ensaio através de um termo-higro-anemômetro digital, marca Kestrel[®] e modelo 4000, com temperatura mínima de $26,9^{\circ}\text{C}$ e máxima de 30°C , umidade relativa do ar entre 65% e 66,4% e ventos com velocidades de até $4,9 \text{ km h}^{-1}$.

2.3.3 Espectro de gotas

Para a caracterização do espectro de gotas, antes da pulverização a campo foram colocados quatro papéis hidrossensíveis ($76 \times 26 \text{ mm}$) em cada parcela (com exceção da testemunha sem aplicação) dispostos na posição horizontal e voltados para cima, afixados em hastes de metal acima das plantas daninhas. Após a aplicação esses foram recolhidos e armazenados em envelopes de papel protegidos de umidade.

Para a quantificação e a caracterização dos impactos em cada papel nas parcelas, estes foram digitalizados por meio de um scanner HP Scanjet 2400 (resolução espacial de 600 dpi não interpolados, com cores em 24 bits) e analisados utilizando-se o programa computacional DropScope, específico para essa finalidade. Foram determinados o diâmetro da mediana volumétrica e a amplitude relativa com a seguinte equação:

$$AR = \frac{Dv0,9 - Dv0,1}{Dv0,5}$$

em que,

AR: amplitude relativa (adimensional);

Dv0,1: diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor;

Dv0,5: diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor, também conhecido como diâmetro mediano volumétrico - DMV;

Dv0,9: diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor);

2.3.4 Deposição de calda e perdas para o solo

Para avaliar o processo de aplicação do herbicida glifosato via pulverização eletrostática foi realizado o estudo de deposição da calda nas plantas daninhas e perdas para o solo. Este estudo foi realizado de forma indireta por meio da quantificação do traçador adicionado à calda. A determinação do volume de calda perdido para o solo foi realizada por meio da distribuição ao acaso de 4 placas de petri (37,24 cm²) junto ao solo por parcela.

Após a aplicação das caldas com herbicida + adjuvante + corante, foram retiradas plantas daninhas e placas de petri. As plantas foram coletadas tendo como referência um quadrado de metal medindo 0,25 x 0,25 m, lançado ao acaso duas vezes em cada parcela, para todos os tratamentos. Estas foram cortadas rente ao solo e acondicionadas em sacos plásticos.

Foram, então, levadas ao laboratório, onde foram lavadas adicionando-se 300 mL de água destilada às plantas e 10 ml às placas de petri. Os sacos foram fechados, agitados manualmente por 30 s e acondicionados em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso para não alterar as características físico-químicas das amostras.

Posteriormente, realizada a quantificação da coloração do traçador por absorvância em 630 nm, com o uso de espectrofotômetro (Biospectro[®], SP-220). De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se a massa de corante retida. Para o depósito nas plantas infetantes, procedeu-se, então, à divisão do depósito total pela massa seca da amostra de remoção, obtendo-se, assim, a quantidade em mg g⁻¹ de massa seca. As plantas foram secas em estufa a 65°C, por 72 h. Para a perda para o solo, procedeu-se à divisão do depósito total pela área de remoção das placas de petri, obtendo-se a quantidade em µg cm⁻².

2.3.5 Eficácia de controle de plantas daninhas

Para a análise da eficácia de controle das plantas daninhas foram realizadas cinco avaliações visuais de controle, aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação do herbicida, mediante a escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas por meio de herbicida, desenvolvida pela Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM,1974), com as respectivas notas de porcentagem de controle (Tabela 1).

Tabela 1. Escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas por herbicidas (ALAM, 1974).

Escala de Avaliação Visual de Controle de Plantas Daninhas						
Nota	1	2	3	4	5	6
Eficácia (%)	0-40	41-60	61-70	71-80	81-90	91-100
Denominação	Nenhum/Pobre	Regular	Suficiente	Bom	Muito Bom	Ótimo

2.3.6 Deriva

Com intuito de avaliar a deriva ocasionada pela aplicação de produtos fitossanitários com a tecnologia de aplicação eletrostática e com uso de adjuvante realizou-se um experimento complementar ao ensaio de campo em delineamento de blocos casualizados, no esquema fatorial 2 x 2, sendo, com e sem pulverização eletrostática e ausência e presença do adjuvante, todos com taxa de aplicação de 90 L ha⁻¹, presença do herbicida glifosato e 4 repetições. O equipamento utilizado e as demais condições de pulverização foram as mesmas detalhadas no item 2.2.

As avaliações de deriva foram realizadas em conformidade com a metodologia proposta pela Norma ISO 22866 (International Organization for Standardization, 2005), que preconiza que durante as aplicações a temperatura deve estar entre 5 e 35 °C, a velocidade mínima do vento deve ser de 1,0 m s⁻¹ e a direção do vento dentro do limite de

90° ± 30° em relação à linha de pulverização. A área pulverizada tinha 24 m de largura e 50 m de comprimento (1200 m²) e apresentava plantas daninhas de forma semelhante ao ensaio de eficácia.

Utilizou-se o marcador rodamina B na concentração de 200 mg L⁻¹, adicionado a calda para posterior quantificação por fluorimetria, seguindo metodologia apresentada por Alves et al. (2014). De acordo com Alves, Cunha e Palladini (2014), dentre os marcadores de baixo custo e disponibilidade no Brasil, a rodamina B foi a melhor opção, quando o papel filtro foi considerado o alvo da aplicação. Este marcador pouco influencia as características físico-químicas da calda e possui estabilidade à luz solar, tendo baixa degradação durante o período investigativo, desde que a exposição não seja superior a 60 minutos.

Nos lados da área pulverizada havia uma área de solo exposto, onde foram posicionados os coletores de deriva, sempre na direção principal de vento. Para este ensaio, os dados climáticos foram monitorados por meio da estação meteorológica móvel Davis Vantage PRO2™, instalada próximo à área das aplicações e conectada em tempo real a um console digital que fornecia os dados de temperatura, umidade do ar, velocidade e direção do vento no momento das aplicações.

Para deriva vertical, os coletores foram instalados antes das aplicações, e consistiram de “hastes” de PVC que suportavam fios de nylon de 2 mm de diâmetro e 2 m de comprimento vertical. Os coletores foram posicionados a 5, 10 e 15 m da área aplicada a partir do limite de cada parcela experimental na direção do deslocamento do vento. Foram colocados 3 coletores por distância. Eles foram instalados de forma que cada fio fosse posicionado imediatamente 30 cm acima do nível do solo e espaçado em 5 m entre eles na mesma linha de distância.

A deriva horizontal foi determinada de acordo com a norma ISO 22866 (International Organization for Standardization, 2005). Antes das aplicações, placas de polietileno com dimensões de 0,40 x 0,08 x 0,006 m com papel filtro foram colocadas ao nível do solo em uma área adjacente, fora da área-alvo, perpendicular à direção da aplicação do pulverizador e na direção predominante do vento (a favor do vento). Foram colocadas 3 placas por distância, espaçadas a 5 m, a uma distância de 5, 10 e 15 m do limite da área pulverizada, como podemos observar no croqui da área aplicada abaixo.



Figura 3. Croqui da área experimental para avaliação da deriva nas distâncias de 5, 10 e 15 m da área aplicada.

Após a aplicação das caldas, os fios de nylon suspensos pelos coletores e os papéis de deposição no solo de cada linha foram recolhidos, armazenados em sacos plásticos devidamente identificados e acondicionados separadamente em recipiente térmico até o laboratório onde foram mantidos em refrigeração (5°C) sob ausência de luz até o momento da leitura evitando assim degradação pela luz.

Para a extração do marcador depositado em cada amostra com os fios de nylon e os papéis primeiramente adicionaram-se 100 mL de solução aquosa, contendo 0,2% de Tween 80[®] (Polisorbato 80) e, em seguida, as amostras foram agitadas por 15 minutos a 120 rpm em uma Mesa Agitadora Pendular (Tecnal TE 240/1). Após 10 minutos de repouso, a solução foi repassada para copos plásticos para se efetuar a leitura da concentração do marcador ($\eta\text{g mL}^{-1}$) no Fluorímetro. Todas as etapas de extração também foram realizadas protegendo-se as amostras da luz para evitar a degradação da rodamina.

A partir da leitura do fluorímetro, da área de superfície do coletor (cm^2), da concentração real de marcador na calda de pulverização e da taxa de aplicação, a quantidade de depósito pulverizado por unidade de área foi calculada. Os dados de

luminescência extraídos dos papéis foram convertidos em porcentagem de deriva em cada distância relacionando o depósito à quantidade aplicada a campo (taxa de aplicação) (ISO, 2005).

2.4 Análises estatísticas

Todos os dados foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade de distribuição dos resíduos e homogeneidade de variâncias dos tratamentos.

Após atendidas as pressuposições, foi procedido o teste de F por meio da análise de variância e, quando significativo, a comparação múltipla das médias foi realizada pelo testes de Tukey a 0,05 de probabilidade. As comparações com os tratamentos adicionais foram realizadas pelo Teste de Dunnett, a 0,05 de probabilidade.

Utilizaram-se os softwares estatísticos SYSTAT (SYSTAT SOFTWARE, 2011), SPSS (SPSS, 2011) e SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2008)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físico-químicas das caldas estudadas e a relação carga/massa apresentaram diferenças para todas as variáveis analisadas (Tabela 2), sendo que todas elas foram afetadas pelo uso do adjuvante. Cunha e Alves (2009), ao avaliarem o efeito da adição de adjuvantes em diferentes doses nas propriedades físico-químicas de soluções aquosas, concluíram que o comportamento das características das caldas não é semelhante, mesmo para produtos com mesma indicação de uso. Além disso, o pH, a tensão superficial e a viscosidade foram as propriedades mais sensíveis à adição dos adjuvantes.

A eficácia dos produtos fitossanitários está diretamente associada à sua interação na calda de aplicação. Dessa forma, a melhoria das técnicas de aplicações depende do conhecimento das características físico-químicas das caldas fitossanitárias. Estas características podem ser alteradas tanto pelo próprio produto fitossanitário quanto pelos adjuvantes adicionados.

Tabela 2. Propriedades físico-químicas e relação carga/massa das caldas.

Tratamentos	pH	Densidade (g cm ⁻³)	Viscosidade (mPa s ⁻¹)	Tensão superficial (mN m ⁻¹)	Cond. elétrica (μS cm ⁻¹)	Carga/Massa (mC kg ⁻¹)
C1	6,58 c	0,995 d	1,00 bc	36,50 b	18525 a	13,83 b
C2	5,43 d	1,021 b	1,05 a	30,50 c	17034 b	12,91 c
C3	6,73 b	0,992 e	0,98 c	35,60 b	11242 c	15,33 a
C4	4,98 e	1,015 c	1,02 b	31,50 c	10151 d	10,66 d
C5	6,65 bc	0,993 e	0,96 d	35,60 b	7312 e	-
Água	6,85 a	1,024 a	0,99 c	71,63 a	16 f	0,00 e
C.V. (%)	0,85	0,09	1,03	1,19	0,01	0,93
Fc	905*	1104*	33*	4261*	8091421*	15468*

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p: 0,05); Fc: valor de F calculado; C.V.: coeficiente de variação. Valores seguidos de “*” são significativos a 5% de probabilidade. C1: Calda com glifosato na taxa de 50 L ha⁻¹, C2: Calda com glifosato na taxa de 50 L ha⁻¹+ Adjuvante, C3: Calda com glifosato na taxa de 90 L ha⁻¹, C4: Calda com glifosato na taxa de 90 L ha⁻¹ + Adjuvante, C5: Calda com glifosato na taxa de 150 L ha⁻¹.

As caldas estudadas apresentaram interferência no pH em relação a água, como pode ser observado na Tabela 2. A presença somente do glifosato nas caldas pouco afetou o pH, no entanto, com a adição do adjuvante houve uma redução maior. Esse resultado está ligado à presença do ácido propiônico em sua composição. 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. Herbicidas, como o glifosato, podem ser otimizados com a redução do pH da água a valores próximos a 4 (CUNHA et al., 2017).

Em relação à densidade e a viscosidade dinâmica a magnitude das alterações provocadas pelo herbicida e adjuvante em relação à água foram pequenas. O adjuvante promoveu ligeiro aumento nas duas características. O glifosato reduziu a densidade em relação à água.

Maski e Durairaj (2010), ao estudarem a influência da densidade, viscosidade dinâmica, condutividade elétrica e constante dielétrica de caldas de pulverização na eficiência da indução de carga elétrica em pulverização eletrostática, concluíram que caldas com maiores condutividades elétricas devido à adição de adjuvantes apresentaram também maiores cargas elétricas. Porém no presente estudo, com o uso do adjuvante, quando comparado com a calda sem adjuvante, houve redução das cargas elétricas nas gotas e da condutividade, como observa-se na relação carga/massa (Tabela 2).

Em relação à condutividade elétrica, houve aumento em todas as caldas em relação à água. Caldas sem a presença do adjuvante apresentaram condutividade superior àquelas com o produto. O aumento da concentração do glifosato na calda aumentou a condutividade.

A tensão superficial das caldas foi reduzida em todas as caldas em relação à água mostrando que a própria formulação do glifosato possui tensoativos. Essa redução foi intensificada com a presença do aditivo. É esperado que um adjuvante de uso agrícola com características surfactantes, diminua a tensão superficial das caldas com objetivos de melhorar o espalhamento das gotas, retenção e a adesividade da calda na superfície foliar e, conseqüentemente, a molhabilidade (CUNHA et al., 2017, CUNHA; ALVES, 2009) sendo valores menores indicativos deste efeito.

A tensão superficial e a viscosidade das caldas também podem interferir na pulverização eletrostática (ZHENG et al., 2002). Maski e Durairaj (2010) afirmam que a condutividade elétrica e a constante dielétrica são as duas principais propriedades elétricas que afetam a carga adquirida pelas gotas pulverizadas, fazendo com que, a adição de adjuvantes à calda possa aumentar ou reduzir a eficiência do sistema eletrostático na medida em que alteram as propriedades da calda.

A relação carga/massa, variável importante para compreender a capacidade do equipamento eletrostático em energizar a gotas foi muito influenciada pela adição do glifosato e do adjuvante. As maiores relações carga/massa foram encontradas em caldas com o glifosato. A adição do adjuvante não melhorou esse parâmetro. Possivelmente isso tenha ocorrido porque a própria formulação do herbicida já tem uma elevada capacidade de aumentar a condutividade elétrica que influencia essa relação.

Sasaki et al. (2015), em estudo para avaliar o efeito da adição de nove adjuvantes à calda de pulverização, quanto às propriedades físicas da calda, à eficiência de eletrificação

e ao espectro de gotas produzido na pulverização eletrostática, concluíram que ao alterar as propriedades da calda, pode também ocorrer alterações dos parâmetros técnicos da pulverização, assim como constatado no presente trabalho. Segundo estes autores, dependendo do adjuvante utilizado, na pulverização eletrostática pode melhorar a eficiência da tecnologia, pois pode aumentar a carga elétrica da gota e a força de atração entre o alvo e a gota.

Entretanto, segundo Hislop (1988) alguns equipamentos eletrostáticos não proporcionam resultados consistentes de controle, porque os projetos desenvolvidos não geram gotas com nível de carga suficiente para melhorar a deposição, ou o tamanho de gotas produzidas não é adequado para uso com carga eletrostática.

Na Tabela 3, pode-se observar a caracterização do diâmetro da mediana volumétrica e da amplitude relativa das gotas pulverizadas. Houve diferença no tratamento convencional com taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹, quando comparado aos outros tratamentos com taxa de aplicação de 50 e 90 L ha⁻¹. No tratamento convencional sem o uso da tecnologia de aplicação eletrostática e ausência de adjuvante adicionado à calda, utilizou-se a ponta de jato plano com indução de ar proporcionando gotas grossas (ponta AIXR11002), enquanto nos tratamentos com taxa de aplicação de 50 e 90 L ha⁻¹, com e sem a tecnologia de aplicação eletrostático na presença e ausência de adjuvante, utilizou-se a ponta de jato cônico vazio, com gotas finas, original do fabricante do sistema de pulverização eletrostático (ponta SPE 1).

Tabela 3. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e amplitude relativa (AR) das aplicações do herbicida glifosato, em diferentes taxas de aplicação, com adjuvante e sistema eletrostático.

Tx. de aplicação (L ha⁻¹)	Adjuvante	Sistema eletrostático	DMV (µm)	AR
50 ¹	Sem	com	262,56 b	0,94 b
50 ¹	Sem	sem	233,91 b	0,92 b
50 ¹	Com	com	262,07 b	0,96 b
50 ¹	Com	sem	241,91 b	0,94 b
90 ¹	Sem	com	251,98 b	0,95 b
90 ¹	Sem	sem	233,74 b	0,93 b
90 ¹	Com	com	241,91 b	0,97 b
90 ¹	Com	sem	282,22 b	0,95 b
150 ²	Sem	sem	735,79 a	1,21 a
CV (%)			14,47	8,32
Fc			52,68**	7,64**

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p: 0,05); Fc: valor de F calculado; C.V.: coeficiente de variação. Valores seguidos de “*” ou “**” são significativos a 5% ou a 1% de probabilidade. ¹ - Ponta SPE1; ² - Ponta com indução de ar AIXR11002.

Esse comportamento pode ser explicado devido a diferentes pontas de pulverização utilizadas. A ponta com indução de ar gera na câmara de turbulência uma mistura de ar e líquido, fazendo com que as gotas aumentem de tamanho, enquanto na ponta SPE1, isso não ocorre.

Em geral, gotas muito pequenas aumentam o risco de perdas principalmente por evaporação e deriva, enquanto gotas grandes podem escorrer sobre o alvo, não dando tempo para o produto penetrar e atingir seu objetivo. Cunha et al. (2003) avaliando estratégias para o controle de deriva, também afirmam que as pontas que produzem gotas grossas permitem redução da deriva, diminuindo o arrastamento de partículas e diminuindo significativamente o número de gotas fora da área-alvo. Contudo, essas gotas não são adequadas para sistemas eletrostáticos. Gotas pequenas e grandes possuem diferentes características para cada situação de pulverização. Gotas pequenas são recomendadas quando é necessária boa cobertura e boa penetração no dossel das plantas. As gotas medianas ou grandes são melhores para aplicação em condições de maior risco de deriva, mas pode ocorrer uma penetração e cobertura insatisfatórias (ANTUNIASSI; BAILO, 2004). Além disso, quanto mais uniforme for o tamanho das gotas produzidas pela pulverização, maior poderá ser o controle da aplicação por parte do aplicador (RUAS, 2007).

Os valores encontrados para deposição de calda nas plantas e perdas para o solo, nas duas aplicações encontram-se nas Tabelas 4 e 5. Souza et al. (2007) comentam sobre a dificuldade de se avaliar depósitos em plantas daninhas em virtude da desuniformidade de um processo de pulverização realizado em condições de campo.

Segundo Palladini (2000), o estudo da deposição com o uso de traçadores, como Azul Brillhante, tem-se demonstrado vantajoso, devido sua estabilidade na luz solar e por não ser absorvido pelas folhas, permitindo, assim, determinações quantitativas e qualitativas. Contudo, a espectrofotometria se baseia em uma avaliação indireta e, desta forma, impurezas das amostras que tenham coloração semelhante a do traçador podem interferir nas leituras de absorbância.

Observa-se para a deposição de calda nas plantas daninhas, no primeiro ensaio, que houve diferença significativa apenas entre as taxas de aplicação, mostrando maior deposição na taxa de 90 L ha^{-1} , independente da aplicação eletrostática com ou sem o uso do adjuvante na calda.

Ao comparar os tratamentos com o adicional de 150 L ha^{-1} , observou-se que todos os tratamentos foram semelhantes, apenas o tratamento de 90 L ha^{-1} na ausência de adjuvante e sem aplicação eletrostática, mostrou-se diferente e superior para deposição de

calda nas plantas daninhas. Já para a variável perda para o solo, não houve diferença entre os tratamentos e todos foram semelhantes ao adicional.

Tabela 4. Deposição de calda aplicada nas plantas daninhas e perdas para o solo em diferentes taxas de aplicação, na presença e ausência de adjuvante, utilizando a tecnologia de aplicação eletrostática (Ensaio 1).

Tx. de aplicação (L ha ⁻¹)	Adjuvante	Deposição nas plantas (mg g ⁻¹)			Perda para o solo (µg cm ⁻²)		
		Eletrostático		Média	Eletrostático		Média
		Com	sem		com	sem	
50	Com	0,88	1,30	0,98B	1785,75	1873,78	1722,65
	Sem	0,86	0,87		1716,57	1514,48	
90	Com	1,25	1,41	1,46A	1579,37	1571,94	1693,87
	Sem	1,43	1,75+		2091,75	1530,25	
150		0,83			1984,34		
CV(%)		36,30			63,45		
Fc		F _{ExTxA} =0,84 ^{ns} ; F _{ExT} =0,00 ^{ns} ; F _{ExA} =0,17 ^{ns} ; F _{TxA} =2,38 ^{ns} ; F _E =2,16 ^{ns} ; F _T =9,47** [*] ; F _A =0,01 ^{ns} ; F _{Dunnett} =3,18*			F _{ExTxA} =0,03 ^{ns} ; F _{ExT} =0,08 ^{ns} ; F _{ExA} =0,30 ^{ns} ; F _{TxA} =0,34 ^{ns} ; F _E =0,19 ^{ns} ; F _T =0,00 ^{ns} ; F _A =0,00 ^{ns} ; F _{Dunnett} =0,29 ^{ns}		

Médias seguidas por letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p: 0,05); Fc: valor de F calculado; C.V. = coeficiente de variação. +: Médias que se diferenciaram do adicional (150 L ha⁻¹) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. F_{ExTxA}: interação entre eletrostático, taxa de aplicação e adjuvante; F_{ExT}: interação entre eletrostático e taxa de aplicação; F_{ExA}: interação entre eletrostático e adjuvante; F_{TxA}: interação entre taxa e adjuvante; F_E: eletrostático; F_T: taxa de aplicação; F_A: adjuvante; F_{Dunnett}: interação entre o fatorial e o tratamento adicional. Valores seguidos de “*” ou “**” são significativos a 5% ou a 1% de probabilidade. ^{ns}: não significativo.

Segundo Smelt et al (1993), a utilização do próprio ingrediente ativo para estudo de deposição gera custos elevados e necessita de equipamentos sofisticados para as análises e de pessoas treinadas para o trabalho. Desta forma, o uso de corantes como traçadores é atrativo pela facilidade de remoção diretamente das folhas ou de alvos coletores.

Na segunda área aplicada (Tabela 5) observou-se que, para deposição de calda nas plantas, houve diferença significativa nas duas taxas de aplicação de 50 e 90 L ha⁻¹, com adição do adjuvante à calda apresentando maior deposição nas plantas, independente da tecnologia de aplicação eletrostática. Isso se deu possivelmente devido às propriedades físico-químicas da calda alteradas pelo adjuvante, melhorando a deposição nas plantas daninhas.

Nas taxas de aplicação de 50 e 90 L ha⁻¹, o fator eletrostático não influenciou a deposição, e os tratamentos não diferiram do adicional com taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹, mostrando que a diminuição da taxa de aplicação em até 3 vezes, não causou diferença significativa na cobertura das plantas daninhas, o que indica a viabilidade técnica da redução dos volumes de água empregados por unidade de área. Menores taxas de aplicação proporcionam maior capacidade operacional dos equipamentos de pulverização, o que tende a reduzir os custos e aumentar o aproveitamento de boas condições climáticas.

Tabela 5. Deposição de calda aplicada nas plantas daninhas e perdas para o solo em diferentes taxas de aplicação, na presença e ausência de adjuvante utilizando a tecnologia de aplicação eletrostática (Ensaio 2).

Tx. de aplicação (L ha ⁻¹)	Deposição planta (mg g ⁻¹)			Perda para o solo (µg cm ⁻²)	
	Eletrostático	Adjuvante		Adjuvante	
		com	sem	com	sem
50	Com	0,45	0,30	3104,03+	2522,15+
	Sem	0,43	0,33	2141,24+	2686,36+
Média		0,44a	0,32b	2622,63	2604,25
90	Com	0,60+	0,32	2972,18+	1312,37+
	Sem	0,52	0,22	2079,20+	2370,85+
Média		0,50a	0,29b	2525,75	1841,61
150		0,34		6171,87	
CV(%)		30,88		44,99	
Fc		F _{ExTxA} =0,16 ^{ns} ; F _{ExT} =1,26 ^{ns} ; F _{ExA} =0,06 ^{ns} ; F _{TxA} =3,83 ^{ns} ; F _E =0,96 ^{ns} ; F _T =0,80 ^{ns} ; F _A =22,58 ^{**} ; F _{Dunnett} =0,69 [*]		F _{ExTxA} =0,29 ^{ns} ; F _{ExT} =0,39 ^{ns} ; F _{ExA} =4,06 ^{ns} ; F _{TxA} =0,76 ^{ns} ; F _E =0,17 ^{ns} ; F _T =1,26 ^{ns} ; F _A =0,84 ^{ns} ; F _{Dunnett} =39,25 ^{**}	

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p: 0,05); Fc: valor de F calculado; C.V. : coeficiente de variação. +: Médias que se diferenciaram do adicional + 150 L ha⁻¹ pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. F_{ExTxA}: interação entre eletrostático, taxa de aplicação e adjuvante; F_{ExT}: interação entre eletrostático e taxa de aplicação; F_{ExA}: interação entre eletrostático e adjuvante; F_{TxA}: interação entre taxa e adjuvante; F_E: eletrostático; F_T: taxa de aplicação; F_A: adjuvante; F_{Dunnett}: interação entre o fatorial e o tratamento adicional. Valores seguidos de “**” ou “***” são significativos a 5% ou a 1% de probabilidade. ^{ns}: não significativo.

Avaliando a deposição na cultura da batata com diferentes taxas de aplicação (200, 400 e 600 L ha⁻¹), Martins (2004), verificou que a utilização de menores volumes proporcionou maior uniformidade de distribuição dos depósitos, enquanto o uso de maiores volumes não resultou necessariamente em maiores depósitos corroborando com os resultados apresentados neste trabalho.

Ao se comparar os tratamentos com o adicional de 150 L ha⁻¹, na deposição de calda nas plantas, o único tratamento que se mostrou diferente foi utilizando a taxa de 90 L ha⁻¹ com o uso da tecnologia de aplicação eletrostática e adjuvante.

Segundo Souza et al. (2007), as plantas daninhas são expostas à pulverização por um tempo extremamente curto, o que, somado a fatores como oscilações e altura da barra, vento, tamanho de gota e estágio de desenvolvimento, implica grande variabilidade dos depósitos unitários obtidos, dificultando a diferenciação de tratamentos. Ainda segundo os autores, o ideal seria estudar cada planta daninha e não uma população de forma a minimizar este problema.

Na avaliação de perda para o solo, não houve diferença significativa entre os tratamentos, independente do uso da tecnologia de aplicação eletrostática, adicionando ou não adjuvante à calda.

Ao se comparar as perdas para o solo obtidas com a ponta de jato cônico vazio, na taxa de 50 e 90 L ha⁻¹, em relação ao tratamento adicional, os menores volumes conseguiram reduzir as perdas independente da presença do adjuvante e da eletrificação das gotas. Todos os tratamentos foram diferentes e inferiores evidenciando redução de perdas com menores taxas de aplicação. Provavelmente, isso ocorreu também em função dos espectros de gotas das pontas avaliadas, gotas muito grossas tendem a promover perdas para o solo ao colidir com o alvo. Estes dados estão de acordo com os apresentados por Matuo et al. (2004). Os autores afirmam que gotas grandes não conseguem penetrar na cultura, colidindo com a primeira camada de folhas e proporcionando perdas para o solo. A taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹ também contribuiu com esse resultado. Maiores volumes podem levar a um escoamento para o solo.

Nas Tabelas 6 e 7, têm-se os valores atribuídos para eficácia de controle de plantas daninhas baseados na escala de notas visuais. Aos 7 dias após a primeira aplicação, observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos e os mesmos foram semelhantes aos adicionais.

Aos 14 dias houve diferença significativa para a taxa de 90 L ha⁻¹ mostrando maior eficácia com o uso de adjuvante independente do uso da tecnologia de aplicação eletrostática. As plantas apresentavam sintomas de epinastia das folhas, crescimento anormal de ramos, curvamento do caule e das folhas das plantas para baixo diminuindo a superfície de absorção de luz. Sintomas semelhantes foram observados por Giafagna (1987) após a aplicação do herbicida 2,4-D, com epinastia, caracterizada pelo curvamento da folha para baixo causando colapso de tecido.

Todos os tratamentos diferenciaram-se da testemunha sem aplicação. Na condição de aplicação com taxa de 50 L ha⁻¹, adjuvante e eletrostático, e na condição de 90 L ha⁻¹, sem adjuvante, independente da aplicação eletrostática, também se diferenciaram do convencional (150 L ha⁻¹).

Ainda na primeira aplicação, aos 21, 28 e 35 dias após aplicação, houve diferença para a taxa de 90 L ha⁻¹ mostrando maior eficácia com o uso de adjuvante independente do uso da tecnologia de aplicação eletrostática. Todos os tratamentos diferenciaram-se da testemunha sem aplicação, e somente com a taxa de 90 L ha⁻¹ sem adjuvante, independente da aplicação eletrostática, diferenciou-se do adicional convencional demonstrando pior controle.

Galon et al. (2007) também afirmam que a variação da taxa aplicada (100 e 200 L ha⁻¹) não exerceu interferência na eficácia dos tratamentos herbicidas empregando vários princípios ativos. Por outro lado, Roman et al. (2004) obtiveram controle mais eficiente de *Brachiaria plantaginea*, utilizando taxas menores.

Na segunda aplicação (Tabela 7), observa-se aos 7 dias após a aplicação interação entre os fatores taxa e aplicação eletrostática apresentando um maior controle na taxa de 90 L ha⁻¹, quando utilizada a pulverização eletrostática. Ao comparar os tratamentos com o adicional de 150 L ha⁻¹, para a taxa de 50 L ha⁻¹ os tratamentos sem adjuvante se diferenciaram; na taxa de 90 L ha⁻¹ diferenciou-se apenas o tratamento sem eletrostático e sem adjuvante. Todos os tratamentos diferenciaram-se da testemunha sem aplicação.

Aos 14 dias após aplicação, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Ao comparar os mesmos com o adicional de 150 L ha⁻¹, a taxa de 90 L ha⁻¹ diferenciou-se no tratamento sem eletrostático e sem adjuvante. Todos os tratamentos se diferenciaram da testemunha sem aplicação. Trabalhos realizados com taxas de aplicações de 100 e 200 L ha⁻¹ de calda para os herbicidas lactofen e fomesafen também não apresentaram diferenças no controle de plantas daninhas na cultura da soja (FERREIRA et al.,1998).

Aos 21 dias houve diferença apenas para a taxa de 90 L ha⁻¹ demonstrando maior eficácia quando utilizado adjuvante independente da tecnologia de aplicação eletrostática. Ao comparar os tratamentos com o adicional de 150 L ha⁻¹, somente 90 L ha⁻¹ sem eletrostático e sem adjuvante se diferenciou. Todos os tratamentos se diferenciaram da testemunha sem aplicação.

Aos 28 dias, não houve diferença estatística entre os tratamentos e todos se diferenciaram da testemunha sem aplicação e foram semelhantes ao adicional de 150 L ha⁻¹.

Aos 35 dias houve diferença significativa na taxa de 90 L ha⁻¹ demonstrando maior eficácia quando utilizado adjuvante independente da tecnologia de aplicação eletrostática. Sem o uso de adjuvante, a taxa de 50 L ha⁻¹ promoveu maior controle do que com 90 L ha⁻¹. Ao comparar os tratamentos com o adicional de 150 L ha⁻¹, somente 90 L ha⁻¹ sem eletrostático e sem adjuvante se diferenciou. Todos os tratamentos se diferenciaram da testemunha. Segundo Furness e Pinczewski (1985) a comparação do desempenho de sistemas de pulverização deve ser finalizada pela avaliação da eficácia biológica. No entanto, variações nas condições operacionais dos equipamentos podem não ser suficientes para detectar diferenças significativas no controle, pelo fato de o ingrediente ativo estar em quantidade superior à necessidade em formulações comerciais, conforme citado por Raetano e Matuo (1999).

Tabela 6. Eficácia de controle de plantas daninhas em diferentes taxas de aplicação, na presença e ausência de adjuvante, utilizando a tecnologia de aplicação eletrostática (Ensaio 1).

Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Adjuvante	7 dias			14 dias ¹			21 dias ¹			28 dias ¹			35 dias ¹		
		Eletrostático			Eletrostático			Eletrostático			Eletrostático			Eletrostático		
		com	sem	Média	com	sem	Média	com	sem	Média	com	sem	Média	com	sem	Média
50	Com	2,50	2,50	2,50	33,75 Ψ +	43,75 Ψ	38,75Ab	80,00 Ψ	83,75 Ψ	81,87Aa	88,75 Ψ	90,00 Ψ	89,37Ab	78,75 Ψ	78,75Ψ	78,75Aa
	Sem	2,50	2,50	2,50	42,50 Ψ	45,00 Ψ	43,75Aa	68,75 Ψ	71,25 Ψ	70,00Aa	91,25 Ψ	90,00 Ψ	90,62Aa	80,00 Ψ	82,50Ψ	81,25Aa
90	Com	2,50	0,00	1,25	62,50 Ψ	57,50 Ψ	60,00Aa	91,25 Ψ	93,25Ψ	92,25Aa	96,25 Ψ	98,75 Ψ	97,50Aa	87,50 Ψ	91,25Ψ	89,37Aa
	Sem	2,50	2,50	2,50	30,00 Ψ +	31,25Ψ +	30,62Ba	66,25Ψ+	52,50Ψ+	59,37Bb	57,50 Ψ +	57,50Ψ+	57,50Bb	37,50 Ψ +	47,50Ψ+	42,50Bb
Adicional (150 L ha⁻¹)		3,75			60,00			92,00			97,50			90,00		
Testemunha (Controle)		0,00			0,00			0,00			0,00			0,00		
CV (%)		125,94			32,15			16,97			18,91			23,50		
Fc		F _{ExTxA} =0,41 ^{ns} ; F _{ExT} =0,41 ^{ns} ; F _{ExA} =0,41 ^{ns} ; F _{TxA} =0,41 ^{ns} ; F _E =0,41 ^{ns} ; F _T = 0,41 ^{ns} ; F _A =0,41 ^{ns} ; F _{Dunnett} = 0,09 ^{ns}			F _{ExTxA} =0,48 ^{ns} ; F _{ExT} =0,68 ^{ns} ; F _{ExA} =0,00 ^{ns} ; F _{TxA} =12,20**; F _E =0,19 ^{ns} ; F _T = 0,68 ^{ns} ; F _A =0,13*; F _{Dunnett} =6,92*			F _{ExTxA} =0,63 ^{ns} ; F _{ExT} =0,97 ^{ns} ; F _{ExA} =0,87 ^{ns} ; F _{TxA} =5,32*; F _E =0,09 ^{ns} ; F _T = 0,00 ^{ns} ; F _A =24,18**; F _{Dunnett} =40,59**			F _{ExTxA} =0,00 ^{ns} ; F _{ExT} =0,01 ^{ns} ; F _{ExA} =0,05 ^{ns} ; F _{TxA} =13,56**; F _E =0,01 ^{ns} ; F _T = 4,98*; F _A =11,97**; F _{Dunnett} = 37,02**			F _{ExTxA} =0,02 ^{ns} ; F _{ExT} =0,21 ^{ns} ; F _{ExA} =0,13 ^{ns} ; F _{TxA} =16,58**; F _E =0,44 ^{ns} ; F _T = 5,38*; F _A =13,39**; F _{Dunnett} =21,02**		

Fc: valor de F calculado; C.V. : coeficiente de variação. +, Ψ: médias que se diferenciaram do adicional (150 L ha⁻¹) e da testemunha, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. F_{ExTxA}: interação entre eletrostático, taxa de aplicação e adjuvante; F_{ExT}: interação entre eletrostático e taxa de aplicação; F_{ExA}: interação entre eletrostático e adjuvante; F_{TxA}: interação entre taxa e adjuvante; F_E: eletrostático; F_T: taxa de aplicação; F_A: adjuvante; F_{Dunnett}: interação entre o fatorial e o tratamento adicional. Valores seguidos de “*” ou “**” são significativos a 5% ou a 1% de probabilidade. ^{ns}: não significativo.

¹: Médias seguidas por letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05) na comparação do fator Adjuvante dentro da Taxa de aplicação; médias seguidas por letras iguais e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05) na comparação do fator Taxa de aplicação dentro do fator Adjuvante.

Tabela 7. Eficácia de controle de plantas daninhas em diferentes taxas de aplicação, na presença e ausência de adjuvante, utilizando a tecnologia de aplicação eletrostática (Ensaio 2).

Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Adjuvante	7 dias ¹		14 dias		21 dias ²		28 dias		35 dias ²													
		Eletrostático		Eletrostático		Eletrostático		Eletrostático		Eletrostático													
		com	sem	Média	com	sem	Média	com	sem	Média	com	sem	Média										
50	Com	57,50 Ψ	60,00Ψ	58,75 a	68,75Ψ	68,75Ψ	68,75	83,75Ψ	83,75 Ψ	83,75Aa	82,50 Ψ	81,25 Ψ	81,88	81,25 Ψ	82,00 Ψ	81,62Aa							
	Sem	45,00 Ψ+	45,00Ψ +	45,00 a	71,25Ψ	66,25Ψ	68,75	86,25Ψ	85,00 Ψ	85,62Aa	89,25 Ψ	85,00 Ψ	87,13	83,75 Ψ	84,50 Ψ	84,12Aa							
Média		51,25Aa	52,50Aa																				
90	Com	53,75 Ψ	51,25Ψ	52,50 a	72,50Ψ	71,25Ψ	71,88	87,50Ψ	87,50Ψ	87,50Aa	88,75 Ψ	83,00 Ψ	85,88	81,25 Ψ	82,00Ψ	81,62Aa							
	Sem	50,00 Ψ	35,00Ψ +	42,50 a	72,50Ψ	50,00Ψ+	61,25	86,00Ψ	72,50Ψ +	79,25Bb	90,00 Ψ	81,25 Ψ	85,63	77,00 Ψ	66,25Ψ +	71,62Bb							
Média		51,87Aa	43,12Bb																				
Adicional (150 L ha⁻¹)			63,75	75,00			89,25			88,00			87,50										
Testemunha			0,00	0,00			0,00			0,00			0,00										
CV(%)			12,59	15,33			5,99			8,18			9,97										
Fc		F _{EXTXA} =1,27 ^{ns} ; F _{EXT} =5,11*		F _{EXTXA} =1,22 ^{ns} ; F _{EXT} =1,63 ^{ns}		F _{EXTXA} =2,95 ^{ns} ; F _{EXT} =2,95 ^{ns}		F _{EXTXA} =0,00 ^{ns} ; F _{EXT} =0,83 ^{ns}		F _{EXTXA} =1,04 ^{ns} ; F _{EXT} =1,04 ^{ns} ; F _{EXA} =1,04 ^{ns}		F _{EXTXA} =2,87 ^{ns} ; F _{TXA} =0,71 ^{ns} ; F _E =2,87 ^{ns}		F _{EXA} =3,20 ^{ns} ; F _{TXA} =2,19 ^{ns} ; F _E =3,84 ^{ns}		F _{EXA} =4,29 ^{ns} ; F _{TXA} =8,08**; F _E =4,29		F _{EXA} =0,37 ^{ns} ; F _{TXA} =1,25 ^{ns} ; F _E =4,12 ^{ns}		F _{EXA} =1,04 ^{ns} ; F _{EXT} =1,04 ^{ns} ; F _{EXA} =1,04 ^{ns}			
		F _I = 3,91 ^{ns} ; F _A =28,82**;		F _I = 0,35 ^{ns} ; F _A =2,09 ^{ns} ; F _{Dunnett} =		F _I = 0,54 ^{ns} ; F _A =3,20 ^{ns} ; F _{Dunnett} =		F _I = 0,26 ^{ns} ; F _A =1,03 ^{ns} ;		F _I =4,94*;		F _I = 4,94*;		F _A =1,78 ^{ns} ; F _{Dunnett} =130,34**		F _{Dunnett} =33,64**		49,54**		297,51**		F _{Dunnett} =213,66**	

Fc: valor de F calculado; C.V. : coeficiente de variação. +, Ψ: médias que se diferenciaram do adicional (150 L ha⁻¹) e da testemunha, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. F_{EXTXA}: interação entre eletrostático, taxa de aplicação e adjuvante; F_{EXT}: interação entre eletrostático e taxa de aplicação; F_{EXA}: interação entre eletrostático e adjuvante; F_{TXA}: interação entre taxa e adjuvante; F_E: eletrostático; F_T: taxa de aplicação; F_A: adjuvante; F_{Dunnett}: interação entre o fatorial e o tratamento adicional. Valores seguidos de “*” ou “**” são significativos a 5% ou a 1% de probabilidade. ^{ns}: não significativo.

¹: Médias seguidas por letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05) na comparação do fator Taxa de aplicação dentro do fator Eletrostático; médias seguidas por letras iguais e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p: 0,05) na comparação do fator Eletrostático dentro do fator Taxa de aplicação. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas e itálicas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05) na comparação dos níveis (média *com* adjuvante e média *sem* adjuvante) do fator Adjuvante.

²: Médias seguidas por letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05) na comparação do fator Adjuvante dentro da Taxa de aplicação; médias seguidas por letras iguais e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p: 0,05) na comparação do fator Taxa de aplicação dentro do fator Adjuvante.

Em relação à deriva quantificada pelo teste de fluorimetria (Tabela 8) foi observado que não houve interação entre o uso de adjuvante e a tecnologia de aplicação eletrostática. Utilizando o coletor de fio de nylon, nas distâncias de 5 e 10 m, o adjuvante reduziu a deriva, independente da tecnologia de aplicação eletrostática, que não promoveu a diminuição da perda. A 15 m, não houve diferença entre os tratamentos.

A fluorimetria apresenta sensibilidade e precisão superiores à espectrofotometria. Como desvantagem tem-se a fotodegradação que deve ser monitorada. Possivelmente, a melhor correlação entre os estudos com o ingrediente ativo e o traçador no trabalho de Smelt et al. (1993), deve-se ao fato de se ter empregado um traçador fluorescente.

O comportamento da deriva usando os coletores horizontais foi semelhante aos verticais. Houve menor deriva nas distâncias de 5 e 10 m quando aplicada a calda com o adjuvante. Já para distância de 15 m, a deriva foi semelhante entre os tratamentos. Trabalhos prévios mostram o potencial da lecitina de soja + ácido propiônico na redução das perdas por deriva (GODINHO JÚNIOR et al., 2018).

O uso predominante do glifosato para culturas resistentes tem representado múltiplas oportunidades de ocorrência de deriva (JOHNSON et al., 2006), além de ser um dos herbicidas mais utilizados no mundo (GHISI; CESTARI, 2013). Sua toxicidade também foi relatada para diversos cultivos, o que demonstra a necessidade da preocupação com as técnicas de redução de deriva.

Tabela 8. Deriva (%) de herbicida com adjuvante adicionado à calda utilizando a tecnologia de pulverização eletrostática em distintas distâncias com coletores de fio de nylon e papéis).

Distância	Coletores de nylon (Vertical)				Coletores de papel (Horizontal)			
	Adjuvante		Eletrostático		Adjuvante		Eletrostático	
	com	sem	Com	sem	com	sem	com	sem
5 m	21,52 b	23,72 a	22,58	22,67	2,88 b	3,44 a	3,00	3,32
CV	13,03%				17,80%			
Fc	F _{EXA} =0,02 ^{ns} ; F _E =0,00 ^{ns} ; F _A =5,01*				F _{EXA} =0,16 ^{ns} ; F _E =3,03 ^{ns} ; F _A =8,73**			
10 m	19,68 b	22,74 a	21,07	21,35	2,57 b	2,87 a	2,71	2,73
CV	12,67%				7,99%			
Fc	F _{EXA} =0,04 ^{ns} ; F _E =0,09 ^{ns} ; F _A =11,62**				F _{EXA} =0,00 ^{ns} ; F _E =0,11 ^{ns} ; F _A =17,05**			
15 m	18,96	19,60	18,89	19,67	2,54 b	2,65 a	2,59	2,60
CV	6,56%				4,79%			
Fc	F _{EXA} =1,40 ^{ns} ; F _E =3,39 ^{ns} ; F _A =2,33 ^{ns}				F _{EXA} =0,16 ^{ns} ; F _E =0,00 ^{ns} ; F _A =7,30**			

Médias seguidas por letras iguais e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p: 0,05); Fc: valor de F calculado; C.V.: coeficiente de variação. F_{EXA}: interação entre eletrostático e adjuvante; F_E: eletrostático; F_A: adjuvante; Valores seguidos de “*” ou “**” são significativos a 5% ou a 1% de probabilidade. ^{ns}: não significativo.

4 CONCLUSÕES

O emprego da tecnologia de aplicação eletrostática não influenciou a deposição de calda as perdas para o solo e a deriva. De forma geral, a eficácia de controle de plantas daninhas com o uso do glifosato também não foi influenciada.

O adjuvante lecitina de soja + ácido propiônico alterou todas as propriedades físico-químicas das caldas fitossanitárias e sua relação carga/massa. Mostrou-se uma ferramenta importante na tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, influenciando a eficácia de controle de plantas daninhas. Seu uso em várias condições operacionais melhorou o controle e, além disso, demonstrou potencial para redução das perdas por deriva.

O sistema eletrostático foi capaz de energizar as gotas principalmente nas caldas com maior condutividade elétrica, na presença de glifosato e do adjuvante. Contudo, isso não se refletiu no aumento do controle das plantas daninhas no campo.

REFERÊNCIAS

ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 8, p. 622-629, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800006>

ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R.; PALLADINI. Seleção de traçadores para estudos de eficiência das aplicações de produtos fitossanitários. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 861-870, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000400021>

ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. *In*: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Bento Gonçalves: **Embrapa Uva e Vinho**, 2004. p. 145-184.

ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.

BAYER, T.; COSTA, I. F. D.; LENZ, G.; ZEMOLIN, C.; MARQUES, L. N.; STEFANELO, M. S. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.15, n. 2, p. 192-198, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000200007>

CHAIM, A. Aperfeiçoamento de bico de pulverização eletrostática para geração de gotas com alto nível de carga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 4, p. 463-470, 1998.

CHAIM, A. Eficiência de deposição de agrotóxicos obtida com bocal eletrostático para pulverizador costal motorizado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p.497-501, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400011>

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

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

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; REIS, E. F. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 665-672, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300024>

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURRY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para a redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000200019>

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**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 261-270, abr./jun., 2017.

DOPIERALA, K.; PROCHASKA, K. The effect of molecular structure on the surface properties of selected quaternary ammonium salts. **Journal of colloid and interface science**, San Diego, v. 321, n. 1, p. 220-226, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.01.049>

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensaios de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, M. C.; NETO, J. G. M.; MATUO, T. Redução da dose e do volume de calda nas aplicações noturnas de herbicidas em pós-emergência na cultura da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 16, n. 1, p. 25-36, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-83581998000100003>

FURNESS, G. O.; PINCZEWSKI, W. V. A comparison of the spray distribution obtained from sprayers with converging and diverging airjets with low volume air assisted spraying on citrus and grapevines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 32, n. 4, p. 291-310, 1985. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(85\)90095-2](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90095-2)

GALON, L.; PINTO, J. J. O.; AGOSTINETTO, D.; MAGRO, T. D. Controle de plantas daninhas e seletividade de herbicidas à cultura da soja, aplicados em dois volumes de calda. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 3, p. 325-330, 2007.

GHISI, N.C.; CESTARI, M.M. Genotoxic effects of the herbicide Roundup® in the fish *Corydoras paleatus* (Jenyns 1842) after short-term, environmentally low concentration exposure. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 185, n. 4, p. 3201-3207, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2783-x>

GIAFAGNA, T. J. Natural and synthetic growth regulators and their use in horticultural agronomic crops. In: DAVIES, P. J. (Ed.). **Plant hormones and their role in plant growth and development**. Dordrecht: Kluwer, cap. 19, p. 614-634, 1987. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3585-3_32

GODINHO JR., J. D.; RUAS, R. A. A.; REIS, M. R. CARVALHO FILHO, A. C. FARIA, V. R. Reduction in the spray drift of 2,4-D in tomato using hydraulic nozzles with air induction and LI-700 adjuvant. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 2, p. 134-139, Apr./Jun. 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4851416>

HISLOP, F.C. Electrostatic ground-rig spraying: an overview. **Weed Technology**, North Dakota, v. 2, p. 94-104, 1988. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00030177>

ISO. **Equipment for crop protection - Methods for field measurement of spray drift**. Geneva: ISO, 2005. 22 p. ISO/FDIS 22866.

JOHNSON, A.K.; ROETH, F. W.; MARTIN, A. R.; KLEIN, R. N. Glyphosate spray drift management with drift reducing nozzles and adjuvants. **Weed Technology**, v.20, p.893-897, 2006. <https://doi.org/10.1614/WT-05-162.1>

KOGAN, M. Efecto de la calidad del agua en la actividad del glyphosate, com especial enfasis en la concentracion de cationes y pH de la solucion. *In: XIII CONGRESO LATINO AMERICANO DE MALEZAS*, 13, 1997, Buenos Aires. **Resumos [...]** Buenos Aires: Asociación Latino americana de Malezas, Asociación Argentina de Protección Vegetal, p. 273, 1997.

KOPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha, Alemanha: Verlag Justus Perthes, wall-map: 1,5 m x 2 m, 1928.

LAW, S.E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century. **Journal of Electrostatics**, v.51, 2001. p. 25-42.
[https://doi.org/10.1016/S0304-3886\(01\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3886(01)00040-7)

LAW, S.E. Basic phenomena active in electrostatic pesticide spraying. *In: K.J. BRENT, R.K. ATKIN (Eds.), Rational Pesticide Use*. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1987, p.81-105.

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, L. B.; FERREIRA, L. R.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para atração de gotas da aplicação eletrostática em plantas cítricas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.5, p. 798-804, 2011.

MARTINS, D. **Deposição de calda de pulverização em cultivares de batata**. 2004. 249 f. Tese (Livre docência em Agricultura/Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

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**, Londres, v. 29, n. 2, p. 134-141, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.10.006>

MATUO, T.; PIO, L. C.; RAMOS, H. H Curso de proteção de plantas. Mod. 2. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas e equipamentos e técnicas de aplicação. *In: CURSO de especialização por tutoria á distância*. Brasília, DF: ABEAS; 2004. 71 p. 1 CD-Rom.

MAYNAGH, B. M.; GHOBADIAN B; JAHANNAMA M. R.; HASHJIN, T. T. Effect of Electrostatic Induction Parameters on Droplets. Charging for Agricultural Application. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Tehran, v. 11, n. 3, p. 249-257, 2009.

PALLADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

RAETANO, C. G.; MATUO, T. Efeito da pulverização com turboatomizadores em diferentes condições operacionais no controle de ácaros em citros. **Anais Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 28, n.1, p.131-140, 1999.
<https://doi.org/10.1590/S0301-80591999000100014>

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIBEIRO, M. C. F. Influência do orvalho e volume de calda de aplicação na eficácia do glyphosate na dessecação de *Brachiaria plantaginea*. **Planta**

Daninha, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 479-482, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582004000300019>

RUAS, R. A. A. **Tecnologia de aplicação do glyphosate para certificação de produtos agrícolas**. 2007. 107 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

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. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131604>

SMELT, J. H.; SMIDT, R. A.; HUIJSMANS, J. F. M. Comparison of spray deposition on apple leaves of captan and the dye brilliant sulfoflavine. *In*: SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LES TECHNIQUES D'APPLICATION DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES, 2., 1993. Strasbourg, **Annales [...]**, Strasbourg: British Crop Protection Council, 1993. p.191-197.

SOUZA, R. T.; VELINI, E. D.; PALLADINI, L. A. Aspectos metodológicos para análise de depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 195-202, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000100022>

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.

SYSTAT SOFTWARE, Inc. **Sigma Plot for Windows, version 12.0**. Chicago, IL, 2011.

TAVARES, R. M.; CUNHA, J. P. A. R.; NAVES, M. G.; BUENO, M. R.; ALVES, G. S. Deposição de calda em plantas de soja empregando pulverizador com barra convencional e barra auxiliar. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 5, n. 1, p. 87-104, 2014. <https://doi.org/10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v5n1p87-104>

TAVARES, R. M.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, T. C.; ALVES, G. S.; SILVA, 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. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764050004>

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

CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS AVALIADO VISUALMENTE E POR IMAGENS AÉREAS

RESUMO

O emprego de aeronaves remotamente pilotadas (ARPs) para obtenção de imagens no campo tem crescido e pode auxiliar o manejo de plantas daninhas, contudo, os softwares para análise e processamento das imagens precisam ser testados sob diferentes condições para o desenvolvimento das rotinas e validação dos resultados. Portanto, o objetivo deste trabalho foi correlacionar os resultados da metodologia de avaliação visual com os resultados do processamento de imagens com os softwares SisCob[®] e ImageJ[®] para a análise da ocorrência e eficácia de controle de plantas daninhas. O experimento consistiu em correlacionar dois métodos de avaliação de ocorrência e eficácia de controle de plantas daninhas: método visual com escala de notas e método através de imagens processadas, utilizando dois softwares de análise de imagens (SisCob e ImageJ). As comparações foram feitas em dez áreas com diferentes níveis de infestação de plantas daninhas. A partir de uma área em pousio há quatro meses, submeteu-se a mesma a diferentes tratamentos de controle químico com herbicida glifosato, incluindo uma testemunha sem aplicação, variando taxa de aplicação (50, 90 e 150 L ha⁻¹), adição de adjuvante lecitina de soja+ácido propiônico e presença de pulverização eletrostática. Depois da aplicação do herbicida, após 35 dias, cada uma das dez áreas foi avaliada visualmente, e paralelamente foi feito o sobrevoo na área com uma ARP para coleta das imagens aéreas e posterior processamento digital, usando os dois softwares para quantificação em percentagem do controle com o herbicida. Todas as correlações testadas (Pearson, Spearman e Kendall) foram significativas e positivas, indicando que o uso de ARPs para coleta de imagens e seu processamento através dos softwares SisCob[®] e ImageJ[®] demonstraram potencial como alternativa para a avaliação da infestação e controle de plantas daninhas, podendo substituir a avaliação visual com operador a campo evitando a subjetividade e morosidade nas avaliações.

Palavras-chave: agricultura de precisão, correlação, monitoramento agrícola, processamento de imagens.

ABSTRACT

The employment of aircraft remotely piloted (ARPs) for obtaining images in the field has grown and can assist the management of weeds, however, the software for analysis and processing of images need to be tested under different conditions for the development of routines and validation of results. Therefore, the objective of this work was to correlate the results of the methodology of visual assessment with the results of the processing of images with the software SisCob® and ImageJ® for the analysis of the occurrence and effectiveness of weed control. The experiment consisted in correlating two methods of assessment of occurrence and effectiveness of weed control: visual method with scale of notes and method through processed images, using two software of image analysis (SisCob and ImageJ). The comparisons were made in ten areas with different levels of infestation of weeds. From a fallow area four months ago, has submitted to the different treatments of chemical control with glyphosate herbicide, including a witness without application, varying application rate (50, 90 and 150 L ha⁻¹), the addition of adjuvant soy lecithin + propionic acid and presence of electrostatic spray. After herbicide application, after 35 days, each of the ten areas was assessed visually, and in parallel was done the overflying the area with an ARP to collection of aerial images and subsequent digital processing, using the two software for quantification in percentage of control with herbicide. All tested correlations (Pearson, Spearman and Kendall) were significant and positive, indicating that the use of ARPs for collection of images and their processing through the SisCob® and ImageJ® and demonstrated potential as an alternative for the evaluation of the infestation and weed control which may replace the visual assessment with operator in the field avoiding the subjectivity and slowness in the evaluations.

Keywords: precision agriculture, correlation, agricultural monitoring, image processing.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) vem ocupando espaço no setor agrícola, pois preconiza a aplicação de insumos em locais corretos e nas quantidades requeridas, constituindo-se em alternativa racional para a redução dos custos de produção, a diminuição dos problemas ambientais e o aumento da produtividade das culturas. Uma de suas principais características é poder monitorar as condições de crescimento das plantas (ANDERSEN et al., 2005; BALASTREIRE; BAIO, 2001).

Tradicionalmente, a avaliação do controle de plantas daninhas, seja em experimentos ou em áreas comerciais é feita por meio do emprego de escalas visuais seguindo a metodologia da ALAM (1974) muito sujeita à subjetividade e habilidade do avaliador. Rotinas computacionais adaptadas à avaliação de imagens aéreas coletadas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), também conhecidos como drone poderiam melhorar a qualidade dos dados obtidos, bem como facilitar a coleta, sendo ainda um método economicamente viável devido a popularização destas aeronaves. Contudo, ainda não existem estas rotinas bem estabelecidas para distintas condições.

Com o advento das ARPs, tornou-se possível tirar fotos aéreas de altas resoluções espectrais e espaciais de maneira facilitada. Essas imagens do campo podem auxiliar no manejo de plantas daninhas indicando a localização das mesmas no campo. Porém, os softwares empregados para o processamento das imagens precisam ser testados sob diferentes condições para o desenvolvimento das rotinas e validação dos resultados, vindo à tona o desafio de desenvolver programas computacionais ou rotinas computacionais para aquisição, tratamento e análise das imagens aéreas captadas por câmeras embarcadas. Os aparelhos por si só não identificam plantas daninhas, pragas e doenças na lavoura.

O uso de técnicas de processamento a partir de imagens aéreas da cultura destaca-se como uma ferramenta de grande potencial para aquisição de parâmetros que auxiliam na tomada de decisão, reduzindo o tempo de observação no campo e a influência de condições atmosféricas (JORGE; CRESTANA, 2007). Assim, a análise de imagens desponta como um artifício capaz de identificar aspectos importantes da área agrícola como as propriedades e o estado de conservação do solo (MORAN et al. 2000). Portanto, existe a demanda de sistemas capazes de automatizar a análise de imagens da cobertura vegetal permitindo a inspeção e quantificação rápida e precisa da eficiência de controle de diferentes tipos de plantas presentes na área analisada, auxiliando assim, a tomada de decisão.

Para o processamento das imagens aéreas podem ser utilizados vários softwares de processamento: ImageJ[®], SisCob[®], MULTISPEC[®], OpenDragon[®], NisElements D[®]., QGIS[®], ArcGIS[®], TerraView[®], entre outros. Através destes, após o processamento, há a possibilidade de se quantificar a porcentagem de plantas daninhas controladas por diferença na resposta espectral permitindo fazer levantamentos de problemas nas áreas agrícolas, possibilitando o uso da AP para o posterior manejo do sistema agrícola auxiliando o agricultor nas tomadas de decisões.

O software ImageJ é um programa de processamento de imagem desenvolvido por Wayne Rasband no National Institute of Mental Health, USA, em linguagem Java, de domínio público. Está em desenvolvimento desde 1997, e é capaz de exibir, editar, analisar, processar, calcular estatísticas e porcentagens de valores de área e pixel de seleção definidas pelo usuário, criar histogramas de densidade e gráficos, salvar e imprimir imagens de 8, 16 e 32 bits. Permite o processamento de diversos formatos de imagem como TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM e FITS entre outros (SCHNEIDER et al., 2012).

O ImageJ atua na imagem pela intensidade, ou nível de cinza dos pixels, calculando assim a área de interesse pela contagem de pixels das regiões selecionadas pelo usuário ou por um algoritmo específico (RASBAND, 2011). Apenas as imagens capturadas com o auxílio de ARP não são suficientes para a identificação de anomalias nas culturas monitoradas. Os softwares precisam ser utilizados para distinguir nas imagens o desenvolvimento de doenças, a ocorrência de insetos e plantas daninhas com auxílio do operador.

Outro software de análise de imagem é o SisCob (JORGE; SILVA, 2009), que é uma ferramenta de análise de cobertura do solo que utiliza de técnicas de redes neurais supervisionadas para a classificação de cores e processamento digital de imagens para quantificar as diferentes coberturas. Para obter-se resultados satisfatórios com a técnica de redes neurais é necessário que um especialista da área faça ou acompanhe o treinamento do programa SisCob de acordo com os padrões de cores que se deseja reconhecer. Ressalta-se que, quanto maior o número de padrões informados para o treinamento da rede, melhor será o resultado da classificação.

A utilização de ARPs e o processamento digital de imagens estão demonstrando ser uma nova alternativa para a avaliação da eficácia de controle de plantas daninhas por meio de herbicidas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi correlacionar os resultados da metodologia de avaliação visual com os resultados do processamento de imagens com os

softwares SisCob e ImageJ para a análise da ocorrência e eficácia de controle de plantas daninhas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, localizada no Município de Uberlândia, MG. 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 segundo Koppen, clima do tipo Aw (Tropical úmido com inverno seco).

A parte laboratorial foi conduzida no Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC) do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), ambos na Universidade Federal de Uberlândia, campus Umuarama, em Uberlândia, MG.

2.2 Levantamento fitossociológico

Antes da aplicação do herbicida foi realizada uma estimativa de cobertura do solo pelas plantas daninhas incidentes na área. As principais presentes nas parcelas durante a condução do experimento foram às seguintes: *Acanthospermum hispidum* DC. (Carrapicho de carneiro), *Ageratum conyzoides* L. (Mentrasto), *Amaranthus deflexus* (Caruru), *Commelina benghalensis* L. (Trapoeaba), *Raphanus raphanistrum* (Nabo ou nabiça), *Chamaesyce hirta* L. (Erva de Santa Luzia), *Alternanthera tenela* (Apaga-fogo), *Portulaca oleracea* (Beldroega), *Bidens pilosa* (Picão-preto), *Cyperus rotundus* (Tiririca) e *Cortaderia selloana* (Capim navalha).

A aplicação foi realizada quando as plantas daninhas se encontravam em pós-emergência tardia com 40 a 60 cm de altura.

2.3 Aplicação de herbicida com uso da tecnologia de pulverização eletrostática e adjuvante adicionado à calda

Para a obtenção das áreas para efeito de comparação das metodologias de avaliação do controle de plantas daninhas, o experimento foi instalado a campo em blocos casualizado, com dez tratamentos e quatro repetições, totalizando 40 parcelas, em esquema fatorial 2 x 2 x 2 + 2, sendo ausência e presença de pulverização eletrostática, ausência e presença de adjuvante, duas taxas de aplicação (50 e 90 L ha⁻¹), e dois tratamentos adicionais, um

controle (sem aplicação de herbicida) e aplicação convencional (150 L ha^{-1}). Cada parcela foi dimensionada em 35 m^2 ($7 \times 5 \text{ m}$), desconsiderando a bordadura de 1 m de cada lado das parcelas.

Utilizou-se o ingrediente ativo glifosato (Sal de Di-amônio N-(phosphonomethyl) glycine), na concentração de 445 g L^{-1} de i.a. (370 g L^{-1} equivalente ácido), formulação concentrado solúvel, na dose de 2 L ha^{-1} de produto comercial (Roundup Original DI[®]), de acordo com o fabricante. Trata-se de um herbicida não seletivo, sistêmico, recomendado para o uso em dessecação, que deve ser aplicado nas plantas daninhas, já germinadas (pós-emergência). Foi adicionado um adjuvante multifuncional a base de lecitina de soja+ácido propiônico (LI 700[®]) na concentração de 712 g L^{-1} , formulação concentrado emulsionável, na concentração de 5 mL L^{-1} , ou 0,5% em relação ao volume de calda, tendo como referencial teórico a instalação futura da cultura do milho. A área aplicada estava em pousio há quatro meses sendo a soja a cultura anterior.

2.4 Equipamentos e procedimentos realizados no campo

Para aplicação dos tratamentos foi utilizado um pulverizador FM Copling, barra de 12 m com 24 bicos, com espaçamento de 0,5 m, acoplado ao sistema hidráulico de um trator modelo Ursus 4x2 2-85 de 85 cv (62,5 kW). Neste pulverizador foi instalado um sistema de pulverização eletrostática da marca SPE - Sistema de Pulverização Eletrostática (Porto Alegre, Brasil). O sistema produz um campo elétrico de alta voltagem (6950 V) na base do jato produzido por pontas de jato cônico vazio (Ponta SPE 1, com vazão de $0,265 \text{ L min}^{-1}$ a 300 kPa) carregando eletricamente as gotas. A carga é gerada devido ao campo elétrico produzido por anéis de indução conectados a um gerador de alta tensão. A pressão utilizada no trabalho foi de 2,5 bar (250 kPa), e a velocidade de deslocamento foi de $3,3 \text{ km h}^{-1}$, para a taxa de aplicação de 90 L ha^{-1} , e 6 km h^{-1} para 50 L ha^{-1} . Para a aplicação convencional com taxa de aplicação de 150 L ha^{-1} , a velocidade foi de $6,5 \text{ km h}^{-1}$ e pressão de 3 bar (300 kPa), utilizando pontas de jato plano com indução de ar (Ponta AIXR11002, com vazão de $0,790 \text{ L min}^{-1}$ a 300 kPa).

As condições ambientais no momento da aplicação foram monitoradas por meio de um termo-higro-anemômetro digital: temperatura do ar entre 26,5 e 29 °C, umidade relativa entre 56,4% e 59,8% e velocidade do vento de até $4,5 \text{ km h}^{-1}$ sendo evitado a aplicação na ausência total de vento.

O modelo da ARP (Aeronave Remotamente Pilotada) utilizado para a coletas das imagens aéreas foi o Phantom 4 Advance+, equipado com o sistema Flight Autonomy da DJI, composto por cinco sensores de visão e câmera de 20 megapixels, posicionamento por satélite de banda dupla (GPS e GLONASS), com quatro hélices e pesando 1368 g com bateria, equipado com o sistema de transmissão Light bridge HD atualizado, elaborado pela empresa DJI.

2.4.1 Avaliação da eficácia de controle de plantas daninhas

Após a aplicação do herbicida, o referencial visual de controle foi determinado e comparado com o controle sem aplicação de herbicida, sendo que a avaliação percentual de notas foi realizada para cada parcela separadamente.

Na análise da eficácia de controle das plantas daninhas, foi realizada a avaliação visual de controle aos 35 dias após a aplicação do herbicida parcela por parcela, mediante a escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas por meio de herbicida desenvolvida pela Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM, 1974) com as respectivas notas de porcentagem de controle (Tabela 1).

Tabela 1. Escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas por herbicidas (ALAM, 1974).

Escala de Avaliação Visual de Controle de Plantas Daninhas						
Nota	1	2	3	4	5	6
Eficácia (%)	0-40	41-60	61-70	71-80	81-90	91-100
Denominação	Nenhum/Pobre	Regular	Suficiente	Bom	Muito Bom	Ótimo

O sobrevoo e captura da imagem aérea da área experimental foi realizado no mesmo dia da avaliação visual. Para a avaliação via processamento de imagens aéreas, realizaram-se voos em uma altura média de 40 m em relação ao solo com a aeronave sobre a área experimental, visando quantificar a proporção de controle de plantas daninhas por diferenças de espectros com auxílio dos softwares de processamento de imagem, ImageJ e SisCob. A análise das imagens geradas com a câmera com sensor na faixa espectral do visível (RGB) foi comparada com as avaliações tradicionais no campo por meio de escala de notas.

2.5 Processamento de imagens aéreas com auxílio dos softwares ImageJ e SisCob

Após a coleta das imagens aéreas com auxílio da ARP, os softwares foram separadamente aplicados para processar a imagem de cada parcela experimental de forma a verificar a distribuição das plantas daninhas e as quantificar em porcentagens relativas ao tratamento controle das plantas nas parcelas.

O software SisCob (JORGE; SILVA, 2009) utiliza de técnicas de classificação e processamento digital para quantificar alterações nos padrões da imagem. No presente trabalho, sua aplicação foi voltada para quantificar em percentagem o controle químico das plantas daninhas da área de estudo, utilizando-se de recursos baseados em sistemas computacionais inteligentes. A operação da ferramenta é classificada como semiautomática, pois ainda depende de processos que exigem interferência do usuário, como criar as classes de classificação, inserir amostras e criar a rede neural.

Inicialmente foi necessário realizar um treinamento do sistema indicando manualmente o significado das cores em correspondência ao significado a campo, e selecionando os padrões nas imagens de acordo com os objetivos específicos. Foi informado o que era planta, palha e palhada seca, o que era sombra e o que era solo exposto, criando uma classe de padrões para o sistema inteligente. Após informar os padrões do campo no software, selecionou-se a rede criada e procedeu-se a classificação e processamento das imagens. Em seguida o programa disponibilizou a análise e visualização das imagens processadas com os respectivos resultados, discriminado em percentagem de palha e palhada, planta e solo exposto.

No software ImageJ (SCHNEIDER et al., 2012), inicialmente a distribuição em intensidade de cor foi ajustada usando o comando Color Balance. Posteriormente, verificou-se a distribuição das intensidades de cores RGB usando o comando de histograma. Em seguida, o programa disponibilizou a análise e visualização das imagens processadas com os respectivos resultados. Foram determinadas as percentagens de área/pixels em cada tonalidade e a partir daí calculou-se o controle a partir das áreas sem o espectro do verde.

2.6 Análises estatísticas

Após o processamento das imagens, procederam-se às comparações dos resultados entre as avaliações (visual e de imagens) por meio dos coeficientes de correlação de Pearson, Spearman e Kendall para cada uma das dez áreas. Os coeficientes de correlação de, Pearson

(1892), Spearman (1904) e Kendall (1938) e calculados foram realizados com o auxílio do software SPSS Statistics®. As correlações são medidas adimensionais de associação entre duas variáveis e variam entre “-1” (relação perfeitamente inversa) e “+1” (relação perfeitamente direta), sendo “0” a ausência de correlação ou um indicativo de correlação não linear.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é utilizado para expressar quanto uma associação de variáveis quantitativas pode ser descrita por uma função linear. Esta correlação é calculada através da razão entre a variância conjunta, ou covariância, das duas variáveis e o produto de seus respectivos desvios padrão. Para evitar erros associados ao cálculo e à interpretação da correlação de Pearson é importante que os dados estejam normalmente distribuídos e ausentes de *outliers* (valores extremos) (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009).

O coeficiente de correlação de Spearman (ρ) é uma medida de dependência estatística não paramétrica entre duas variáveis ordinais que indica o quão bem uma relação pode ser descrita em uma função monotônica (função constante, crescente ou decrescente) que não necessariamente é linear. Diferentemente do coeficiente de correlação de Pearson (r), o coeficiente de correlação de Spearman não exige que as variáveis apresentem distribuição normal dos resíduos e nem a presença de *outliers* prejudica a dependência entre variáveis (SIEGEL, 1975).

O coeficiente de correlação de Kendall (τ), assim como o coeficiente de correlação de Spearman (ρ), é uma medida de correlação não paramétrica para dados ordinais. No entanto, nesta correlação os dados de ambas as variáveis são posicionados em ranques e a concordância entre os ranques dos respectivos dados é utilizada para calcular o coeficiente. O coeficiente de correlação de Kendall representa, portanto, a probabilidade de ocorrência de pares de dados das variáveis que são concordantes das variáveis (KENDALL, 1970; SIEGEL, 1975).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem da área experimental com as distintas condições de ocorrência de plantas daninhas 35 dias após a aplicação de herbicida é apresentada na Figura 1. Através dos softwares SisCob e ImageJ pôde-se distinguir e quantificar as áreas com maior ou menor presença de plantas por meio de diferenças nas cores e tonalidades. Essa quantificação foi possível devido às diferentes intensidades das cores RGB que a imagem capturou nas parcelas do experimento, predominando o verde e o amarelo das plantas daninhas vivas e mortas e o marrom do solo exposto, facilitando a quantificação da porcentagem da eficácia de controle do herbicida.

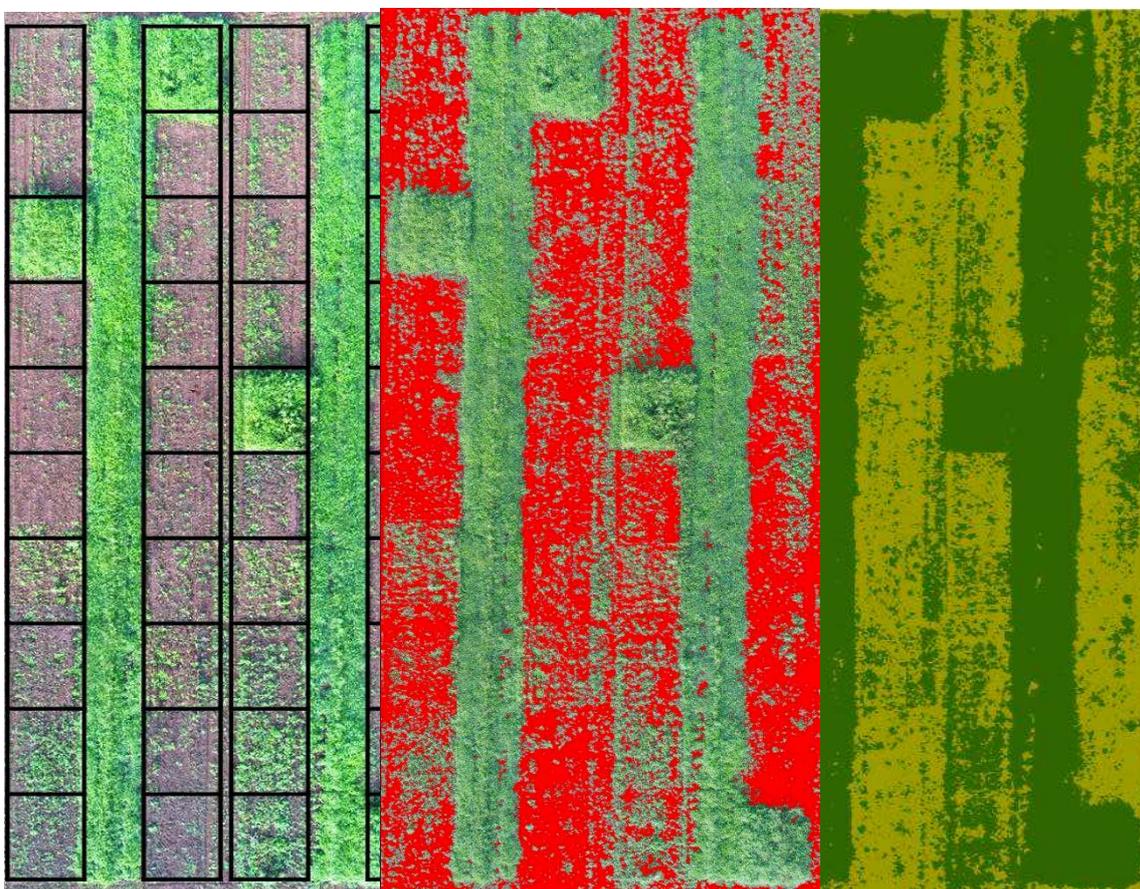


Figura 1. Imagem aérea da área experimental ($n = 40$) aos 35 dias após a aplicação de herbicida, antes (esquerda) e depois do processamento com o software ImageJ (centro) e SisCob (direita).

Na Tabela 2, apresenta-se o percentual de controle das plantas daninhas por meio da avaliação visual e por análise de imagens aéreas e as três correlações testadas. A escala de avaliação visual é um método de avaliação referência, mas que está sujeito à habilidade e treinamento do observador para que o resultado não fique sub ou superestimado.

Tabela 2. Correlação da porcentagem de controle de plantas daninhas aos 35 dias após a aplicação do glifosato, utilizando a escala visual de notas e imagens processadas pelos softwares SisCob e ImageJ entre as avaliações em diferentes áreas.

Área	Metodologia de Avaliação			Correlações					
	Visual (V)	Siscob (S)	ImageJ (I)	Pearson (r)		Spearman (ρ)		Kendall (τ)	
				V*S	V*I	V*S	V*I	V*S	V*I
I	83,8	69,0	58,8						
II	84,5	68,0	52,3						
III	81,3	71,5	51,0						
IV	82,0	70,8	50,0						
V	77,0	62,8	50,8	0,87**	0,80**	0,80**	0,67**	0,83**	0,66**
VI	66,3	52,0	29,3						
VII	81,3	77,0	63,3						
VIII	82,0	71,5	59,0						
IX	87,5	75,5	67,3						
X	0,0	0,5	0,5						
Média	72,6	61,9	48,2						

** : significativo a 0,01.

A metodologia de avaliação visual em relação à avaliação da infestação por imagens, em geral, apresentou valores superiores, sendo em média 24,3% maior. Contudo, todas as relações testadas, Pearson, Spearman e Kendall, foram significativas ($p < 0,01$) e positivas. As correlações são medidas adimensionais de associação entre duas variáveis e variam entre “-1” (relação perfeitamente inversa) e “+1” (relação perfeitamente direta), sendo “0” a ausência de correlação ou um indicativo de correlação não linear.

Para a correlação entre a metodologia de avaliação visual e as imagens processada pelo SisCob foram estimados elevados graus de ajustamento com correlações fortes, na faixa entre 0,70 e 0,89, para os três coeficientes, Pearson, Spearman Kendall, segundo a classificação proposta por Devore (2006). Já para a correlação entre a metodologia de avaliação visual e as imagens do ImageJ, foram estimados elevados graus de ajustamento com correlações fortes, entre 0,70 e 0,89, para o coeficiente de Pearson, e correlação moderada, entre 0,4 e 0,69, para os coeficientes de Spearman e Kendall.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é amplamente utilizado para expressar quanto uma associação de variáveis quantitativas pode ser descrita por uma função linear, e

foi o único coeficiente com elevado grau de ajustamento para ambos os softwares utilizados. Já os coeficientes de correlação de Spearman e Kendall são medidas de correlação não paramétrica para dados ordinais, sendo que o primeiro indica o quão a correlação pode ser descrita por uma função monotônica, e o segundo representa a probabilidade de ocorrência de pares dos dados ranqueados (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009).

Destaca-se que em todas as situações de teste de correlação fica evidente o bom ajuste da metodologia de análise de imagens com a metodologia de avaliação de infestação de plantas daninhas com escala visual. Essa metodologia tradicional necessita da presença do avaliador em cada talhão, o que o expõe mais aos riscos de campo, é trabalhosa, demorada e ainda pode ser influenciada pela experiência do avaliador e pela subjetividade natural de avaliações visuais (PÉREZ-ORTIZ et al., 2015).

Portanto, a avaliação através de imagens obtidas com ARP e processadas com os softwares SisCob ou ImageJ têm potencial para uso como alternativa à metodologia de avaliação com notas e escalas visuais. Há ainda a necessidade de se treinar ao máximo essa metodologia para calibração dos resultados e lapidação das rotinas para que se torne mais robusta, precisa e confiável.

4 CONCLUSÕES

O uso de ARPs para coleta de imagens e seu processamento digital demonstraram potencial como alternativa para a avaliação da infestação e controle de plantas daninhas, permitindo o seu mapeamento e o emprego de técnicas mais precisas de manejo agrícola.

O processamento das imagens utilizando os softwares SisCob ou ImageJ apresentaram moderada a forte correlação positiva com a avaliação visual da eficácia de controle de plantas daninhas. No entanto, há de se aprofundar os estudos na busca por valores mais próximos entre os métodos de análise no que se refere aos valores de percentual de controle.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, H. J. Reng, L.; Kirk, K. Geometric plant properties by relaxed stereo vision using simulated annealing. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v. 49, n. 2, p. 219-232, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.02.015>

ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS – ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.

BALASTREIRE, L.A.; BAIO, F.H.R. Avaliação de uma metodologia pratica para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 349-352, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000200029>

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo, SP: Thomson Pioneira, 2006. 706 p.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Recife, PE, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S. Processamento de imagens em ciência do solo: raízes, morfologia e cobertura do solo. In: MARTIN NETO, L.; VAZ, C. M. P.; CREST ANA, S. (Ed.). **Instrumentação avançada em ciência do solo**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumental, 2007. p. 341-438.

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SisCob: manual de utilização**. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, 2009. 18 p.

KENDALL, M. G. A new measure of rank correlation. **Biometrika**, Oxford, RU, v. 30, n. 1-2, p. 81-89, 1938. <https://doi.org/10.2307/2332226>

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4 ed. Londres, RU: Griffin, 1970. 51 p.

KOPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha, Alemanha: Verlag Justus Perthes, wall-map: 1,5 m x 2 m, 1928.

MORAN, M. S. New imaging sensor technologies suitable for agriculture management. *In: Remote Sensing in Agriculture* (Bryson, R. J.; Howard, W.; Riding, A. E.; Simmonds, L. P.; Steven, M. D., eds). **Aspects of Applied Biology** v. 60, p. 1-10, 2000.

PÉREZ-ORTIZ, M.; PEÑA J. M.; GUTIÉRREZ P. A.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; HERVÁS-MARTÍNEZ C.; LÓPEZ-GRANADOS F. A weed monitoring system using UAV-imagery and the hough transform. *In: Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*, 15. Sevilla, 2015. p. 7.

PEARSON, K. **The grammar of science**. Londres, RU: Walter Scott, 1892. 493 p. <https://doi.org/10.1037/12962-000>

RASBAND, W. S. ImageJ, U. S. **National Institutes of Health**. Bethesda, Maryland, USA. 2011.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S. & ELICEIRI, K. W., "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis", **Nature methods**: p. 671-675, 2012.
<https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento**. São Paulo, SP: McGraw-Hill do Brasil, p. 350, 1975.

SPEARMAN, C. General intelligence, objectively determined and measured. **American Journal of Psychology**, Londres, RU, v. 15, p. 201-293, 1904.
<https://doi.org/10.2307/1412107>

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.