

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VOLUME DE APLICAÇÃO REDUZIDO E  
CONCENTRAÇÕES DE GLYPHOSATE NA CALDA EM  
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DISTINTAS PARA  
DESSECAÇÃO DE COBERTURA VEGETAL EM  
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

**Dieimisson Paulo Almeida**  
**Engenheiro Agrônomo**

**2018**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VOLUMES DE APLICAÇÃO REDUZIDOS E  
CONCENTRAÇÕES DE GLYPHOSATE NA CALDA EM  
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DISTINTAS PARA  
DESSECAÇÃO DE COBERTURA VEGETAL EM  
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

**Dieimisson Paulo Almeida**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira**

**Coorientador: Prof. Dr. Paulo César Timossi**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de  
Jaboticabal, como parte das exigências para  
a obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Produção Vegetal)**

**2018**

A447v Almeida, Dieimisson Paulo  
Volume de aplicação reduzido e concentrações de glyphosate na calda em condições meteorológicas distintas para dessecação de cobertura vegetal em sistema de plantio direto / Dieimisson Paulo Almeida. -- Jaboticabal, 2018  
iii, 74 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018  
Orientador: Marcelo da Costa Ferreira  
Coorientador: Paulo César Timossi  
Banca examinadora: Otavio Jorge Grigoli Abi-Saab, Mariluce Pascoina Nepomuceno, Glauco de Souza Rolim, Rone Batista de Oliveira

Bibliografia

1. Plantio direto. 2. Dessecação. 3. Glyphosate 4. Condições agrometeorológicas. 5. Plantas de cobertura. 6. Volume de calda. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 632.934.1:551.5:634.3

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação - Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA TESE:** VOLUME DE APLICAÇÃO REDUZIDO E CONCENTRAÇÕES DE GLYPHOSATE NA CALDA EM CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DISTINTAS PARA DESSECAÇÃO DE COBERTURA VEGETAL EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

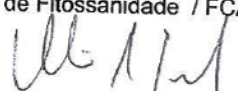
**AUTOR:** DIEIMISSON PAULO ALMEIDA

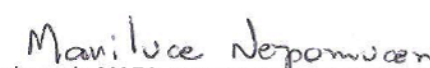
**ORIENTADOR:** MARCELO DA COSTA FERREIRA

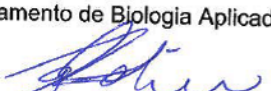
**COORIENTADOR:** PAULO CÉSAR TIMOSSI

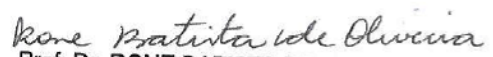
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA  
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. OTAVIO JORGE GRIGOLI ABI SAAB  
Departamento de Agronomia / UEL / Londrina/PR

  
Pós-doutoranda MARILUCE PASCOINA NEPOMUCENO  
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. GLAUCO DE SOUZA ROLIM  
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. RONE BATISTA DE OLIVEIRA  
Centro de Ciências Agrárias / Universidade Estadual do Norte do Paraná - Campus Luiz Meneghel

Jaboticabal, 26 de janeiro de 2018

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**DIEIMISSON PAULO ALMEIDA** - nasceu em 01 de agosto de 1987 na cidade de Indiara - GO. Em 2005 ingressou no Centro Federal de Educação Tecnológica de Rio Verde, GO – CEFET-RV onde em 2006 obteve o título de Técnico em Agropecuária. No ano de 2007 ingressou no curso de Agronomia na mesma instituição de ensino agora transformada em IFGoiano - Câmpus Rio Verde, no qual em 2011 recebeu o título de Engenheiro Agrônomo. Durante a graduação, participou de trabalhos envolvendo Secagem e Armazenamento de Grãos. Foi membro discente da Câmara de Pesquisa e Pós-Graduação. Em 2012 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia no Câmpus Jatobá da Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí, área de concentração em Produção Vegetal. Durante o curso de mestrado trabalhou com Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários, Seletividade de Herbicidas na Cultura do Milho, Manejo de Plantas-Daninhas e de Plantas de Cobertura com potencial para o Sistema Plantio Direto. Foi membro Discente da Comissão de Bolsas. Titulou-se Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal no ano de 2014. Neste mesmo ano, ingressou no curso de Doutorado em Agronomia / Produção Vegetal na UNESP - Câmpus de Jaboticabal manteve-se na mesma linha de pesquisa sobre Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários, onde aprofundou seus conhecimentos e continuou com trabalhos relacionados ao manejo de concentração de herbicidas na calda, volumes de aplicação, condições agrometeorológicas no momento e pós a aplicação e utilização de herbicidas associados a adjuvantes agrícolas na dessecação de plantas de cobertura para o plantio direto.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João Paulo Neto e Luzia Telésfaro de Almeida Paulo, que são especiais e fundamentais para minha dedicação na conclusão deste curso, ensinando-me a perseverar e apoiando-me nos momentos de dificuldade.

Ao meu irmão, Dionys Paulo de Almeida e família, pelo suporte e companheirismo em momentos difíceis.

A Minha Noiva Nathalia Linza Martins Souza

A Minha Família, Paulo e Almeida.

***Dedico e ofereço***

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Deus por ter concedido saúde, força e determinação para execução das atividades a durante o curso;

Aos professores Dr. Marcelo da Costa Ferreira e Dr. Paulo César Timossi, pela orientação, apoio e ajuda incondicional, pela compreensão durante a minha jornada, amizade nos momentos difíceis, pelos quais tenho inestimável consideração e respeito.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia / Produção Vegetal, pelos conhecimentos ministrados;

Pelas sugestões proferidas: Aos membros do exame de qualificação, Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim, Dr<sup>a</sup>. Mariluce Nepomuceno de Melo e Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho; aos membros da banca da defesa da tese Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, Prof. Dr. Otavio Jorge Grigoli Abi-Saab, Dr<sup>a</sup> Mariluce Pascoina Nepomuceno, Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim, Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira.

A todos que se fizeram presentes na minha jornada de Doutorado, amigos como Udenys Cabral Mendes, Vinícius Gomes Franco, Lílian Moreira Costa que sempre me ajudaram e apoiaram;

Aos amigos do Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA, Gilson José Leite; Eduardo de Souza dos Santos; Sergio Tadeu Decaro Junior, Paulo Eduardo R. Simino; Renata Thaysa da Silva Santos; Jaqueline F. Della Vechia; Ricardo Augusto Decaro; Fabiano Griesang; Cícero Antônio Mariano dos Santos por todo apoio, sugestões e pela importante colaboração nas atividades de campo e laboratório, troca de informações e, momentos de confraternização.

Laboratório de Plantas Daninhas (LPD) do Câmpus Jatobá da UFG – Regional Jataí-GO, Denio C. Gonçalves; João Elias Sebba; Eittor Lima Ferreira; Janaina; Angélica Xaxieir e por todo apoio, sugestões e pela importante colaboração nas atividades de campo e laboratório.

Aos colaboradores da Fazenda Escola da UNESP - Câmpus de Jaboticabal e do Câmpus Jatobá da UFG Regional Jataí, pelo apoio na execução das atividades de campo inerentes ao meu projeto de pesquisa;

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal representada pelo seu corpo docente, técnicos administrativos e discentes por toda contribuição na minha formação acadêmica

Aos companheiros da “*República Canekão*” representados pelo ex-morador Dr. Henrique Borges Neves Campos, ao Professor Dr. José Branco de Miranda-Filho e ao Ciro Branco de Miranda-Filho pela acolhida em Jaboticabal - SP e pelos momentos de descontração;

A todos os amigos que fiz durante o curso de Doutorado, com os quais dividi momentos de dificuldades, alegrias e diversões;

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                      | Página    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMO:</b> .....                                                                                                                                                 | ii        |
| <b>ABSTRACT:</b> .....                                                                                                                                               | iii       |
| <b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....                                                                                                                       | <b>1</b>  |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                   | 1         |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....                                                                                                                                        | 2         |
| 2.1 Formação de palhada para o Plantio Direto e dessecação de plantas de cobertura em pré-semeadura .....                                                            | 2         |
| 2.2 Tecnologia de aplicação de herbicidas .....                                                                                                                      | 3         |
| 2.2.1 Volume de Aplicação.....                                                                                                                                       | 4         |
| 2.2.2 Condições agrometeorológicas no momento e após a aplicação ....                                                                                                | 5         |
| 3. REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                                 | 7         |
| <b>CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESPECTRO DE GOTAS DE CALDAS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE GLYPHOSATE</b> .....                                   | <b>12</b> |
| RESUMO .....                                                                                                                                                         | 12        |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                   | 13        |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                                           | 14        |
| 2.1 Avaliação do tamanho das gotas e tensão superficial das caldas por pontas de pulverização.....                                                                   | 15        |
| 2.2 Determinação da tensão superficial e do ângulo de contato.....                                                                                                   | 16        |
| 2.2 Análise de dados.....                                                                                                                                            | 17        |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                                                                                                                     | 18        |
| 4. CONCLUSÃO .....                                                                                                                                                   | 25        |
| 5. REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                                 | 26        |
| <b>CAPÍTULO 3 – CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS E CONCENTRAÇÕES DE GLYPHOSATE NA DESSECAÇÃO DE <i>Urochloa ruziziensis</i> COM VOLUMES DE APLICAÇÃO REDUZIDOS</b> ..... | <b>29</b> |
| RESUMO: .....                                                                                                                                                        | 29        |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                   | 31        |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                                           | 32        |
| 2.1 Avaliações de eficácia do herbicida em ambiente semi-controlado ..                                                                                               | 34        |
| 2.2 Análise de dados.....                                                                                                                                            | 34        |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                                      | 35        |
| 4. CONCLUSÃO .....                                                                                                                                                   | 42        |
| 5. REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                                 | 42        |
| <b>CAPÍTULO 4 – MODELAGEM DE DESSECAÇÃO DE <i>Urochloa ruziziensis</i> COM VOLUME DE CALDA REDUZIDO EM FUNÇÃO DE CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS</b> .....              | <b>45</b> |
| RESUMO .....                                                                                                                                                         | 45        |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                   | 47        |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                                           | 48        |
| 2.1 Avaliações da cobertura e do depósito da aplicação em campo.....                                                                                                 | 51        |
| 2.2 Avaliações de eficácia do herbicida em campo .....                                                                                                               | 53        |
| 2.3 Análise dos dados .....                                                                                                                                          | 53        |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                                                                                                                      | 54        |
| 3.1 Eficácia do herbicida em <i>U. ruziziensis</i> em campo .....                                                                                                    | 54        |
| 3.2 Avaliações da eficiência da aplicação em campo .....                                                                                                             | 55        |
| 3.2.1 Análises de variância e teste de médias.....                                                                                                                   | 55        |
| 3.2.2 Análises de regressão simples .....                                                                                                                            | 61        |
| 3.2.3 Análises de regressão e classificação por árvore .....                                                                                                         | 64        |
| 4. CONCLUSÃO .....                                                                                                                                                   | 71        |
| 5. REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                                 | 72        |

**VOLUMES DE APLICAÇÃO REDUZIDOS E CONCENTRAÇÕES DE  
GLYPHOSATE NA CALDA EM CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS  
DISTINTAS PARA DESSECAÇÃO DE COBERTURA VEGETAL EM  
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

**RESUMO:** Na dessecação da cobertura vegetal pode ocorrer deposição insuficiente ou irregular de herbicidas aplicados via pulverização. Visando melhorar depósitos do herbicida sobre as plantas é importante conhecer os fatores que possam interferir neste processo. Objetivou-se com a pesquisa avaliar em campo e em casa de vegetação a eficiência de volumes de aplicação reduzidos e concentrações glyphosate em função de condições agrometeorológicas distintas ao longo do dia na dessecação de *Urochloa ruziziensis*. Assim, realizou-se três experimentos. No primeiro foi avaliado em laboratório o espectro de gotas, tensão superficial de caldas e o ângulo de contato de gotas com três superfícies. O segundo experimento em ambiente controlado foi avaliado a influência de dois volumes de aplicação associado à cinco concentrações de glyphosate na calda em duas condições agrometeorológicas distintas no controle de *U. ruziziensis*. No terceiro foram avaliados dois volumes de aplicação e duas concentrações de glyphosate na calda em seis condições agrometeorológicas distintas e sua influência na densidade de gotas, cobertura por gotas, deposição da calda nas plantas e no solo e no controle da *U. ruziziensis* em condição de campo. As concentrações de glyphosate na calda influenciam nas características físico-químicas das caldas. E também em cada uma das duas condições agrometeorológicas nas condições semi-controladas, afetando no controle satisfatório de *U. ruziziensis*. O agrupamento dos componentes principais propicia maior compreensão das interações entre variáveis independentes com a eficiência da aplicação e eficácia de controle. A regressão em árvore de decisão (CRT) foi robusta para a avaliação da eficiência da aplicação em função das variáveis agrometeorológicas.

**Palavras-chave:** Tecnologia de produtos fitossanitários, Condições agrometeorológicas, Plantas de cobertura, Volume de calda

**REDUCED APPLICATION VOLUMES AND GLYPHOSATE  
CONCENTRATIONS AT CALDA IN DIFFERENT METEOROLOGICAL  
CONDITIONS FOR VESSEL COVERAGE DESSECTIONS IN DIRECT  
STORAGE SYSTEM**

**ABSTRACT:** In the desiccation of vegetation cover, there may be insufficient or irregular deposition of sprayed herbicides. To improve herbicide deposits on plants it is important to know the factors that may interfere in this process. The objective of this research was to evaluate the efficiency of reduced application volumes and glyphosate concentrations in the field and in the greenhouse due to different agrometeorological conditions during the day in the desiccation of *Urochloa ruziziensis*. Thus, three experiments were performed. In the first one was evaluated in laboratory the spectrum of drops, surface tension of syrups and the angle of contact of drops with three surfaces. The second experiment in controlled environment was evaluated the influence of two application volumes associated with five concentrations of glyphosate in the syrup in two different agrometeorological conditions in the control of *U. ruziziensis*. In the third, two volumes of application and two concentrations of glyphosate in the syrup were evaluated in six different agrometeorological conditions and their influence on droplet density, droplet coverage, deposition of the syrup on the plants and on the soil and on the control of *U. ruziziensis* in condition of field. The concentrations of glyphosate in the syrup influence the physicochemical characteristics of the syrup. And in each of the two agrometeorological conditions under semi-controlled conditions, affecting in the satisfactory control of *U. ruziziensis*. The grouping of the main components provides a better understanding of the interactions between independent variables with application efficiency and control effectiveness. Decision Tree Regression (CRT) was robust for the evaluation of the efficiency of the application in function of the agrometeorological variables.

**Keywords:** Phytosanitary products technology, Agrometeorological conditions, Cover plants, Volume of syrup

## **CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **1. INTRODUÇÃO**

A adoção de plantio direto de culturas agrícolas anuais aumenta a cada ano. De acordo com a FAO (2015) no mundo têm-se 156,991 milhões de hectares semeados direto na palha, a estatística atual no Brasil FEBRAPD (2018) em 2012 as regiões produtoras de grãos já possuía 31,8 milhões de hectares cultivados sob Plantio Direto (PD). Este sistema preconiza o cultivo mínimo do solo associado à formação de palhada por plantas de cobertura. Assim, antes da implantação e estabelecimento da cultura subsequente são necessárias aplicações de herbicidas para dessecação de cobertura vegetal cultivada.

No cultivo sob o plantio direto as aplicações de produtos fitossanitários são necessárias desde a pré-semeadura da cultura a ser implantada. Portanto, dentre os investimentos nos segmentos do setor agrícola, a tecnologia de aplicação é uma das áreas que deve ser priorizada, pois além do oneroso investimento realizado na aquisição de herbicidas (SINDIVEG 2018), há falhas no uso destes produtos que podem ocasionar insucesso na dessecação, desperdício de recursos e contaminações ambientais.

Em pulverizações de herbicidas a água é o veículo mais utilizado para levar e distribuir o produto sobre as plantas. O volume de aplicação em interação com as condições agrometeorológicas e a concentração de produtos diluídos na calda podem influenciar na qualidade de distribuição, deposição e consequentemente na eficácia dos produtos.

Pesquisadores da área de fitossanidade têm realizado trabalhos no intuito de verificar a possibilidade da redução do volume de aplicação em pulverizações agrícolas com as diferentes classes de produtos fitossanitários como herbicidas (FERREIRA; MACHADO-NETO; MATUO, 1998; BRACAMONTE et al., 1999; GARCIA et al., 2004; RODRIGUES et al., 2011; ALMEIDA et al. 2013; TIMOSSI et al., 2013; BUENO et al., 2013, ALMEIDA 2014, ALMEIDA et al. 2014, ALMEIDA et al. 2015, ALMEIDA et al. 2016), inseticidas (BONADIMAN, 2008; MAZIERO et al., 2009; PEREIRA et al., 2012) e fungicidas (MENEHETTI 2006; OLIVEIRA, et al., 2007, CUNHA; SILVA JÚNIOR, 2010).

Contudo, a busca de novas tecnologias e opções de atividades para melhorar os sistemas agrícolas de produção é um dos objetivos contínuos do setor. Portanto, torna-se necessário evidenciar a eficiência do uso de volume de

calda reduzido associado a diferentes concentrações de glyphosate sob a influência das variações agrometeorológicas ao longo do dia. Assim, ao viabilizar uma técnica de aplicação de herbicidas em pré-semeadura, consequentemente minimiza-se custos de produção e potencial de risco da contaminação do meio ambiente.

Com o presente trabalho objetivou-se avaliar em campo e em condições semicontroladas a eficiência da pulverização com volumes de aplicação reduzidos e concentrações de glyphosate na calda em condições agrometeorológicas distintas na dessecação de cobertura vegetal em sistema de plantio direto. Objetivou-se também verificar a influência de diferentes concentrações de glyphosate no espectro de gotas (potencial de risco de deriva) e nas características físico-químicas como tensão superficial e ângulo de contato.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Formação de palhada para o Plantio Direto e dessecação de plantas de cobertura em pré-semeadura**

Dentre as diversas plantas promissoras para cobertura de solo, ou seja, para formação de palhada para o estabelecimento do Sistema Plantio Direto em clima tropical, destacam-se às plantas da família Poaceae, a exemplo as braquiárias (*Uroclhoa ruzizensis* e *Uroclhoa decumbens*). Timossi et al. (2007) destacaram a sua excelente adaptação a solos de baixa fertilidade, fácil estabelecimento e considerável produção de biomassa durante o ano, proporcionando excelente cobertura vegetal do solo. Machado e Assis (2010) também ressaltam o alto rendimento das forrageiras *U. ruzizensis* e *U. decumbens* na produção de fitomassa, por manterem-se em crescimento durante toda a estação seca. Ainda, a *U. ruzizensis* suprime plantas-daninhas, cicla nutrientes, fixa carbono no solo, entre outros benefícios (PACHECO et al., 2013; LIMA et al., 2014a; LIMA et al., 2014b)

A dessecação eficiente das coberturas de vegetais é importante para permitir o bom estabelecimento e desenvolvimento da cultura sucessora. Ainda, é necessário aliar o rendimento operacional no campo para maximizar o uso de áreas e diminuir custos com mecanização ou de irrigação, concentrando o trabalho nos meses em que há precipitações pluviométricas.

Na dessecação, o glyphosate tem sido o herbicida mais utilizado, isolado ou em associação com outros herbicidas de translocação restrita em plantas (ALMEIDA et al., 2015). Tal herbicida pertence ao mecanismo de ação dos inibidores da síntese de aminoácidos, o qual é sistêmico e não seletivo, representando 60% do mercado mundial de herbicidas não seletivos (NUNES et al., 2010). Este ingrediente ativo está em primeiro lugar na comercialização no Brasil, representa 57,51% da comercialização da classe dos herbicidas e 77% dos em relação aos quatro mais vendidos no país (IBAMA 2018).

Devido à necessidade do uso de herbicidas para o manejo da cobertura vegetal e visando à adoção de uma agricultura mais sustentável, torna-se necessário implantar espécies de plantas de cobertura que realize uma boa cobertura do solo, mantenha uma uniformidade do dossel que contribua para uma melhor eficiência da aplicação e seja mais suscetível às moléculas herbicidas. Neste sentido, autores destacam a sensibilidade da *Urochloa ruziziensis* ao glyphosate, com morte rápida, além de favorecer as operações de dessecação e semeadura mecanizada (FUCHS et al., 2012; SILVA, 2013; CECCON, G.; CONCENÇO, 2014; TIMOSSI et al., 2016), mesmo com diferentes níveis de biomassa/fase de desenvolvimento (TIMOSSI et al., 2016).

## **2.2 Tecnologia de aplicação de herbicidas**

O termo Tecnologia consiste na aplicação dos conhecimentos científicos a um determinado processo produtivo. Assim, Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários é o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionem a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 1990).

Têm-se observado em campo inúmeras falhas nas operações de pulverização agrícolas, as quais podem estar relacionadas a erros na aplicação dos produtos fitossanitários (GANDOLFO et al., 2013). A calda pulverizada pode não estar atingindo as plantas de forma adequada, com uma boa deposição das gotas (RODRIGUES-COSTA et al., 2011).

A tecnologia de aplicação é a ferramenta a ser utilizada no planejamento e realização da dessecação, visando depositar no alvo os produtos para o controle de plantas daninhas. Portanto, no intuito de reduzir perdas na eficiência de

herbicidas, pode-se recomendar o volume de aplicação e a classe de gotas considerando a organografia e sistemática das plantas, a mobilidade dos produtos na planta e as condições agrometeorológicas no momento da aplicação (ALMEIDA et al. 2015). Aspectos ligados às características físico-química das caldas, como a tensão superficial e viscosidade, poderão influenciar desde o espectro de gotas até a interação física da gota com a superfície em que é depositada.

Há algumas formas de avaliar a eficiência da técnica de aplicação empregada algumas consideradas um tanto quanto qualitativas, como a densidades de gotas (gotas  $\text{cm}^{-2}$ ) e a cobertura por gotas (%), por meio de papéis hidrossensíveis (Spraying Systems Co) (ALMEIDA et al., 2016). Outras como o depósito de caldas em plantas, que pode ser representado em porcentagem, pela relação entre o volume calda de aplicado e o que efetivamente depositou-se do volume de calda nos alvos biológicos ou artificiais, esta normalmente usa-se marcadores metálicos ou corantes (PALLADINI, 2000; MARCHI et al., 2005; ALMEIDA et al., 2016). Salienta-se, é interessante confrontar os resultados da eficiência da técnica de aplicação com eficácia de controle do alvo biológico (ALMEIDA et al., 2016).

### **2. 2.1 Volume de Aplicação**

O volume de aplicação consiste no volume de calda pulverizada, por área ou por planta, dependendo do tipo de trabalho executado (MATUO 1990, SHIRATSUCHI; FONTES, 2002).

O volume de calda é fundamental para o sucesso da aplicação, sendo que o volume a ser aplicado depende do tipo de alvo a ser atingido, da forma de ação do produto e da técnica de aplicação, além de ser ajustado às características da cultura como a arquitetura da planta a ser pulverizada. Como exemplo, cultivares de uma determinada espécie com maior índice de área foliar requer maior volume de calda, quando comparadas com cultivares de menor enfolhamento. Isso também é válido para aplicações nos diferentes estádios de desenvolvimento, quando as plantas apresentam consideráveis diferenças no seu índice de área foliar (MATUO 1990; HOFFMANN; BOLLER, 2004; RODRIGUES-COSTA et al., 2011).

Atualmente em pulverizações agrícolas terrestres no Brasil têm-se reduzido o volume de aplicação, a fim de aumentar a capacidade de campo operacional e

reduzir os custos de produção. Normalmente em pulverizações com a redução do volume de aplicação reduz-se o tamanho das gotas para finas ou muito finas, visando manter boa cobertura do alvo. Contudo, o uso destas classes de gotas aumenta o potencial de perdas, principalmente por deriva ou evaporação (BONADIMAN, 2008; MIRANDA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2012) podendo não depositar a quantidade de ingrediente ativo em concentração suficiente no alvo, necessária para o controle eficaz.

Pesquisas recentes têm demonstrado que é possível a redução do volume de aplicação com o herbicida glyphosate para o controle de diferentes coberturas vegetais (ALMEIDA et al., 2013; TIMOSSI et al., 2013; BUENO et al., 2013, ALMEIDA et al., 2015). Há evidências que ao aumentar a concentração do produto na calda em consequência da redução do volume de aplicação há uma correlação positiva com incrementos no controle de algumas das coberturas vegetais estudadas (ALMEIDA et al., 2013; TIMOSSI et al., 2013; ALMEIDA et al., 2015). Entretanto, ainda são desconhecidas as interações físico-químicas e bioquímicas com coberturas vegetais ao aplicar volumes de calda reduzidos em diferentes concentrações do herbicida em condições agrometeorológicas distintas.

### **2.2.2 Condições agrometeorológicas no momento e após a aplicação**

Além do volume de aplicação, outro parâmetro fundamental para o sucesso do tratamento é a adequação da tecnologia de aplicação às condições agrometeorológicas no momento da aplicação. De maneira geral, as condições limites para uma pulverização são umidade relativa mínima de 55%; velocidade do vento de 3 a 10 km h<sup>-1</sup>; temperatura abaixo de 30° C (ANDEF, 2004; FERREIRA, 2009; MINGUELA; CUNHA, 2010). Entretanto, em determinadas regiões tropicais de condições agrometeorológicas muitas vezes ocorrem acima de tais limites durante o ano todo, o que poderia inviabilizar o tratamento fitossanitário via pulverização, isto caso não houvesse ajustes no processo de aplicação.

A tecnologia de aplicação pode atuar no desenvolvimento de processos, equipamentos, acessórios e adjuvantes capazes de oferecer certo grau de resistência às intempéries ambientais, com o objetivo de superar as limitações sem se submeter a maiores perdas (FERREIRA, 2009; AZEVEDO, 2011). Entretanto, ao lançar mão das estratégias é necessário considerar as interações

bioquímicas entre o alvo e o produto no momento da aplicação, uma vez que este pode a molécula pode ter sua ação comprometida em determinadas condições agrometeorológicas (FERREIRA, 2009).

Nascimento et al. (2012), ao realizarem aplicações com glyphosate em condições agrometeorológicas distintas, constataram deposições significativamente menores ao aplicar com gotas finas em condição agrometeorológica limitante, em relação a condições ideais para a aplicação, já para as gotas grossas não se observou diferença significativa entre as duas condições. Já, quando aplicada calda adicionada do adjuvante 'antideriva+cobre', as gotas finas depositaram mais no período da tarde, em comparação ao horário da manhã. Assim fica evidente que o uso de adjuvantes agrícolas pode interferir no depósito de produtos nos alvos sob condições agrometeorológicas distintas, entretanto, em estudos encontrados na literatura e interação da molécula herbicida e o alvo biológico (absorção, translocação e eficácia de controle) não são evidenciadas.

Almeida (2014) ao analisar a qualidade de aplicação de glyphosate na dose de 1,3 kg de equivalente ácido por hectare constatou que, a cobertura por gotas podem ser influenciadas pelos volumes de aplicação em condições agrometeorológicas distintas (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e irradiância), portanto, podendo ocasionar interferência na deposição do herbicida em coberturas com diferentes estratos vegetais. Portanto, exercem influência na eficácia herbicida do glyphosate em *Digitária horizontalis* e rebrote de sorgo granífero.

Em aplicações na ausência de irradiância poderá ocorrer formação de orvalho, causa da alta quantidade vapor d'água no ambiente associado a temperaturas amenas. Nestas condições Roman et al. (2004), constataram que o orvalho reduziu a eficácia do glyphosate no controle de *Urochloa plantaginea*, principalmente quando aplicado na menor dose e combinado com maior volume de calda. O volume de aplicação reduzido resultou em melhor controle da espécie, especialmente quando o herbicida foi usado na menor dose, 90 g equivalente ácido ha<sup>-1</sup> (ROMAN et al., 2004). Entretanto é importante salientar que em aplicações noturnas em área que solo esteja sem déficit hídrico poderá proporcionar pressão positiva de raiz e assim resultar o maior molhamento das

folhas (gutação), o qual pode elevar a quantidade de água maior que a capacidade de retenção da superfície das folhas.

Em situações em que ocorrem precipitações pluviométricas após aplicações podem causar escorrimento “run off” dos produtos. No entanto, algumas formulações (ativo + inertes) de herbicidas, de inseticidas e/ou de fungicidas proporcionam maior velocidade de absorção (taxa de absorção), possibilita que a molécula continue sua atividade, mesmo seguida de chuva após a aplicação (AZEVEDO, 2011; FERREIRA et al., 2013). Ainda, há formulações denominadas “*inteligentes*” que em períodos curto de tempo possuem a capacidade de penetrar e reter-se na camada de cera epicuticular da (s) folha (s) da planta (FERREIRA et al., 2013). No caso de algumas formulações de herbicidas aplicados em pré-emergência, chuvas posteriores à aplicação podem beneficiar ou até mesmo serem requeridas para que a molécula manifeste sua atividade herbicida. Como exemplo, pode-se citar a atrazine (MINGUELA; CUNHA, 2010).

### 3. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. P., TIMOSSI, P. C., LIMA, S. F.; SILVA, U. R. Redução do volume de aplicação na dessecação de *Urochloa ruziziensis*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 6, 2013. **Resumos...** Londrina, 2013. p 1- 4.
- ALMEIDA, D. P. **Tecnologia de aplicação de herbicidas na dessecação de coberturas vegetais**. 2014 52f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Goiás, Câmpus Jataí, Jataí-GO.
- ALMEIDA, D. P.; TIMOSSI, P.C.; LIMA, S.F.; SILVA, U.R.; REIS, E.F. Condições atmosféricas e volumes de aplicação na dessecação de *Urochloa ruziziensis* e vegetação espontânea. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 3, p. 245-251, 2014.
- ALMEIDA, D. P. TIMOSSI, P.C.; LIMA, S.F.; SILVA, U.R.; REIS, E.F. Droplets size categories and application volumes in burndown of plant covers. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, n. 1, p. 73-82, 2015.
- ALMEIDA, D.P.; AGOSTINI, A.R.; YAMAUCHI, A.K.; DECARO JÚNIOR, S.T.; Ferreira, M.C. Application volumes and sizes of droplets for the application of diquat herbicide in the control of *Eichhornia crassipes*. **Planta Daninha**, v. 34, n. 1, p. 171-179, 2016.
- ANDEF. Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. Campinas, 1ª ed. 2004. p.49.

AZEVEDO, L. A. S. **Adjuvantes agrícolas para a proteção de plantas**. 1<sup>a</sup>. ed. 2011. p. 236.

BONADIMAN, R. **Pontas de pulverização e volumes de calda no controle de *Anticarsia gemmatilis* Hübner, 1818 e *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) na cultura da soja *Glycine max***. 2008 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BRACAMONTE, E. R.; LOECK, A. E.; PINTO, J. J. O. Eficiência do herbicida sethoxydim em função do volume de calda no controle de papuã (*Brachiaria plantaginea* (Link.) Hitch.) na cultura da soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.5, n. 1, 60-63, 1999.

BUENO, M.R.; ALVES, G.S.; PAULA, A.D.M.; CUNHA, J.P.A.R. Volumes de calda e adjuvante no controle de plantas daninhas com glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 705-713, 2013.

CECCON, G.; CONCENÇO, G. Produtividade de massa e dessecação de forrageiras perenes para integração lavoura-pecuária. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 319-326, 2014.

CIESLIK, L.F.; VIDAL, R.A.; TREZZI, M.M. Fomesafen toxicity to bean plants as a function of the time of application and herbicide dose. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.36, n.3, p.329-334, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v36i3.17630>

COSTA, D. I. **Eficiência e qualidade das aplicações de fungicidas, por vias terrestre e aérea, no controle de doenças foliares e no rendimento de grãos de soja e milho**. 2009 126f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade de Passo Fundo.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA JÚNIOR, A. D. Volumes de calda e pontas de pulverização no controle químico de *Spodoptera frugiperda* na cultura do sorgo forrageiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.692-699, 2010.

FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <<http://www.febapdp.org.br>> Acesso em: 25 de fev. 2018.

FAO -Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Agricultura de conservação no mundo**. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>> Acesso em: 25 fev. 2018.

FERREIRA, M. C.; MACHADO-NETO, J. G.; MATUO, T. Redução da dose e do volume de calda nas aplicações noturnas de herbicidas em pós-emergência na cultura de soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 16, n. 1, 1998.

FERREIRA, M. C. **Considerações sobre a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. Londrina-PR: SBPCD, 2009. Disponível em: <[http://sbcpd.org/porta/images/stories/downloads/2simposio/tecnologia\\_da\\_aplicacao\\_de\\_herbicidas.pdf](http://sbcpd.org/porta/images/stories/downloads/2simposio/tecnologia_da_aplicacao_de_herbicidas.pdf)>. Acesso em: 25 de fev. 2018.

FERREIRA, M.C.; LASMAR, O.; DECARO JUNIOR, S. T.; NEVES, S. S.; AZEVEDO L. H. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. **Biosciense Journal**, Uberlândia, v. 29, Supplement 1, p. 1431-1440, 2013.

FUCHS, F.; COSTA, N.V.; PERES, E. J. L.; RITTER, L.; SILVA, P. V. Doses de glyphosate no manejo de dessecação da *Urochloa ruziziensis* antecedendo o plantio do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28, 2012. **Resumos...** Campo Grande 2012, p. 667-671.

GARCIA, L. C.; RAETANO, C. G.; JUSTINO, A.; CLÁUDIO, P. Dessecação da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) com herbicida de contato, em presença ou não de assistência de ar junto à barra do pulverizador, em diferentes volumes de calda cláudio puríssimo. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.3, p.758-763. 2004.

GANDOLFO, M. A.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, U. D.; MORAES, E. D.; RODRIGUES, E. B.; ADEGAS, F. S. Periodic inspection of sprayers : Diagnostic to the northern of Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 411–421, 2013.

HOFFMANN, L. L.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação de fungicidas em soja. Coodetec, Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. Cascavel: Bayer CropScience, p. 46-60, 2004.

IBAMA. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#historicodecomercializacao>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

LIMA, S.F.; TIMOSSI, P.C.; ALMEIDA, D.P.; SILVA, U.R. Fitossociologia de plantas daninhas em convivência com plantas de cobertura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 37-47, 2014a.

LIMA, S.F.; TIMOSSI, P.C.; ALMEIDA, D. P.; SILVA, U. R. Palhada de braquiária *ruziziensis* na supressão de plantas daninhas na cultura da soja. **Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 26, p. 541-551, 2014b.

MAZIERO, H.; JERSON GUEDES, V. C. J. R. F.; RODRIGUES, R. B.; DALAZEN, G.; DAL PRÁI, E. Volume de calda e inseticidas no controle de *Piezodorus guildinii* (Westwood) na cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.5, p. 1307-1312, 2009.

MACHADO, L. A.; Z.; ASSIS P. G. G. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.4, p.415-422, 2010.

MARCHI, S. R.; MARTINS, D.; COSTA, N.V. TERRA, M.A.; NEGRISOLI, E. Degradação luminosa e retenção foliar dos corantes azul brilhante FDC-1 e amarelo tartrasina FDC-5 utilizados como traçadores em pulverizações. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 287–294, 2005.

MATUO, T. **Fundamentos da tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. Jaboticabal, Funep, 1990, 139p.

MENEGHETTI, R. C. **Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura do trigo**. 2006. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa, 2010. p. 588.

MIRANDA, J. E; MARUYAMA, L. C. T.; FERNANDES, M. G.; TIMOSSI, P. C.; FERREIRA, M. C. **Deriva de produtos fitossanitários na cultura do algodão**:

**causas e prevenção.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. Embrapa Algodão. Documentos, 237, 32 p.

NASCIMENTO, B. A.; de OLIVEIRA, G. M.; BALAN, M. G.; HIGASHIBARA, L. R.; ABI-SAAB, O. J. G. Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.5, n.2, p. 105-116, 2012.

NUNES, A.S., TIMOSSI, P.C., PAVANI, M.C.M.D. ; ALVES, P.L. C. A Formação de cobertura vegetal e manejo de plantas daninhas na cultura da soja em sistema plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 727-733, 2010.

OLIVEIRA, A. R.; BOLLER, W.; FORCELINI, C. A.; BLUM, R.; LOPES, A. Fungicidas, doses e volumes de calda no controle químico da ferrugem da folha da aveia (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. numero especial, p. 48–55, 2007.

PACHECO, L.P.; MADARI, B.E.; BARBOSA, J.M.; LEANDRO, W.M.; Machado, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; PETTER, F.A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n.9, p. 1228-1236, 2013.

PALLADINI, L. A. Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 111 f. 2000.

RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; MARTINS, D.; COSTA, N. V.; PEREIRA, M. R. R.; SILVA, J. I. C. Desempenho de pontas de pulverização na deposição de gotas de pulverização na cultura do amendoim. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1745-1758, 2011.

RODRIGUES, E. B.; ABI SAAB, O. J. G.; GANDOLFO, M. A. Cana-de-açúcar: Avaliação da taxa de aplicação e deposição do herbicida glifosato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.1, p.90–95, 2011.

ROMAN, E.S.; VARGAS, L.; RIBEIRO, M.C.F.; LUIZ, A.R.M. Influência do orvalho e volume de calda de aplicação na eficácia do glyphosate na dessecação de *Brachiaria plantaginea*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 479-482, 2004.

SHIRATSUCHI, L. S.; FONTES, J. R. A. **Tecnologia de aplicação de herbicidas.** Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2002. 30 p.

SILVA, U.A.; TIMOSSI, P.C.; ALMEIDA, D.P.; LIMA, S. F. Eficácia do glyphosate na dessecação de espécies de *Urochloa*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p. 202-209, 2013.

SINDIVEG. Sindicato Nacional das Indústrias de Produtos para Defesa Vegetal. **Balanco final de 2016.** 2016. Disponível em: <<http://sindiveg.org.br/wp-content/uploads/2017/06/Release-03abr2017-FINAL.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; SILVA, U. R; LIMA, S. F. Redução do volume de calda na dessecação de vegetação espontânea para plantio direto. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 6, 2013. **Resumos...** Londrina, 2013. p 1- 4.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.617-622, 2007.

## **CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESPECTRO DE GOTAS DE CALDAS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE GLYPHOSATE**

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar o efeito das concentrações de glyphosate sobre a tensão superficial e ângulo de contato das gotas nas superfícies de folhas de *Urochloa ruziziensis*, parafilme e vidro e no potencial de deriva das gotas pulverizadas (espectro de gotas). Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizados. Para as determinações das variáveis, diâmetro mediano volumétrico (DMV), porcentagem do volume de gotas menores que 100 micrometros (% volume de gotas <100  $\mu\text{m}$ ), coeficiente de uniformidade (Coef. Unif.), tensão superficial e ângulo de contato das caldas, foram adotados cinco concentrações de glyphosate nas caldas, com 12 repetições. Para avaliar o ângulo de contato de gotas foi adotado esquema fatorial 5 x 3 (concentrações de glyphosate na calda x superfícies), com 4 repetições. As cinco concentrações de glyphosate foram 2,438; 4,875, 9,75; 19,5; e 39 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  e as superfícies foram, lamínulas de vidro, parafilme e a superfície foliar de *U. ruziziensis*. Em relação à correlação (Pearson), o coeficiente foi negativo entre o DMV a % volume de gotas <100  $\mu\text{m}$  e o Coef. Unif. de -0,99 e -0,99, respectivamente, com níveis de significância menor que 1% pelo teste de t. Houve correlação positiva entre a tensão superficial e ângulo de contato de gotas de 0,46, 0,83 e 0,87, nas superfícies de folhas de *U. ruziziensis*, parafilme e vidro, respectivamente. As concentrações de glyphosate na calda influenciam no espectro de gotas (DMV, % volume de gotas < 100  $\mu\text{m}$ ), na tensão superficial e no ângulo de contato das gotas com as superfícies foliares de *U. ruziziensis*, parafilme e vidro. De forma que, com o aumento das concentrações de glyphosate há incremento do potencial de risco de deriva das gotas e redução da tensão superficial e o ângulo de contato das gotas com as superfícies.

**Palavras-chave:** tensão superficial, ângulo de contato, VDM, *U. ruziziensis*.

## CHAPTER 2 - CHEMICAL CHARACTERISTICS AND SPECTRUM OF SPRAY LIQUIDS WITH DIFFERENT GLYPHOSATE CONCENTRATIONS

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the effect of glyphosate concentrations on the surface tension and contact angle of the droplets on the leaf surfaces of *Urochloa ruziziensis*, parafilm and glass, and on the spray drift potential. The experiments were conducted in a completely randomized design. For the determinations of the variables, volumetric median diameter (DMV), percentage of droplet volume less than 100 micrometers (% volume of droplets <100  $\mu\text{m}$ ), uniformity coefficient (Unif. Coef.), Surface tension and contact angle, five concentrations of glyphosate in the syrup were adopted, with 12 replicates. To evaluate the drop contact angle, a 5 x 3 factorial scheme (concentrations of glyphosate in syrup x surfaces) was adopted, with 4 replicates. The five concentrations of glyphosate were 2.438; 4,875, 9.75; 19.5; and 39 g. a.e.  $\text{L}^{-1}$  and the surfaces were glass coverslips, parafilm and the foliar surface of *U. ruziziensis*. Regarding the correlation (Pearson), the coefficient was negative between DMV at % volume of drops <100  $\mu\text{m}$  and Coef. Unif. of -0.99 and -0.99, respectively, with levels of significance lower than 1% by the t test. There was a positive correlation between the surface tension and the contact angle of drops of 0.46, 0.83 and 0.87, on the surfaces of leaves of *U. ruziziensis*, parafilm and glass, respectively. The concentrations of glyphosate in the syrup influence the droplet spectrum (DMV, % droplets <100  $\mu\text{m}$ ), surface tension and droplet contact angle with the leaf surfaces of *U. ruziziensis*, parafilm and glass. Thus, with the increase of glyphosate concentrations, there is an increase in the risk of droplet drift and reduction of the surface tension and the contact angle of the droplets with the surfaces.

**Keywords:** surface tension, contact angle, VDM, *U. ruziziensis*.

### 1. INTRODUÇÃO

Na dessecação, o glyphosate tem sido o herbicida mais utilizado, isolado ou em associação com outros herbicidas de translocação restrita em plantas (ALMEIDA et al., 2015). Tal herbicida pertence ao mecanismo de ação dos inibidores da síntese de aminoácidos, o qual é sistêmico e não seletivo,

representando 60% do mercado mundial de herbicidas não seletivos (NUNES et al., 2010). Segundo dados do IBAMA (2016), este ingrediente ativo está em primeiro lugar na comercialização no Brasil, 77% da comercialização dos quatro herbicidas mais vendidos.

Para otimizar o processo de aplicação do herbicida, cada vez mais tem sido usado caldas com maior concentração do herbicida, no entanto, o aumento da concentração pode influenciar na qualidade de distribuição, deposição e consequentemente na intoxicação das plantas (ALMEIDA et al., 2014).

Para avaliar a eficiência das aplicações é necessário considerar as características físicas-químicas das caldas, pois estas podem interferir no espectro de gotas geradas, no depósito, na absorção e penetração das gotas sobre a superfície foliar. As principais propriedades que são avaliadas para os herbicidas são: pH, condutividade elétrica, viscosidade, tensão superficial e ângulo de contato, visto que irão influenciar na interação da calda com a superfície do alvo (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017).

A tensão superficial é resultante quando a interação intermolecular das moléculas interface líquido-ar é menor que as do interior do líquido. Portanto, quando a tensão superficial é menor, maior será a capacidade do líquido se espalhar, visto que, o ângulo de contato dependerá das características dessa superfície. Numa planta a molhabilidade de suas folhas depende dos constituintes de sua epiderme (KISSMANN, 1998; BEHRING et al., 2004).

Assim, as características de redução do ângulo de contato sobre uma superfície é dependente das características anatômicas do alvo (IOST; RAETANO, 2010). Uma vez que, a estrutura foliar, que podem estar relacionadas com a penetração diferencial de produtos aplicados sobre as folhas das plantas (MARQUES; RODELLA; MARTINS, 2012).

Diante disso, o objetivo foi avaliar o efeito das concentrações de glyphosate na calda, no espectro de gotas, na tensão superficial e no ângulo de contato das gotas com as superfícies foliar de *U. ruziziensis*, parafilme e vidro.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram conduzidos nos anos de 2015 e 2016. As pesquisas foram realizadas no Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA do Departamento de Fitossanidade, da

Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

Em laboratório, os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente ao acaso. Para as avaliações de tamanho de gotas e tensão superficial das caldas foram adotados cinco tratamentos, concentrações de glyphosate na calda, com 12 repetições. Para avaliar o ângulo contato de gotas foi adotado esquema fatorial 5 x 3 (concentrações de glyphosate na calda x superfícies), com 4 repetições. As cinco concentrações de glyphosate (Roundup Ultra®, 650 g e.a. kg<sup>-1</sup>, WG, Monsanto) constaram de 2,438; 4,875; 9,75; 19,5; e 39 g de e.a. L<sup>-1</sup> calda e as superfícies foram duas superfícies artificial (lamínulas de vidro e parafilme) e a superfície foliar de *U. ruziziensis*.

### **2.1 Avaliação do tamanho das gotas e tensão superficial das caldas por pontas de pulverização.**

Os atributos de risco potencial de deriva analisados das gotas produzidas pelas pontas de pulverização nos tratamentos, muitas das vezes denominado de espectro de gotas, foram o diâmetro mediano volumétrico (Dv0,5 Diâmetro de 50% do volume acumulado), diâmetro da gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado seja constituído de gotas de tamanho maior ou menor que este valor, o coeficiente de uniformidade das gotas pulverizadas e a porcentagem de volume em gotas com diâmetros menores que 100 µm.

O coeficiente de uniformidade (Coef.) foi determinado pela equação 1:

$$\text{Coef.} = \frac{Dv\ 0,9 - Dv\ 0,1}{Dv\ 0,5} \quad (1)$$

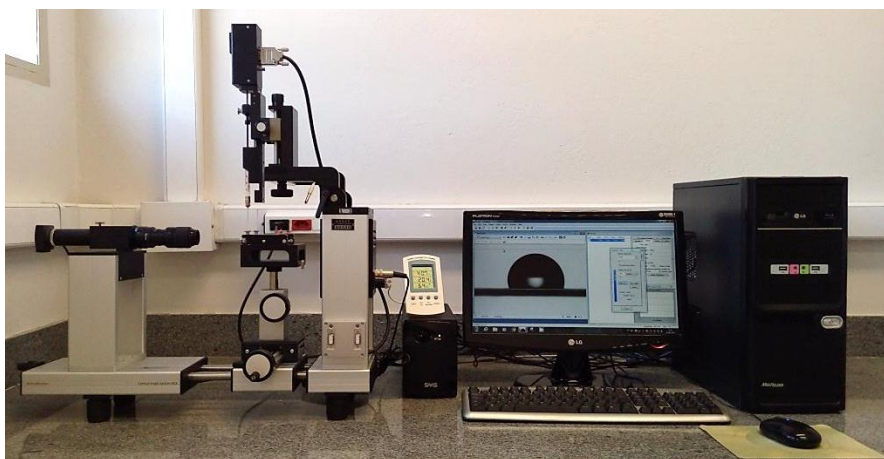
Em que, DV0,1= diâmetro de gota tal que 10% do volume pulverizado é composto por gotas de diâmetro menor a ele; DV0,9 = diâmetro de gota tal que 90% do volume aspergido é composto por gotas de diâmetro menor a ele.

O diâmetro das gotas foi determinado por difração de raios laser durante a passagem das gotas pulverizadas pela região de amostragem de um analisador de tamanho de partículas (Mastersizer S, Malvern Instruments Co.), ajustado para avaliar gotas de até 1000 µm. O grau de difração que o raio de luz sofre é inversamente proporcional ao tamanho da partícula (FERNANDES et al., 2007). A decodificação dos dados, segundo o algoritmo elaborado para a caracterização do diâmetro das gotas por difração de raio laser foram processados e tabelados diretamente pelo programa Mastersizer S®, versão 2.19.

As dose repetições com cada calda foram obtidas ao realizar quatro leituras com três exemplares do modelo de ponta de pulverização de jato plano com indução de ar (ADIA 110007; MagnoJet) (Padrão norma ISO 10.625 para identificação da vazão). Foram instalados em um transportador radial posicionado a 40 cm do feixe do laser de acordo com normas da FAO (1998). A pulverização foi acionada com ar comprimido e mantida a pressão constante de 300 kPa com vazão de  $0,3 \text{ L min}^{-1}$  na ponta. Assim, jato de calda atravessou transversalmente o feixe de luz laser, realizando-se uma amostragem significativa do jato pulverizado.

## 2.2 Determinação da tensão superficial e do ângulo de contato

A tensão superficial e ângulo de contato foram determinados por meio do equipamento tensiômetro, Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®), esse equipamento é munido de câmera digital de alta resolução temporal e definição com o software SCA20® para automatização e processamento das imagens obtidas. Para a determinação das variáveis, as gotas foram formadas em uma seringa de precisão de 500  $\mu\text{L}$  da marca Hamilton®, e a taxa de liberação das gotas foi de  $5 \mu\text{L s}^{-1}$ , em todos os tratamentos (Figura 1).



**Figura 1-** Equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®) utilizado para medir os valores da tensão superficial das caldas e os do ângulo de contato de gotas. Fonte: NEDTA.

A tensão superficial foi determinada pelo método da gota pendente, a imagem da gota formada na ponta de uma seringa é capturada por uma câmera CCD de alta resolução temporal e definição com 300 poses  $\text{s}^{-1}$ , e enviada para processamento, analisando o formato da gota por assimetria dos eixos. O cálculo

da tensão superficial é realizado com base na equação de Yang-Laplace, em função da deformação das gotas emitidas em cada amostragem (FERREIRA et al., 2013).

Para o ângulo de contato das gotas, foram utilizadas três superfícies com características diferentes: Superfície foliar de *U. ruziziensis*, superfície hidrofílica (água  $< 90^\circ$ ) que neste experimento foi representada por uma lâmina de vidro nova sem ranhuras, sendo usada uma lâmina por tratamento, e o parafilme (Mistura resistente de parafina plástica com papel, à prova d'água, comercializado como Parafilm M<sup>®</sup>). O ângulo de contato tem sido utilizado para caracterizar as gotas das caldas aquosas depositadas na superfície sólida. Quando este ângulo é menor que  $90^\circ$ , a superfície é denominada hidrofílica, caso contrário é chamado de hidrofóbica (TANG; DONG; LI, 2008).

Para a coleta das folhas, a *U. ruziziensis* foi cultivada durante 45 dias, em casa de vegetação. Os vasos foram preenchidos com substrato, composto por areia, esterco bovino e terra, na proporção de 3:1:3. As folhas coletadas foram seccionadas em retângulos longitudinais de aproximadamente 5 cm x 1 cm. Estas seções foram dispostas horizontalmente em esticadores próprios, visando reduzir ondulações que comprometessem a estrutura foliar e a captura de imagens para as leituras de ângulo de contato. As imagens foram avaliadas a cada segundo durante 60 segundos após a deposição de cada gota sobre a superfície foliar. Para tensão superficial e ângulo de contato considerou-se quatro tempos para avaliação, 5, 15, 30 e 60 segundos, após a formação e/ou deposição da gota. As médias de temperatura e umidade relativa durante as leituras foram de  $26, 9 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $47\% \pm 2$ , respectivamente.

## 2.2 Análise de dados

Os resultados obtidos nas avaliações foram submetidos à análise de variância, com o objetivo de detectar a significância das concentrações de glyphosate na calda nas variáveis do espectro de gotas, da tensão superficial e no ângulo de contato interação entre os fatores (superfícies e concentração).

Quando ocorreu interação significativa entre os fatores estudados (superfícies e concentração) no ângulo de contato, as concentrações foram desdobradas dentro de cada superfície por meio de regressão não linear.

Os modelos foram selecionados considerando-se a significância da análise de variância da regressão, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a significância de 0,05 dos seus parâmetros utilizando-se o teste “t” de Student.

Aos valores do espectro de gotas (DMV, % volume de gotas <100µm, Coef. Unif.) e tensão superficial de caldas ajustou-se o modelo quadrático (Equação 1):

$$y = a.x + b.x^2 + c \quad (1)$$

Em que: y = variável dependente; x = variável independente; a, b, c = parâmetros estimados do modelo.

Os valores do ângulo de contato em função das concentrações de glyphoste na calda na face adaxial da folha de *U. ruziziensis*, em parafilme e nas lamínulas de vidro ajustaram-se aos modelos, hiperbólico (Equação 2), quadrático com função inversa (Equação 3) e exponencial (Equação 4), respectivamente:

$$y = (a.b)/(b.+x) \quad (2)$$

$$y = (a/x) + (b/x^2) + c \quad (3)$$

$$y = a.exp^{(-b.x)} + c \quad (4)$$

Em que: y = variável dependente; x = variável independente; a, b, c = parâmetros estimados do modelo.

Foi calculada a correlação linear de Pearson entre os valores: Diâmetro mediano volumétrico, porcentagem do volume de gotas menor que 100 micrometros e coeficiente de uniformidades de gotas; tensão superficial das caldas e DMV; tensão superficial das caldas e ângulo de contato de gotas, separadamente para cada superfície aos 60 segundos. A significância das correlações foi calculada pelo teste “t” de Student.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

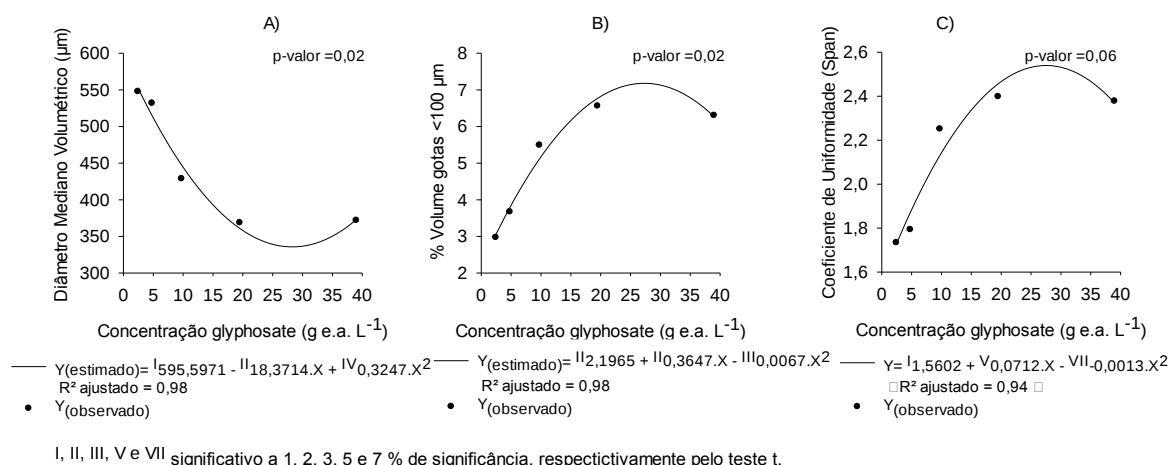
As concentrações de glyphosate na calda proporcionaram diferenças no espectro de gotas (Tabela 1). Verificou que ao elevar às concentrações de glyphosate na calda (Figuras 2A a 2C), o DMV, a % do volume de gotas <100 µm e o coeficiente de uniformidade evoluíram de forma quadrática com significância ≤ 0,06.

**Tabela 1.** Valores de F e coeficientes de variação (CV%), aplicado às médias do Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV), Porcentagem de gotas menores que 100 micrometros (% gotas < 100  $\mu\text{m}$ ) e Coeficiente de Uniformidade (Coef. Unif). Jaboticabal – SP, 2016.

| Variáveis                            | Espectro de gotas     |                       |             |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
|                                      | DMV ( $\mu\text{m}$ ) | % < 100 $\mu\text{m}$ | Coef. Unif. |
| Concentrações de glyphosate na calda | 118,8497 **           | 76,6068 **            | 21,3106 **  |
| CV (%)                               | 6,06                  | 12,67                 | 11,47       |

\*\*Significativo a 1% de significância

Ao elevar as concentrações do herbicida de 2,44 a 19,5 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  ocorreu a redução no DMV de 548 a 369  $\mu\text{m}$ , respectivamente, com a calda concentrada 39 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  o DMV foi de 372  $\mu\text{m}$ . A %volume de gotas <100 micra e o Coef. Unif (Span) em resposta as concentrações de glyphosate na calda foi inversa ao DMV. De acordo com a norma S572.1 editada pela ASABE (2009) elaborada por meio de análises de espectro de gotas geradas por pontas de pulverização de referência, as concentrações de glyphosate nas caldas proporcionaram DMV de gotas classificados em: Extremamente grossa com 2,44 e 4,875 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  de calda; Muito grossa com 9,75 g e.a.  $\text{L}^{-1}$ ; Grossa com 19,5 e 39 g e.a.  $\text{L}^{-1}$ .



**Figura 2.** **2A:** Diâmetro mediano volumétrico de gotas; **2B:** Porcentagem do volume de gotas menor que 100 micrometros; **2C:** Coeficiente de uniformidade (Coef. Unif.); proporcionado pelas concentrações de 2,44; 4,785; 9,75; 19,5; 39 g  $\text{L}^{-1}$  de equivalente ácido (e.a.) de glyphosate com a ponta de pulverização ADIA 110007. Jaboticabal – SP, 2015.

A influencia da concentração de produtos herbicidas na calda sobre o DMV foi observado por Almeida et al. (2016). Por meio deste trabalho os autores constataram também que esta resposta é diferenciada a modelos de pontas de pulverização, visto que ao aumentarem a concentração do herbicida diquat de 2

para 4 g i.a. L<sup>-1</sup> de calda ocorreu redução no tamanho de gotas geradas por ponta com indução de ar, de 599 para 590 µm, respectivamente, enquanto que, com pontas que geram gotas sem indução de ar, houve incremento no DMV, de 166 para 190 µm.

Yu, Zhu, Ozkan, et al. (2009a) e Yu et al., (2009b) constataram que a formação de depósitos pelas gotas com produtos fitossanitários em superfícies de folhas cerosas e pilosas é influenciada pelo tamanho de gotas associado a características das caldas de pulverização. Neste sentido, Xu et al., 2010 constataram gotas de 300 µm tiveram o tempo de espalhamento (2,6 s) 9,7 vezes mais rápido que gotas de 600 µm (25,3 s).

Do ponto de vista biológico a alteração no tamanho de gotas associado à concentrações de glyphosate na calda pode influenciar na relação entre absorção e translocação do glyphosate de forma diferenciada em distintas espécies de plantas, e consequentemente na eficácia de controle e/ou fitointoxicação destas plantas (PRASAD; CADOGAN 1992; LIU et al., 1996; FENG et al., 2003).

O coeficiente da correlação de Pearson foi negativo entre o DMV com a porcentagem de gotas menores que 100 micrometros e coeficiente de uniformidade de -0,99 e -0,99, respectivamente, com níveis de significância menor que 1% pelo teste de t. Neste caso pode-se afirmar que à medida que se reduz o DMV aumenta-se proporcionalmente a porcentagem de gotas menor que 100 micrometros e o coeficiente de uniformidade, o que culmina em maior potencial de risco de deriva.

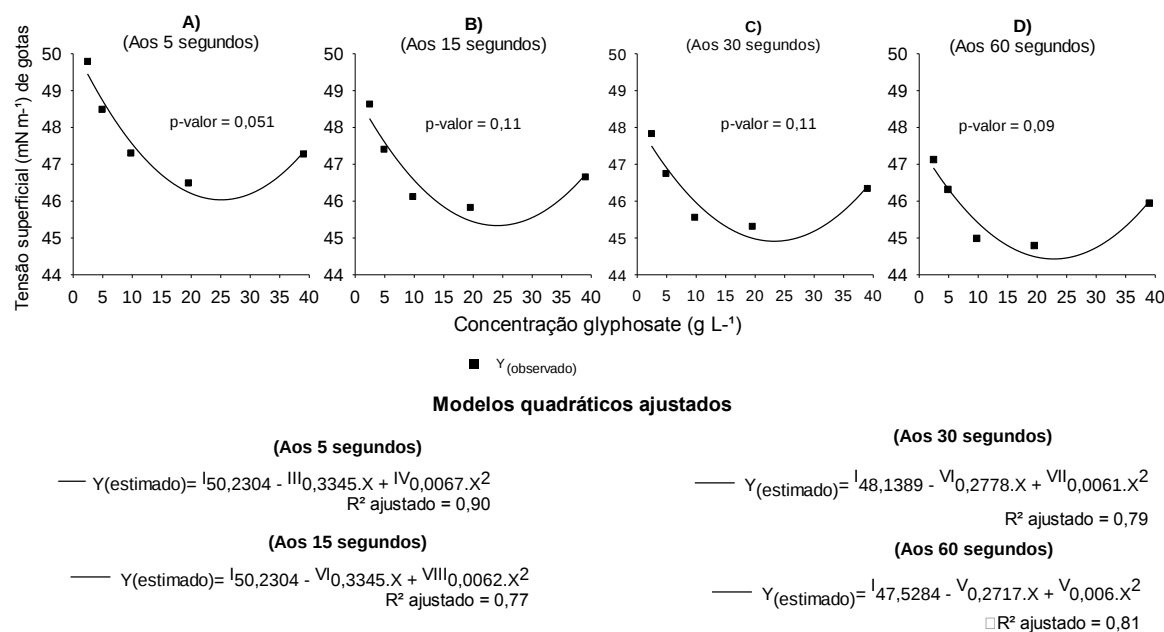
As concentrações de glyphosate nas caldas, em cada tempo, aos 5, 15, 30 e 60 segundos, influenciaram na tensão superficial (Tabela 2). Os valores da tensão superficial em função das concentrações ajustaram-se ao modelo quadrático (Figuras 3A a 3D), a significância do teste F das regressões foi de 0,05; 0,11; 0,11; 0,09 aos 5, 15, 30 e 60 segundos, respectivamente.

**Tabela 2.** Valores de F e coeficientes de variação (CV%), aplicado às médias de tensão superficial ( $\text{mN.m}^{-1}$ ) de caldas. Jaboticabal – SP, 2016.

| Variáveis                            | Valores de F calculado |            |            |            |
|--------------------------------------|------------------------|------------|------------|------------|
|                                      | 5 s.                   | 15 s.      | 30 s.      | 60 s.      |
| Concentrações de glyphosate na calda | 19,6916 **             | 25,2160 ** | 37,5053 ** | 28,1776 ** |
| CV (%)                               | 1,21                   | 0,95       | 0,71       | 0,79       |

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

O comportamento quadrático da tensão superficial foi similar ao DMV (Figuras 2A), assim aos 5, 15, 30 e 60 segundos as caldas 2,44 a 19,5 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  ocorreu a redução na tensão superficial, com a calda concentrada 39 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  houve incremento em relação a 19,5 g e.a.  $\text{L}^{-1}$ .



I, II, III, IV, V, VI, VII e VIII significativo a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 % de probabilidade, respectivamente pelo teste t.

**Figura 3.** Tensão superficial ( $\text{mN.m}^{-1}$ ) em função das concentrações de 2,44; 4,785; 9,75; 19,5; 39 g  $\text{L}^{-1}$  de equivalente ácido (e.a.) de glyphosate nas caldas. 2A: Aos 5 segundos; 2B: Aos 15 segundos; 2C: Aos 30 segundos; 2D: Aos 60 segundos. Jaboticabal – SP, 2016.

A correlação positiva entre tensão superficial e DMV foi de 0,79, com nível de significância menor que 5% pelo teste de t, isto indica, à medida que as concentrações de glyphosate reduzem a tensão superficial da calda (Figuras 3A a 3D) ocorre proporcionalmente a diminuição do DMV (Figuras 2A). E o inverso, quando se tem maior tensão superficial há incremento no tamanho das gotas e, como consequência melhora a uniformidade de gotas e reduz a porcentagem do

volume de gotas menores que 100 micrometros. Esta afirmação é evidenciada ao observar as Figuras 2A a 2C e 3A a 3D.

Os resultados desta pesquisa corroboram com Oliveira, Antuniassi e Gandolfo(2015) que verificaram correlação entre a tensão e DMV com uso de diferentes concentrações de produtos fitossanitários associados. Portanto, em campo ao reduzir o volume de aplicação e manter a dose dos produtos fitossanitários irá ocorrer o aumento da concentração do mesmo na calda, e alterar as características físicas-químicas, como a tensão superficial, consequentemente o espectro de gotas, de forma a propiciar maior potencial de risco de deriva (GRIESANG et al., 2017).

No ângulo de contato, houve interação significativa ( $p>0,01$ ) entre as concentrações de glyphosate e as superfícies, folha de *U. ruzizensis*, parafilme e vidro, nos quatros tempos analisados, 5, 15, 30 e 60 segundos (Tabela 3). As interações indicam que o ângulo de contato é dependente das características da superfície alvo, como polaridade, e das características físicas-químicas das caldas fitossanitárias, como tensão superficial, o que corrobora com Decaro Junior et al., (2015).

**Tabela 3.** Valores de F, médias dos fatores e coeficientes de variação (CV%), aplicado às médias de ângulo de contato na superfície folha da *U. ruziziensis*, parafilme, vidro. Jaboticabal – SP, 2016.

| Variáveis        | Ângulo de Contato |              |              |              |
|------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
|                  | 5 s.              | 15 s.        | 30 s.        | 60 s.        |
| Superfície (S)   | 1237.8773 **      | 1644.1039 ** | 1346.3358 ** | 1314.1447 ** |
| Concentração (C) | 103.6003 **       | 132.7576 **  | 104.3338 **  | 89.0063 **   |
| S x C            | 20.1507 **        | 29.4343 **   | 27.5734 **   | 27.4780 **   |
| CV (%)           | 7.22              | 6.55         | 7.48         | 7.84         |

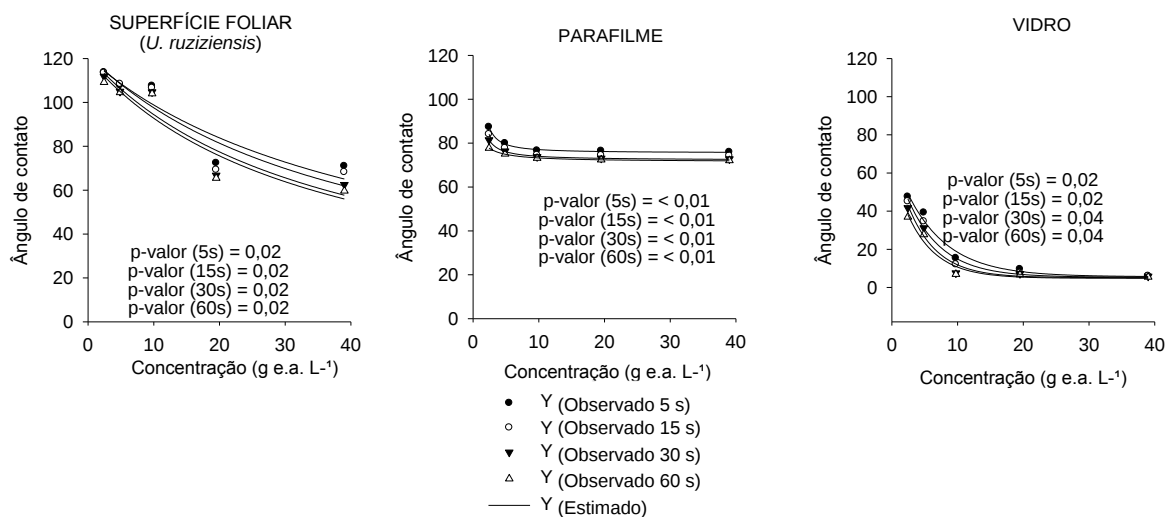
\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os valores do ângulo de contato em função das concentrações de glyphoste na calda na face adaxial da folha de *U. ruziziensis*, em parafilme e nas lamínulas de vidro ajustaram-se aos modelos hiperbólico, quadrático de ordem inversa e exponencial, respectivamente a significância do teste F das regressões foram  $<0,04$  com coeficientes de determinação acima de 0,81(Tabela 4 e Figuras 4).

**Tabela 4.** Parâmetros e coeficiente de determinação dos modelos ajustados aos valores do ângulo de contato em função das concentrações de glyphosate na calda na face adaxial da folha de *U. ruziziensis*, em parafilme e nas lamínulas. Jaboticabal-SP, 2016.

| Superfícies           | Momento (s) | Modelo ajustado             | Parâmetros              |                         |                         | Coeficientes de determinação |
|-----------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
|                       |             |                             | $t_a$                   | $t_b$                   | $t_c$                   |                              |
| <i>U. ruziziensis</i> | 5           | Hiperbólico                 | <sup>I</sup> 120,3422   | <sup>VI</sup> 45,9328   |                         | 0,81                         |
|                       | 15          | Hiperbólico                 | <sup>I</sup> 121,6473   | <sup>VI</sup> 40,4663   |                         | 0,82                         |
|                       | 30          | Hiperbólico                 | <sup>I</sup> 120,0308   | <sup>V</sup> 35,5429    |                         | 0,85                         |
|                       | 60          | Hiperbólico                 | <sup>I</sup> 119,9706   | <sup>V</sup> 34,1261    |                         | 0,85                         |
|                       | 5           | Quadrático de ordem inversa | <sup>XXIV</sup> 11,0609 | <sup>IX</sup> 435550    | <sup>I</sup> 75,5144    | 0,99                         |
| Parafilme             | 15          | Quadrático de ordem inversa | <sup>XXXII</sup> 9,9827 | <sup>XVI</sup> 37,1265  | <sup>I</sup> 73,7168    | 0,99                         |
|                       | 30          | Quadrático de ordem inversa | <sup>IV</sup> 16,1813   | <sup>XV</sup> 15,5122   | <sup>I</sup> 72,2157    | 0,99                         |
|                       | 60          | Quadrático de ordem inversa | <sup>I</sup> 18,6952    | <sup>XXII</sup> -8,3196 | <sup>I</sup> 71,4682    | 0,99                         |
|                       | 5           | exponencial                 | <sup>II</sup> 64,7339   | <sup>VIII</sup> -0,1621 | <sup>XXVI</sup> 5,6761  | 0,95                         |
| Vidro                 | 15          | exponencial                 | <sup>II</sup> 65,9952   | <sup>VI</sup> -0,1940   | <sup>XX</sup> 5,4116    | 0,96                         |
|                       | 30          | exponencial                 | <sup>VI</sup> 66,7183   | <sup>III</sup> -0,2295  | <sup>XXIX</sup> 5,1496  | 0,92                         |
|                       | 60          | exponencial                 | <sup>VI</sup> 58,6852   | <sup>XII</sup> -0,2303  | <sup>XXVII</sup> 4,8171 | 0,92                         |

O comportamento das gotas depositadas resultou da interação com a superfície e das concentrações (Figura 4). As cinco concentrações do glyphosate na calda promoveu a redução do ângulo de contato na face adaxial da folha de *U. ruziziensis* nos quatros tempos avaliados, 5, 15, 30 e 60 s. Enquanto que, nas superfícies artificiais, parafilme e lamínula de vidro, a partir da terceira concentração do glyphosate na calda, 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup>, houve a estabilização do efeito na redução do ângulo de contato aos 5,15, 30 e 60 s.



**Figura 4.** Ângulo de contato em três superfícies em função das concentrações de 2,44; 4,785; 9,75; 19,5; 39 g L<sup>-1</sup> de equivalente ácido (e.a.) de glyphosate nas caldas. Jaboticabal – SP, 2016.

A superfície adaxial da folha de *U. ruziziensis*, o ângulo de contato das gotas com as cinco concentrações foram maiores que os obtidos nas lâminulas de vidro, isso deve-se a característica foliar da espécie, como maior teor de cera na camada epicuticular e/ou a pilosidade (Figura 4). Comparado ao parafilme, o ângulo de contato da superfície adaxial da folha de *U. ruziziensis*, foi maior somente nas 2,44; 4,875 e 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup> (Figura 4), ou seja, o incremento na concentração do glyphosate, 19,5 e 39 g e.a. L<sup>-1</sup>, poderá propiciar maior espalhamento. Na lâminula de vidro resultou nos menores valores, esse comportamento da gota deve-se a característica hidrofílica do vidro, sendo que devido à característica hidrofóbica do parafilme, esse comportamento não foi observado.

As gotas das caldas pulverizadas em superfícies hidrofílicas, como a superfície do vidro, poderão proporcionar uma área molhada maior, devido o menor ângulo de contato e, conseqüentemente a maior velocidade de evaporação do que em superfícies hidrofóbicas. Por causa do maior ângulo de contato, à superfície foliar da *U. ruziziensis* possui correlação positiva com espalhamento, pode ter menores áreas molhadas pelas gotas (DECARO JR et al., 2015) e, assim reduzir a taxa de evaporação em condições agrometeorológicas no momento e após aplicação (YU; ZHU; OZKAN, 2009a; YU et al., 2009b; XU et al., 2010; XU et al., 2011). Portanto, possibilitará maior tempo de molhabilidade da folha pelas

gotas de forma impactar diretamente na penetração do produto fitossanitário na camada epicuticular e, na sua absorção e/ou translocação (LIU et al., 1996).

Houve correlação positiva entre ângulo de contato e a tensão superficial e de gotas de 0,46, 0,83 e 0,87, nas respectivas superfícies, folhas de *U. ruziziensis*, parafilme e vidro. Os respectivos níveis de significância foram de 23, 4 e 2 % pelo teste t. Isto evidencia que o ângulo de contato em determinadas superfícies foliares, como a da *U. ruziziensis*, com diferentes concentrações de glyphosate na calda pode ter limitações em ser predita pela tensão superficial, o que torna importante sempre que possível medir o ângulo de contato em equipamentos para averiguar.

Com base nos resultados desta pesquisa, é evidente que ao alterar concentrações dos produtos fitossanitários na calda ocorrem modificações no espectro de gotas devido alterações das características físico-químicas da calda, como a tensão superficial. O ângulo de contato possui padrão diferente nas três superfícies, a foliar de *U. ruziziensis*, a lâmina de vidro e o parafilme, entretanto, o ângulo de contato das gotas em cada superfície respondem a concentração de glyphosate. Assim, devido o ângulo de contato das gotas apresenta correlação positiva com o espalhamento, as quais poderão influenciar na retenção de caldas por superfícies (DECARO JR et al. 2015) mesmo com volumes de aplicação reduzido, em aplicações noturnas, diante da possibilidade de deposição de orvalho na superfície foliar da *U. ruziziensis* aliado ao molhamento causado pela possível ocorrência de pressão positiva de raiz.

#### 4. CONCLUSÃO

As concentrações de glyphosate na calda influenciam no espectro de gotas (DMV, % volume de gotas < 100 µm), na tensão superficial e no ângulo de contato das gotas com as superfícies foliar de *U. ruziziensis*, parafilme e vidro. De forma que, com o aumento das concentrações de glyphosate há incremento do potencial de risco de deriva das gotas e redução do ângulo de contato das gotas em interação com as superfícies, da folha de *U. ruziziensis*, a lâmina de vidro e o parafilme.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. P.; TIMOSSI, P. C.; LIMA, S. F.; SILVA, U. R.; REIS, E. F. Condições atmosféricas e volumes de aplicação na dessecação de *Urochloa ruziziensis* e vegetação espontânea. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 3, p. 245-251, 2014.
- ALMEIDA, D. P. TIMOSSI, P.C.; LIMA, S.F.; SILVA, U.R.; REIS, E.F. Droplets size categories and application volumes in burndown of plant covers. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, n. 1, p. 73-82, 2015.
- ALMEIDA, D.P.; AGOSTINI, A.R.; YAMAUCHI, A.K.; DECARO JÚNIOR, S.T.; Ferreira, M.C. Application volumes and sizes of droplets for the application of diquat herbicide in the control of *Eichhornia crassipes*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 171-179, 2016.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS (ASABE). **Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra, ANSI/ASAE S572.1**. St. Joseph, Michigan, 2009. 4 p.
- BEHRING J. L.; LUCAS, M.; MACHADO, C.; BARCELLOS, I. O. Adaptação no método do peso da gota para determinação da tensão superficial: Um método simplificado para a quantificação da CMC de surfactantes no ensino da química. **Química Nova**. v. 27, n.3, p. 492-495, 2004.
- 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, 2017.
- DECARO JR, S. T.; FERREIRA, M. C.; LASMAR, O. Physical characteristics of oily spraying liquids and droplets formed on coffee leaves and glass surfaces. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 588-600, 2015.
- FAO -Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Agricultural pesticide sprayers**. Rome, 1998. v. 2, p. 62.
- FENG, P. C. C.; CHIU, T, R.; SAMMONS, D.; RYERSE, J. S. Droplet size affects glyphosate retention, absorption, and translocation in corn. **Weed Science**, v. 51, n. 3, p. 443-448, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0443:DSAGRA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0443:DSAGRA]2.0.CO;2)>
- FERREIRA, M.C.; LASMAR, O.; DECARO JUNIOR, S. T.; NEVES, S. S.; AZEVEDO L. H. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, Supplement 1, p. 1431-1440, 2013.
- FERNANDES, A. P.; PARREIRA, R. S.; FERREIRA, M. C.; ROMANI, G. N. Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.728-733, 2007.

GRIESANG, F.; DECARO, R.A.; SANTOS, C. A. M.; SANTOS, E.S.; ROQUE, N.H.L.; FERREIRA, M. C.. How Much Do Adjuvant and Nozzles Models Reduce the Spraying Drift? Drift in Agricultural Spraying. **American Journal of Plant Sciences**, v.8, n. 11, p.2785-2794, 2017.

IBAMA. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#historicodecomercializacao>> Acesso em: 25 fev. de 2018

IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatantes em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.670-680, 2010.

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

LIU, S. H.; CAMPBELL R. A.; STUDENS, J. A.; SOURCE, R. G. W. Absorption and translocation of glyphosate in aspen (*Populus tremuloides* Michx.) as influenced by droplet size, droplet number, and herbicide concentration. **Weed Science**, v.44, n.3, p.482-488, 1996.

MARQUES, R.P.; RODELLA, R.A.; MARTINS, D. Características da anatomia foliar de espécies de braquiária e sua relação com a sensibilidade a herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 809-816, 2012.

NUNES, A.S., TIMOSSI, P.C., PAVANI, M.C.M.D. ; ALVES, P.L. C. A Formação de cobertura vegetal e manejo de plantas daninhas na cultura da soja em sistema plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 727-733, 2010.

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

QUEIROZ A. A., MARTINS J. A. S., CUNHA J. P. A. R. Adjuvantes e qualidade da água na aplicação de agrotóxicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.4, p. 8 -19, 2008.

PRASAD, R.; CADOGAN, B. L. Influence of droplet size and density on phytotoxicity of three herbicides. **Weed Technology**. v. 6, n. 2 p. 415-423 1992.

SILVA, U. A.; TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; LIMA, S. F. Eficácia do glyphosate na dessecação de espécies de *Urochloa*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p. 202-209, 2013.

TANG, X.; DONG, J., LI X. A comparison of spreading behaviors of Silwet L-77 on dry and wet lotus leaves. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 325, p. 223–227, 2008.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; THISTLE, H. W. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. **Biosystems Engineering**, v. 106, n. 1, p. 58 – 67, 2010.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; BAGLEY, W. E.; KRAUSE, C. R. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with the type and concentration of adjuvants. **Pest Management Science**, Malden, USA, v. 67, n.7, p. 842-851, 2011.

YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H. E. Evaporation of pesticide droplets on surface under various relative humidity conditions. **Journal of ASTM International**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2009a.

YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Evaporation and deposition coverage área of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of ASABE**, v. 52, n. 1, p. 39-49, 2009b.

### **CAPÍTULO 3 – CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS E CONCENTRAÇÕES DE GLYPHOSATE NA DESSECAÇÃO DE *Urochloa ruziziensis* COM VOLUMES DE APLICAÇÃO REDUZIDOS**

**RESUMO:** Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito das concentrações de glyphosate na calda em condições agrometeorológicas e de umidade do solo na eficácia de controle de *Urochloa ruziziensis*. A pesquisa foi constituída de dois experimentos (1 e 2) nos quais foram utilizados dois volumes de aplicação (25 e 50 L ha<sup>-1</sup>) e duas umidades do solo. Cada experimento foi conduzido em épocas diferentes, no delineamento inteiramente casualizados com arranjo fatorial 2x5 (condições agrometeorológicas x concentrações de glyphosate), com cinco repetições. As duas condições agrometeorológicas foram proporcionadas por dois horários de aplicação (9:00 e 21:00 horas); as cinco concentrações de glyphosate na calda foram de 2,438; 4,875; 9,75; 19,5 e 39 g e.a. L<sup>-1</sup>. Cada parcela experimental foi constituída de um vaso com a capacidade de 2,8 dm<sup>3</sup> contendo entre 4 e 5 plantas de *U. ruziziensis*. No experimento 1, as plantas foram irrigadas 14 horas antes e 9 horas após a aplicação nas condições agrometeorológicas às 9:00 e 21:00 horas. No experimento 2, as plantas foram irrigadas uma hora antes e uma hora após a aplicação, de forma localizada para não molhar as folhas. A eficácia foi quantificada pela porcentagem de controle aos 10, 15 e 20 dias após a aplicação. Os dados foram analisados por meio de análise variância e regressão não linear. As concentrações de glyphosate na calda em interação com as condições agrometeorológicas influenciam na eficácia de controle da *U. ruziziensis*. Para o controle satisfatório da *U. ruziziensis*, cada volume de aplicação possui concentrações ideais de glyphosate na calda, específica para cada condição agrometeorológica. Em condições agrometeorológicas e de umidade do solo favoráveis, a concentração de 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup> proporcionou controle acima de 80% da *U. ruziziensis* com 25 e 50 L ha<sup>-1</sup> aos 15 DAA, momento considerado ideal para semeadura.

**Palavras-chave:** Concentrações de glyphosate, braquiária, volume de calda, condições agrometeorológicas.

### CHAPTER 3 – ATMOSPHERIC CONDITIONS AND GLYPHOSATE CONCENTRATIONS ON *Urochloa ruziziensis* BURNDOWN WITH REDUCED APPLICATION VOLUME

**ABSTRACT:** The objective of this research was to evaluate the effect of glyphosate concentrations in the spray under agrometeorological and soil moisture conditions on the control efficiency of *Urochloa ruziziensis*. The research consisted of two experiments (1 and 2) in which two application volumes (25 and 50 L ha<sup>-1</sup>) and two soil moisture were used. Each experiment was conducted at different times, in the completely randomized design with factorial arrangement 2x5 (agrometeorological conditions x concentrations of glyphosate), with five replicates. The two agrometeorological conditions were provided by two application times (9:00 a.m. and 9:00 p.m.); the five concentrations of glyphosate in the syrup were 2.438; 4,875; 9.75; 19.5 and 39 g a.e. L<sup>-1</sup>. Each experimental plot consisted of a vessel with a capacity of 2.8 dm<sup>3</sup> containing between 4 and 5 *U. ruziziensis* plants. In experiment 1, the plants were irrigated 14 hours before and 9 hours after application in agrometeorological conditions at 9:00 am and 9:00 pm. In experiment 2, the plants were irrigated one hour before and one hour after application, so as not to wet the leaves. Efficacy was quantified by the control percentage at 10, 15 and 20 days after application. The data were analyzed through analysis of variance and nonlinear regression. The concentrations of glyphosate in the syrup in interaction with the agrometeorological conditions influence the control efficacy of *U. ruziziensis*. For the satisfactory control of *U. ruziziensis*, each application volume has ideal concentrations of glyphosate in the spray, specific for each agrometeorological condition. Under favorable agrometeorological and soil moisture conditions, the concentration of 9.75 g e.a. L<sup>-1</sup> provided control above 80% of *U. ruziziensis* with 25 and 50 L ha<sup>-1</sup> at 15 DAA, considered ideal sowing time.

**Keywords:** Concentrations of glyphosate, spray volume, meteorological conditions

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto no ano de 2012 abrangeu aproximadamente 31,8 milhões de hectares das regiões produtoras de grãos do país (FEBRAPD, 2018). Esta técnica está relacionada com a formação de palhada por plantas de cobertura e, para o manejo destas plantas, tem sido amplamente utilizados herbicidas de largo espectro de ação, ao exemplo do glyphosate (SILVA et al., 2013).

O uso do herbicida glyphosate para a dessecação de plantas no plantio direto tem sido utilizado em larga escala devido ao seu baixo custo, amplo espectro de controle e elevada eficácia de controle em plantas sensíveis como a *U. ruziziensis*. As dosagens do herbicida para promover o controle eficaz das plantas de cobertura usadas no plantio direto estão relacionadas à sensibilidade da espécie ao produto, ao estágio de desenvolvimento das plantas e às condições edafoclimáticas onde estas plantas estão se desenvolvendo no momento da aplicação (TIMOSSI et al., 2016).

Para aumentar a eficiência operacional do processo de aplicação dos herbicidas em pré-semeadura de culturas graníferas, o volume de aplicação vem sendo reduzido, e com isso, o uso de caldas com maior concentração do glyphosate (ALMEIDA et al., 2015). No entanto, o aumento da concentração pode influenciar na qualidade de distribuição, deposição e na dinâmica de absorção e translocação e consequentemente na intoxicação das plantas (LIU et al., 1996;).

As condições agrometeorológicas nos horários do dia em que a aplicação é realizada podem influenciar tanto na eficiência da aplicação quanto na eficácia de controle de coberturas vegetais, principalmente devido às diferenças nas condições agrometeorológicas que ocorrem ao longo das 24 horas do dia bem como pela resposta fisiológica das plantas ao receber o herbicida, que pode ser amplamente alterada. Entretanto, dosagens maiores que a requerida para o controle de determinadas plantas de cobertura podem anular a percepção de tais fenômenos biológicos associados às condições agrometeorológicas (ALMEIDA et al., 2014; TIMOSSI et al. 2016).

Desta forma, objetivou-se com a pesquisa avaliar o efeito das concentrações de glyphosate na calda em condições agrometeorológicas e hídricas distintas na eficácia de controle de *U. ruziziensis*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram realizados no Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação - NEDTA da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

A pesquisa foi constituída de dois experimentos (1 e 2) em cada qual foram utilizados dois volumes de aplicação (25 e 50 L ha<sup>-1</sup>) e duas umidade do solo. Cada um dos experimentos foi conduzido de forma independente, em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo de parcelas subdivididas 2x5 (horários de aplicação x concentrações de glyphosate), descritos na Tabela 1. Assim os dez tratamentos, Tabela 1, foram aplicados às 9:00 e 21:00 horas nos dois experimentos. Foram utilizadas seis repetições para caracterizar a eficácia do controle da *U. ruziziensis*.

**Tabela 1.** Tratamentos utilizados na aplicação de glyphosate para a dessecação de *U. ruziziensis* nos dois experimentos.

| Tratamentos | Volume de Aplicação<br>(L ha <sup>-1</sup> ) | <sup>†</sup> Concentração<br>(g de e.a. L <sup>-1</sup> ) | <sup>†</sup> Doses<br>(kg de e.a. ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 9:00 horas  |                                              |                                                           |                                                      |
| 1           | 25                                           | 2,438                                                     | 0,061                                                |
| 2           | 25                                           | 4,875                                                     | 0,122                                                |
| 3           | 25                                           | 9,750                                                     | 0,244                                                |
| 4           | 25                                           | 19,500                                                    | 0,488                                                |
| 5           | 25                                           | 39,000                                                    | 0,975                                                |
| 6           | 50                                           | 2,438                                                     | 0,122                                                |
| 7           | 50                                           | 4,875                                                     | 0,244                                                |
| 8           | 50                                           | 9,750                                                     | 0,488                                                |
| 9           | 50                                           | 19,500                                                    | 0,975                                                |
| 10          | 50                                           | 39,000                                                    | 1,950                                                |
| 21:00 horas |                                              |                                                           |                                                      |
| 1           | 25                                           | 2,438                                                     | 0,061                                                |
| 2           | 25                                           | 4,875                                                     | 0,122                                                |
| 3           | 25                                           | 9,750                                                     | 0,244                                                |
| 4           | 25                                           | 19,500                                                    | 0,488                                                |
| 5           | 25                                           | 39,000                                                    | 0,975                                                |
| 6           | 50                                           | 2,438                                                     | 0,122                                                |
| 7           | 50                                           | 4,875                                                     | 0,244                                                |
| 8           | 50                                           | 9,750                                                     | 0,488                                                |
| 9           | 50                                           | 19,500                                                    | 0,975                                                |
| 10          | 50                                           | 39,000                                                    | 1,950                                                |

<sup>†</sup> Equivalente ácido (e. a.) de Glyphosate (Roundup Ultra<sup>®</sup>, 650 g e.a. kg<sup>-1</sup>, WG, Monsanto)

Para obter as plantas da espécie *U. ruziziensis* foram distribuídas 40 sementes homogeneamente em vasos de 2,8 dm<sup>3</sup> e incorporadas a 0,5 cm da superfície do substrato, constituído de terra, areia e esterco bovino na proporção

de 3:1:1, respectivamente. O solo utilizado na mistura foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (SANTOS et al., 2014). Ao início do perfilhamento, foi realizado o desbaste, deixando entre 4 e 5 plantas em cada vaso. As plantas foram cultivadas por 4 (quatro) meses antes da aplicação dos tratamentos, com irrigação diária até próximo da capacidade de campo. Neste período, realizaram-se três cortes das plantas a 0,05 m do solo, no intuito de promover o desenvolvimento radicular das plantas previamente à aplicação. Após cada corte foi realizada a adubação de manutenção de acordo com recomendações técnicas para cultura (SOUSA; LOBATO, 2004).

As aplicações dos tratamentos (Tabela 1) ocorreram em 19 de janeiro e 8 de novembro de 2016, para os experimentos 1 e 2, respectivamente. No experimento 1 as plantas foram irrigadas 14 horas antes e 9 horas após a aplicação em ambas as condições agrometeorológicas proporcionadas pelos horários de aplicação (Tabela 2). No segundo experimento as plantas foram irrigadas uma hora antes e uma hora após a aplicação, de forma localizada para não molhar as folhas.

A aplicação do herbicida foi realizada com pulverizador de pesquisa customizado, pressurizado por CO<sub>2</sub>. A barra de aplicação foi equipada com três pontas de jato plano com indução de ar (ADIA 110007; MagnoJet), padrão norma ISO 10.625 para identificação da vazão, espaçadas em 0,5 m entre si, mantidas a uma altura de 0,5 m da cobertura vegetal. A pressão de trabalho foi mantida constante a 300 kPa. Para pulverizar os dois volumes de aplicação (25 e 50 L ha<sup>-1</sup>), foi alterada a velocidade de deslocamento do pulverizador, sendo 14,4 e 7,2 km h<sup>-1</sup>, respectivamente.

As condições agrometeorológicas horárias de temperatura do ar (T, °C), umidade relativa (UR, %), velocidade do vento (u, km<sup>-1</sup>) e irradiância solar global (Qg, W m<sup>-2</sup>) foram monitoradas com termohigrômetro, anemômetro digital (Instrutherm) e sensor LICOR LI-200, respectivamente. Realizaram-se dez medidas das condições agrometeorológicas durante o período da pulverização para posteriormente obter os valores médios (Tabela 2).

**Tabela 2.** Condições agrometeorológicas em cada horário de aplicação do herbicida glyphosate nas coberturas vegetais em estudo.

| Horário           | Temperatura (°C)<br>(desvio padrão) | UR (%) (desvio<br>padrão) | Velocidade do<br>vento (km h <sup>-1</sup> )<br>(desvio padrão) | Irradiância<br>(kJ m <sup>-2</sup> ) |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Experimento 1     |                                     |                           |                                                                 |                                      |
| 9 h               | 27,7 <sup>†</sup> (1,8)             | 67,5 (6,1)                | 1,37 (1,1)                                                      | 3,5                                  |
| <sup>‡</sup> 21 h | 24,5 (1)                            | 77,9 (3,8)                | 3,5 (1,4)                                                       | 0                                    |
| Experimento 2     |                                     |                           |                                                                 |                                      |
| 9 h               | 28,4 (0,9)                          | 56,9 (4,3)                | 2,39 (3,12)                                                     | 3,47                                 |
| 21 h              | 25,3 (0,6)                          | 71,3 (1,3)                | 0                                                               | 0                                    |

<sup>†</sup> Desvios padrão das condições agrometeorológicas no período de aplicação

<sup>‡</sup> 2 horas e 35 minutos após o término da aplicação houve precipitação pluviométrica de 3,5 mm

### 2.1 Avaliações de eficácia do herbicida em ambiente semi-controlado

Aos 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) glyphosate foi avaliada a eficácia de controle (%) de *U. ruziziensis* nas duas condições agrometeorológicas com dois volumes de aplicação, visto que a semeadura das culturas subsequentes, no plantio direto, é recomendável após intervalo de tempo (NUNES et al., 2009; NEPOMUCENO et al., 2012; GIANCOTTI et al., 2015; NASCENTE; CRUSCIOL, 2012). Para tal, adotou-se a avaliação visual da porcentagem de controle das coberturas vegetais, atribuindo valores de 0 a 100, de modo que zero foi atribuído a nenhum controle e 100, ao total controle da vegetação (SBCPD, 2000).

### 2.2 Análise de dados

Os resultados obtidos nas avaliações foram submetidos à análise de variância preliminarmente, com o objetivo de detectar a significância das concentrações de glyphosate na calda e das condições agrometeorológicas na eficácia de controle e a interação entre os fatores (concentração e condições agrometeorológicas). Quando pertinente, os dados em porcentagem foram transformados pela expressão  $\arccoseno \sqrt{x \div 100}$ .

Quando na ocorrência de interação significativa entre os fatores estudados (concentrações de glyphosate e condições agrometeorológicas) na eficácia de controle da *U. ruziziensis*, as concentrações foram desdobradas dentro de cada condição atmosférica por meio de regressão linear e não linear.

O modelo utilizado para explicar a resposta do controle sobre a *U. ruziziensis* foi selecionado considerando-se a significância da análise de variância

da regressão, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste de “t” de Student e no conhecimento da evolução do fenômeno biológico.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância dos fatores pesquisados (Tabela 3), verifica-se que aos 10, 15 e 20 DAA houve diferença no controle da *U. ruzizensis* entre as concentrações de glyphosate e as condições agrometeorológicas proporcionadas pelos horários. Para a interação entre os fatores, também foram encontradas diferenças significativas, exceto aos 15 DAA no segundo experimento, ao aplicar  $50 \text{ L ha}^{-1}$ .

**Tabela 3.** Valores de F, coeficientes de variação (CV%) aplicado às médias de eficácia de controle aos 10, 15 e 20 DAA do herbicida glyphosate em *U. ruziziensis* com cinco concentrações (g e.a. L<sup>-1</sup> de calda) em duas condições agrometeorológicas (horários) com o volume de aplicação de 25 e 50 L ha<sup>-1</sup>. Jaboticabal-SP. 2016.

| Experimento           |                       |                  |                  |           |            |                      |             |           |
|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------|------------|----------------------|-------------|-----------|
| 25 L ha <sup>-1</sup> |                       |                  |                  |           |            |                      |             |           |
| Experimento           | 1                     | ‡Fc              | Variável         |           | 10 †DAA    | 15 DAA               | 20 DAA      |           |
|                       |                       |                  | Hora (H)         |           | 1600**     | 531,571**            | 1069,091**  |           |
|                       |                       |                  | Concentração (C) |           | 230,723**  | 644,79**             | 169,079**   |           |
|                       |                       | H x C            |                  | 80,462**  | 179,768**  | 122,399**            |             |           |
|                       |                       | 2                | Fc               | CV %      | H          | 2,23                 | 5,51        | 5,14      |
|                       |                       |                  |                  | CV %      | C          | 3,57                 | 4,05        | 6,41      |
|                       | Hora (H)              |                  |                  | 20,864**  | 21,631**   | 20291,881**          |             |           |
|                       | Concentração (C)      |                  |                  | 223,595** | 233,247**  | 40860,396**          |             |           |
|                       | H x C                 |                  |                  | 13,938**  | 7,304**    | 5379,751**           |             |           |
|                       | CV %                  |                  |                  | H         | 8,64       | 4,64                 | 0,63        |           |
|                       | CV %                  |                  |                  | C         | 9,47       | 4,53                 | 1,18        |           |
|                       | 50 L ha <sup>-1</sup> |                  |                  |           |            |                      |             |           |
| Experimento           | 1                     |                  |                  | ‡Fc       | Hora (H)   |                      | 739,608**   | 146,842** |
|                       |                       | Concentração (C) |                  |           | 76,545**   | 605,304**            | 419,921**   |           |
|                       |                       | H x C            |                  |           | 325,668**  | 27,652**             | 140,362**   |           |
|                       |                       | CV %             | H                |           | 5,32       | 10,60                | 5,29        |           |
|                       |                       | CV %             | C                |           | 5,58       | 7,48                 | 7,33        |           |
|                       | 2                     | Fc               | Hora (H)         |           | 17,9014**  | 0,8999**             | 2221,9785** |           |
|                       |                       |                  | Concentração (C) |           | 151,7747** | 202,8767**           | 5358,0234** |           |
|                       |                       |                  | H x C            |           | 14,3089**  | 0,7748 <sup>ns</sup> | 2243,7421** |           |
|                       |                       |                  | CV %             | H         | 9,45       | 2,19                 | 1,82        |           |
|                       |                       |                  | CV %             | C         | 7,13       | 3,02                 | 1,42        |           |

†DAA - Dias após a aplicação; ‡Fc – Valor do teste F (F calculado); \* significativo a 5%;

\*\*significativo a 1%. CV %– coeficiente de variação

As análises de variância (Tabela 3) dos dados para os fatores concentrações de glyphosate na calda, horários de aplicação e a interação entre os mesmos foram discutidos por meio do estudo de regressão (Tabela 4 e Figura 1), independentemente da significância do teste F da análise de variância. Para tanto, vale ressaltar que os estudos de regressão dos níveis de um fator quantitativo ou do seu desdobramento dentro de outro fator, independem da significância do teste F da análise de variância, mas sim dependem da significância do teste F da análise de regressão e coeficientes angulares, bem como dos valores do coeficiente de determinação (BANZATTO; KRONKA, 2013).

As regressões do fator concentração nas condições agrometeorológicas às 9:00 e 21:00 horas (Figura 1) foram significativas a níveis de até 3,8%, exceto no segundo experimento às 21:00 horas, onde aos 20 DAA os níveis de significância foram de 6,7 e 9,1%, para 25 e 50 L ha<sup>-1</sup> de calda, respectivamente. As porcentagens de controle *U. ruziziensis* aos 10, 15 e 20 DAA em função das concentrações podem ser satisfatoriamente representadas pelos modelos devido à significância das regressões (Figura 1), dos coeficientes angulares (Tabela 4) e aos valores dos coeficientes de determinação (Tabela 4).

**Tabela 4.** Parâmetros e coeficiente de determinação dos modelos ajustados aos valores de porcentagem de controle da *U. ruziziensis* aos 10, 15 e 20 DAA nas concentrações de glyphosate e dois volumes de aplicação. Jaboticabal-SP. 2016

| DAA           | Volume de Aplicação (L ha <sup>-1</sup> ) | Horário | Modelo ajustado | Parâmetros               |                          |                      | Coeficientes de determinação |
|---------------|-------------------------------------------|---------|-----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|
|               |                                           |         |                 | <sup>a</sup>             | <sup>b</sup>             | <sup>c</sup>         | R <sup>2</sup> (ajustado)    |
| Experimento 1 |                                           |         |                 |                          |                          |                      |                              |
| 10            | 25                                        | 9       | exponencial     | <sup>I</sup> 10,7440     | <sup>I</sup> 0,0487      |                      | 0,96                         |
|               |                                           | 21      | exponencial     | <sup>I</sup> 13,3595     | <sup>V</sup> 0,0816      |                      | 0,91                         |
|               | 50                                        | 9       | sigmoidal       | <sup>II</sup> 100,7495   | <sup>X</sup> -2,3243     | <sup>IV</sup> 12,414 | 0,96                         |
|               |                                           | 21      | linear          | <sup>I</sup> 0,8511      | <sup>VII</sup> 0,7706    |                      | 0,95                         |
| 15            | 25                                        | 9       | exponencial     | <sup>XVIII</sup> 15,0183 | <sup>VII</sup> 0,0464    |                      | 0,72                         |
|               |                                           | 21      | linear          | <sup>I</sup> 0,4467      | <sup>XXXV</sup> -1,7848  |                      | 0,87                         |
|               | 50                                        | 9       | sigmoidal       | <sup>I</sup> 59,1712     | <sup>I</sup> -8,5423     | <sup>I</sup> 12,887  | 1,00                         |
|               |                                           | 21      | sigmoidal       | <sup>I</sup> 97,6550     | <sup>I</sup> -4,1865     | <sup>I</sup> 10,180  | 1,00                         |
| 20            | 25                                        | 9       | exponencial     | <sup>XIX</sup> 15,9324   | <sup>VII</sup> 0,0454    |                      | 0,69                         |
|               |                                           | 21      | linear          | <sup>IV</sup> 0,0675     | <sup>XXVI</sup> -0,5209  |                      | 0,74                         |
|               | 50                                        | 9       | sigmoidal       | <sup>I</sup> 97,2589     | <sup>III</sup> -5,3196   | <sup>I</sup> 10,183  | 1,00                         |
|               |                                           | 21      | linear          | <sup>III</sup> 0,0675    | <sup>XXVII</sup> -0,5209 |                      | 0,74                         |
| Experimento 2 |                                           |         |                 |                          |                          |                      |                              |
| 10            | 25                                        | 9       | exponencial     | <sup>I</sup> 96,1015     | <sup>I</sup> 0,2114      | -                    | 0,98                         |
|               |                                           | 21      | exponencial     | <sup>I</sup> 99,0676     | <sup>I</sup> 0,1370      | -                    | 0,87                         |
|               | 50                                        | 9       | exponencial     | <sup>I</sup> 94,9458     | <sup>I</sup> 0,4092      |                      | 1,00                         |
|               |                                           | 21      | exponencial     | <sup>I</sup> 98,0163     | <sup>III</sup> 0,244     |                      | 0,86                         |
| 15            | 25                                        | 9       | exponencial     | <sup>I</sup> 98,0156     | <sup>I</sup> 0,2975      | -                    | 0,94                         |
|               |                                           | 21      | exponencial     | <sup>I</sup> 97,6971     | <sup>I</sup> 0,4150      |                      | 0,95                         |
|               | 50                                        | 9       | exponencial     | <sup>I</sup> 99,0961     | <sup>I</sup> 0,5219      |                      | 0,95                         |
|               |                                           | 21      | exponencial     | <sup>I</sup> 99,1051     | <sup>I</sup> 0,5544      |                      | 0,97                         |
| 20            | 25                                        | 9       | exponencial     | <sup>VII</sup> 113,6145  | <sup>XXXI</sup> 0,0835   | -                    | 0,99                         |
|               |                                           | 21      | exponencial     | <sup>I</sup> 106,0031    | <sup>XVII</sup> 0,1688   |                      | 0,69                         |
|               | 50                                        | 9       | exponencial     | <sup>I</sup> 99,8385     | <sup>I</sup> 0,6041      |                      | 0,99                         |
|               |                                           | 21      | exponencial     | <sup>II</sup> 105,6209   | <sup>I</sup> 0,8172      |                      | 0,56                         |

<sup>I</sup>Os algarismos romanos representam o p-valor da significância dos parâmetros pelo teste t.

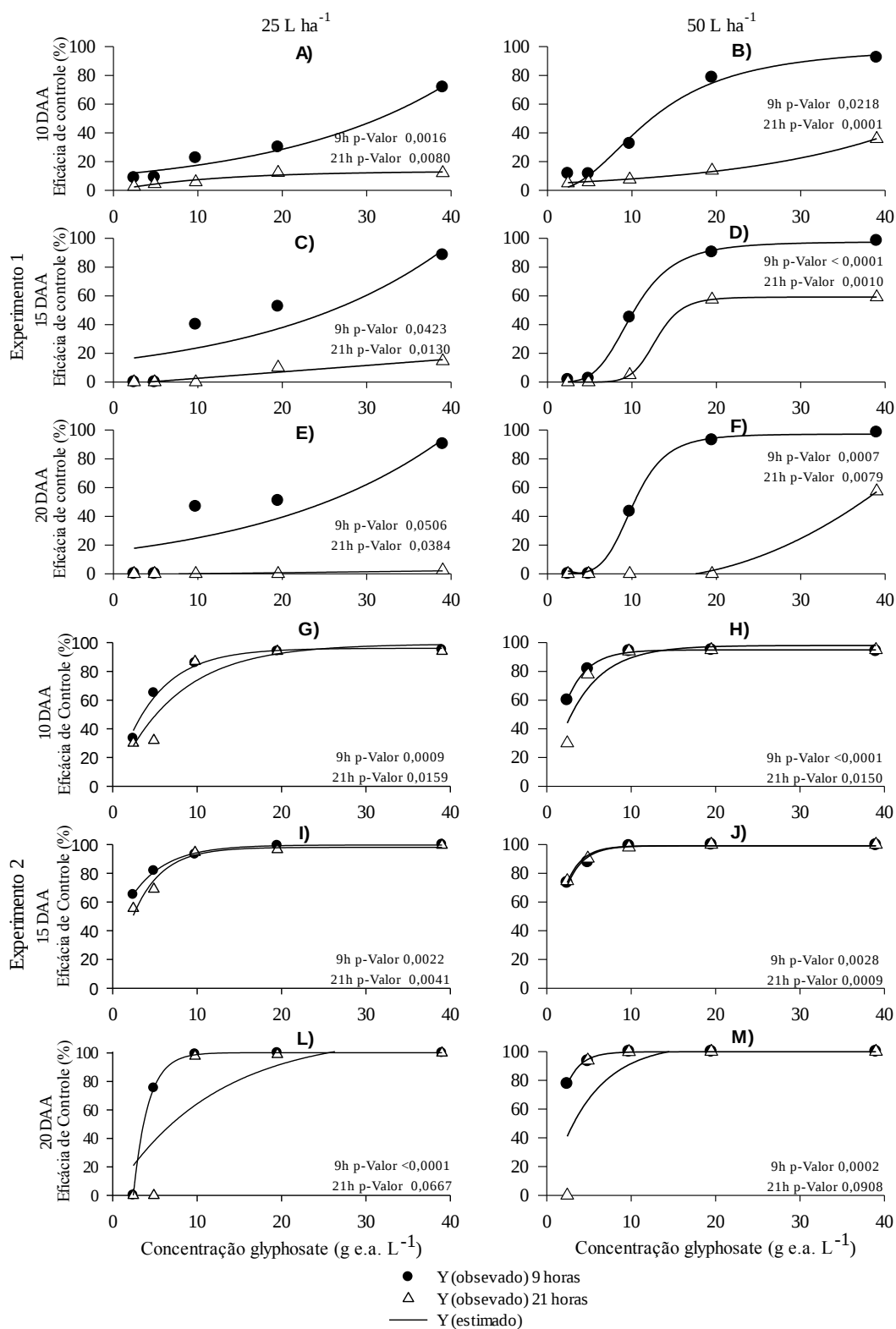
Para a eficácia de controle da *U. ruziziensis* nas diferentes condições agrometeorológicas (às 9:00 e 21:00 horas), constatou-se variação em função das

concentrações de glyphosate. Verifica-se que em todas as épocas de avaliação, as porcentagens de controle no primeiro experimento aumentaram de forma exponencial, sigmoideal e linear, com a elevação da concentração do glyphosate (Figura 1 e Tabela 5). No segundo experimento, o controle (%) da *U. ruziziensis* apresentou comportamento exponencial nos dois volumes de aplicação, em ambas as condições agrometeorológicas (9:00 e 21:00 horas). Portanto, os modelos estão ajustados ao fenômeno biológico expressado, que por sua vez está atrelado a condições como: as condições agrometeorológicas nos horários de aplicação, as concentrações do glyphosate na calda nos dois experimentos.

No experimento 1, aos 10 DAA, a evolução do controle da *U. ruziziensis* foi acima de 80% somente nas condições agrometeorológicas das 9:00 horas ao aplicar 50 L ha<sup>-1</sup> com 39 g e.a. L<sup>-1</sup> na calda (Figuras 2A e 2B). Esta concentração de glyphosate, associado ao volume de aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup> nas mesmas condições agrometeorológicas, proporcionou controle de 71,7%. Às 21:00 h, o controle mesmo com a maior concentração do glyphosate (39 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda) não ultrapassou os 35% com os dois volumes de aplicação. Isto pode ser relacionado com a precipitação pluviométrica de 3,5 mm que ocorreu 02h35min após o término da aplicação, associado à ausência de irradiância. Provavelmente, devido às características físico-químicas do glyphosate, a penetração na camada epicuticular e a absorção via células da epiderme é lenta. Geralmente, em algumas formulações, devido a suas características hidrofílicas, esta molécula necessita de até seis horas sem chuvas após a aplicação para que o controle de plantas suscetíveis seja satisfatório (MARTINI; PEDRINHO JR; DURIGAN, 2003). Para espécies de plantas como a *Senna obtusifolia*, formulações com esta molécula (Roundup Ultra<sup>®</sup>) podem apresentar eficácia a curto espaço de tempo (SOUZA et al., 2014). Entretanto, no caso desta pesquisa, a ausência de irradiância associado ao estresse hídrico na *U. ruziziensis* pode ter retardado a absorção e translocação do glyphosate (ZANATTA et al. 2007; SHARKHUU et al., 2014).

No segundo experimento, aos 10 DAA, para os dois volumes de aplicação e nas condições agrometeorológicas relacionadas às 9:00 horas, o controle da *U. ruziziensis* foi de 85,8 e 81,7% nas concentrações de 9,75 e 4,785 g e.a. L<sup>-1</sup> calda (Figura 1G e 1H). Esta concentração de glyphosate às 21:00 horas resultou no controle de 87 e 78%, respectivamente. Enquanto no experimento 2, aos 10 DAA,

houve controle da *U. ruzizensis* acima 80% ao aplicar 9,75 e 4,785 g e.a. L<sup>-1</sup>, com 25 e 50 L ha<sup>-1</sup>. Este mesmo controle para o experimento 1 só foi obtido com 50 L ha<sup>-1</sup> e com 39 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda com aplicação nas condições agrometeorológicas às 9:00 horas. Isto pode estar relacionado ao intervalo de irrigação antes e após a aplicação no experimento. Ainda, vale salientar que as concentrações de 9,75 e 4,785 g e.a. L<sup>-1</sup> na calda associadas aos respectivos volumes de aplicação de 25 e 50 L ha<sup>-1</sup>, proporcionam a mesma dosagem de glyphosate, 244 g e.a. ha<sup>-1</sup>, isto evidencia que em umidade do solo do solo adequadas, como no experimento 2, pequenas dosagens controlam eficazmente a *U. ruzizensis* independentemente do volume de aplicação, 25 ou 50 L ha<sup>-1</sup>, já nos 10 DAA.



**Figura 1.** Porcentagem de controle da *U. ruziziensis* aos 10, 15 e 20 DAA para as concentrações de glyphosate e volumes de aplicação. Jaboticabal-SP. 2016.

O controle da *U. ruziziensis* acima de 80% em campo logo aos 10 DAA com ambos os volumes de aplicação, possibilita semeadura a partir desse período sem reduzir significativamente a produtividade de culturas graníferas (NUNES et al., 2009; NASCENTE; CRUSCIOL, 2012; NEPOMUCENO et al., 2012; GIANCOTTI et al., 2015). Ressalta-se que a redução na produtividade de soja por esta espécie, é devido à produção de uma substância química (protodioscina) que proporciona efeitos fitotóxico em plântulas de soja, efeito alelopático (NEPOMUCENO et al., 2017). Ainda, o efeito residual da mesma pode perdurar por até 10 DAA associada à precipitação pluviométrica de 80 mm (NEPOMUCENO 2011, NEPOMUCENO et al., 2017).

No primeiro experimento, aos 15 DAA (Figuras 1C e 1D) e aos 20 DAA (Figuras 1E e 1F), nas condições agrometeorológicas relacionadas às 9:00 horas, com o volume de calda de 25 L ha<sup>-1</sup>, o controle da *U. ruziziensis* foi acima de 80% somente com 39 g e.a. L<sup>-1</sup>. Já com o volume de aplicação de 50 L ha<sup>-1</sup>, o controle foi acima 90% com as concentrações de 19,5 e 39 g e.a. L<sup>-1</sup>. Assim, em condições em que as plantas se encontram sob estresse hídrico, o aumento no volume de aplicação (L ha<sup>-1</sup>) pode incrementar a porcentagem de controle da *U. ruziziensis* com uma concentração menor (19,5 L ha<sup>-1</sup>) e mesma dosagem conforme Tabela 1. No segundo experimento, o controle da *U. ruziziensis* acima de 90% aos 15 DAA (Figuras 1I e 1J) e aos 20 DAA (Figuras 1L e 1M) em concentrações/doses menores que no experimento 1, nas condições agrometeorológicas às 9:00 e 21:00 horas em ambos os volumes de aplicação, é devido umidade do solo do solo ideais e consequentemente a *U. ruziziensis* sem estresse hídrico.

Nos dois experimentos aos 20 DAA e às 21:00 horas houve redução do controle da *U. ruziziensis* em algumas concentrações de glyphosate com os dois volumes de aplicação, devido a recuperação das plantas à fitointoxicação causada pelo herbicida e/ou rebrote. Nestes casos, foi atribuída nota zero. Com a aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup> de calda, houve redução no controle ao usar as concentrações de 2,438 e 4,875 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda. Já com o volume de aplicação de 50 L ha<sup>-1</sup>, houve rebrote somente na concentração de 2,438 g e.a. L<sup>-1</sup>. Desta maneira, é possível afirmar que cada volume de calda (25 e 50 L ha<sup>-1</sup>) possui concentrações próprias para o controle da *U. ruziziensis*, embora haja uma dosagem mínima em g e.a. ha<sup>-1</sup> para os dois volumes de aplicação para exercer controle eficaz da *U. ruziziensis*, conforme detalhado na Tabela 1. Verifica-se que

a dosagem mínima é a mesma para os respectivos volumes de aplicação, independente das concentrações utilizadas nesta pesquisa (Tabela 1).

Ao trabalhar com volumes de aplicação reduzidos, é necessário evidenciar o equilíbrio entre absorção e translocação do glyphosate em relação à concentração do mesmo na calda, de forma a evitar perdas na eficácia de controle das plantas (LIU et al., 1996). Portanto, Almeida et al. (2015) constataram que a elevação da concentração de 4,875 para 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> poderá proporcionar incrementos no controle de *U. ruziziensis* ao manter a dosagem em 975 g e.a. ha<sup>-1</sup> e reduzir o volume de aplicação de 200 para 50 L ha<sup>-1</sup>.

Esta pesquisa evidencia a importância de se atentar quanto ao período sem chuva após a aplicação (*rainfastness*) em aplicações realizadas a noite (Figuras 2A a 2F), presumindo-se que uma forma de minimizar a perda da eficácia de controle da *U. ruziziensis* em aplicações noturnas será ajustar as concentrações/dosagem do glyphosate em função da resistência a chuva atrelada a resposta biológica de diferentes formulações do herbicida (Figura 1E e 2F).

#### 4. CONCLUSÃO

As concentrações de glyphosate na calda em interação com as condições agrometeorológicas influenciam na eficácia de controle da *U. ruziziensis*.

Para o controle satisfatório da *U. ruziziensis*, cada volume de aplicação, 25 e 50 L ha<sup>-1</sup>, possui concentrações ideais de glyphosate na calda, específica para cada condições agrometeorológicas com e sem chuva após aplicação. Em condições favoráveis agrometeorológicas e de umidade do solo, a concentração de 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup> proporciona controle acima de 80% da *U. ruziziensis* aos 15 DAA, momento considerado ideal para semeadura.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. P.; TIMOSSI, P. C.; LIMA, S. F.; SILVA, U. R.; REIS, E. F. Condições atmosféricas e volumes de aplicação na dessecação de *Urochloa ruziziensis* e vegetação espontânea. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 3, p. 245-251, 2014.
- ALMEIDA, D. P.; TIMOSSI, P. C.; LIMA, S. F.; SILVA, U. R.; REIS, E. F. Droplets size categories and application volumes in burndown of plant covers. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, n. 1, p. 73-82, 2015.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. Funep. 4. ed. Jaboticabal, 2013. 237p.

FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>> Acesso em: 25 de fev. 2018.

GIANCOTTI, P. R. F.; NEPOMUCENO, M. P.; ALVES, P. L. C. A.; YAMAUTI, M. S. Ideal desiccation periods of *Urochloa ruziziensis* for a no-till sunflower crop. **International Journal of Plant Production**, v. 9, n.1, p. 39-50, 2015.

MARTINI, G; PEDRINHO JUNIOR, A. F. F. DURIGAN, J. C. Eficácia do herbicida glifosato-potássico submetido à chuva simulada após a aplicação. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.39-45, 2003.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.47, n.2, p.187-192, 2012.

NUNES, A. S.; TIMOSSI, P. C.; PAVANI, M. C. M. D.; ALVES, P. L. C. A. Épocas de manejo químico de *Brachiaria decumbens* antecedendo o Plantio Direto de soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.2, p.297-302, 2009.

NEPOMUCENO, M. **Intervalo de dessecação de *Urochloa ruziziensis* (R German & Evrard) crins e seu efeito alelopático na cultura da soja RR**. 2011. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2011.

NEPOMUCENO, M.; VARELA, R. M.; ALVES, P. L. C.A.; MARTINS, J. V. F. Períodos de dessecação de *Urochloa ruziziensis* e seu reflexo na produtividade da soja RR. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 557-565, 2012.

NEPOMUCENO, M.; CHINCHILLA, N.; VARELA, R. M.; MOLINILLO, J M. G.; LACRET, R.; ALVES, P. L. C. A.; MACIAS, F. A. Chemical evidence for the effect of *Urochloa ruziziensis* on glyphosate-resistant soybeans. **Pest management science**, v. 73, n. 10, p. 2071-2078, 2017.

LIU, S. H.; CAMPBELL R. A.; STUDENS, J. A.; SOURCE, R. G. W. Absorption and translocation of glyphosate in aspen (*Populus tremuloides* Michx) as influenced by droplet size, droplet number, and herbicide concentration. **Weed Science**, v.44, n.3, p.482-488, 1996.

SILVA, U. A.; TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; LIMA, S. F. Eficácia do glyphosate na dessecação de espécies de *Urochloa*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p. 202-209, 2013.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. Latossolos. In: \_\_\_\_\_. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed. Brasília :Brasília: Embrapa, 2014., Cap. 10 p. 171 - 194.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004, 416p.

SOUZA, G. S. F.; MARTINS, D.; PEREIRA, M. R. R.; BAGATTA, M. V. B. Ação da chuva na eficiência de herbicidas aplicados em pós-emergência no controle de *Senna obtusifolia*. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 3, p. 550-557, Fev, 2014

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD). **Identificação e manejo de plantas daninhas resistentes aos herbicidas**. Londrina: SBCPD, 2000. p. 32.

SHARKHUU, A.; NARASIMHAN, M. L.; MERZABAN, J. S.; BRESSAN, R. A.; WELLER, S.; GEHRING, C. A red and far-red light receptor mutation confers resistance to the herbicide glyphosate. **The Plant Journal**, London, v.78, n.6, p.916-926, 2014.

TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; RAMOS, A. R.; FELISBERTO, P. A. C.; LIMA, S. F.; SILVA, U. R. Glyphosate effectiveness in the burndown of signalgrass at two levels of biomass. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n.4, p. 313-322, 2016.

ZANATTA, J. F.; PROCÓPIO, S. O.; MANICA, R.; PAULETTO, E. A.; CARGNELUTTI FILHO, A.; VARGAS, L.; SGANZERLA, D. C.; ROSENTHAL, M. D. A.; PINTO, J. J. O. Teores de água no solo e eficácia do herbicida glyphosate no controle de *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.3, p.799-811, 2007.

#### **CAPÍTULO 4 – MODELAGEM DE DESSECAÇÃO DE *Urochloa ruziziensis* COM VOLUME DE CALDA REDUZIDO EM FUNÇÃO DE CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS**

**RESUMO:** As condições agrometeorológicas podem influenciar na eficiência da aplicação de produtos fitossanitários, assim para evitar perdas de depósitos do herbicida sobre plantas é importante conhecer os fatores que possam interferir na aplicação. Objetivou-se desenvolver modelos para verificar a influência de seis condições agrometeorológicas no decorrer do dia na eficiência da aplicação com volume de calda reduzido, bem como relação destes aspectos na eficácia da dessecação de *Urochloa ruziziensis*. As parcelas foram constituídas por seis condições agrometeorológicas, proporcionadas por seis horários de aplicação (6:00, 10:00, 14:00, 18:00, 22:00, 2:00) e, as sub-parcelas por duas concentrações de glyphosate na calda (9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup>). A eficiência da aplicação foi determinada pela densidade de gotas (gotas cm<sup>2</sup>), cobertura por gotas e depósito de calda em *U. ruziziensis* e no solo (%). A eficácia foi quantificada em porcentagens de controle aos 10, 15 e 20 dias após a aplicação. Os dados foram analisados por análise variância, testes de média e por análises multivariadas. O agrupamento dos componentes evidencia as interações entre variáveis independentes com a eficiência e eficácia, de forma que eficácia de controle é afetada pela interação entre as variáveis agrometeorológicas: déficit de pressão de vapor d'água ( $\Delta e$ ), irradiância e velocidade do vento ( $u$ ). O incremento na densidade de gotas e cobertura reduz o depósito de calda na *U. ruziziensis* e por consequência sua dessecação. A eficiência da aplicação tem suas variações explicadas pelo  $\Delta e$ , pela  $T$  e  $u$  ao analisar pela classificação e regressão por árvore (CRT). Em porcentagem de importância sobre eficiência da aplicação há predomínio da seguinte ordem das variáveis agrometeorológicas:  $\Delta e$ ,  $T$  e  $u$ .

**Palavras-chave:** Árvore de decisão, condições agrometeorológicas, volume de calda, concentração de glyphosate; plantio direto.

#### CHAPTER 4. DESIGNATION MODELING BURNDOWN OF *Urochloa ruziziensis* WITH REDUCED CALCULATED VOLUME IN THE FUNCTION OF ATMOSPHERIC CONDITIONS

**Abstract:** Agrometeorological conditions can influence the efficiency of the application of phytosanitary products, so to avoid losses of herbicide deposits on plants, it is important to know the factors that may interfere with the application. The objective was to develop models to verify the influence of six agrometeorological conditions during the day on the efficiency of the application with reduced spray volume, as well as relation of these aspects on the effectiveness of the desiccation of *Urochloa ruziziensis*. The plots consisted of six agrometeorological conditions, provided by six application schedules (6:00, 10:00, 14:00, 18:00, 22:00, 2:00), and the subplots for two concentrations of glyphosate in the syrup (9.75 and 19.5 g a.e. L<sup>-1</sup>). The efficiency of the application was determined by the density of droplets (droplets cm<sup>2</sup>), drop coverage and *U. ruziziensis* and soil deposition (%). The efficacy was quantified in control percentages at 10, 15 and 20 days after application. Data were analyzed by analysis of variance, mean tests and by multivariate analysis. The grouping of the components shows the interactions between independent variables with efficiency and effectiveness, so that control efficiency is affected by the interaction between agrometeorological variables: water vapor pressure deficit ( $\Delta e$ ), irradiance and wind speed ( $u$ ). The increase in droplet density and coverage reduces the deposit of *U. ruziziensis* and consequently its desiccation. The efficiency of the application has its variations explained by  $\Delta e$ , by  $T$  and  $u$  analyzed by classification and regression by tree (CRT). In percentage of importance on efficiency of application the following order of the agrometeorological variables predominates:  $\Delta e$ ,  $T$  and  $u$ .

**Keywords:** Agrometeorological conditions, concentration of glyphosate, decision tree, no-tillage, spray volume.

## 1. INTRODUÇÃO

A implantação e o estabelecimento de culturas são necessárias aplicações de herbicidas desde a pré-semeadura, pré-plantio e/ou antes, do transplante para dessecção de cobertura vegetal existente. As condições agrometeorológicas podem influenciar na eficiência da aplicação de produtos fitossanitários, assim para evitar perdas de depósitos do herbicida sobre plantas é importante conhecer os fatores que possam interferir na aplicação via líquida.

Em pulverizações de herbicidas, a água é o veículo mais utilizado para levar e distribuir o produto sobre as plantas (MATUO, 1990). O volume de aplicação combinado com as condições agrometeorológicas e a concentração de produtos diluídos na calda podem influenciar na qualidade de distribuição, deposição e consequentemente na dinâmica fisiológica e eficácia dos herbicidas (FERREIRA et al., 1998; ALMEIDA et al., 2014).

As pesquisas que relacionam a tecnologia de aplicação com as condições agrometeorológicas, normalmente são realizadas em condições controladas de temperatura do ar, umidade relativa e/ou déficit de pressão de vapor d'água e velocidade do vento. Assim, buscam prever potenciais perdas de cobertura e depósito de produto no alvo (deriva) a partir de uma determinada situação pré-definida (MOREIRA JUNIOR; ANTUNIAS, 2010; GRIESANG et al., 2017). Porém, as particularidades climáticas micro regionais podem interferir nos resultados, justificando pesquisas em condições de campo diferentes, pois em laboratório não se tem a mesma variabilidade das condições agrometeorológicas devido à inexistência de interação entre as mesmas.

Devido à demanda do setor agrícola por maior rendimento operacional, pesquisadores da área de fitossanidade têm realizado trabalhos no intuito de verificar a possibilidade da redução do volume de aplicação em pulverizações agrícolas com herbicidas (FERREIRA et al., 1998; ALMEIDA et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015; ALMEIDA et al., 2016). Pesquisas à campo têm apontado que perdas de eficiência do tratamento fitossanitário podem estar relacionadas ao uso de volume de calda reduzido em condições agrometeorológicas adversas à aplicação eficiente ou para as interações fisiológicas da molécula com o alvo (FERREIRA et al., 1998; NASCIMENTO et al., 2012; ALMEIDA et al., 2014; CIESLIK et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015). Entretanto, nestes estudos não é

elucidada a força de cada variável atmosférica (Temperatura do ar; déficit de pressão de vapor d'água; velocidade do vento e irradiância solar) ao interagir com as variáveis respostas (densidade de gotas, cobertura por gotas, depósito de calda e eficácia de controle), o que pode estar relacionado a limitações da técnica de análise dos dados empregadas nestes tipos de estudo.

É necessário evidenciar a eficiência do uso de volume de calda reduzido associado às variações agrometeorológicas ao longo do dia com concentrações diferentes de glyphosate. Assim, ao viabilizar uma técnica de aplicação de herbicidas em pré-semeadura de culturas, consequentemente minimiza-se os custos de produção e o potencial de risco da contaminação do ambiente.

Considerando a importância do estudo sobre os fatores que possam interferir nas aplicações de produtos fitossanitários, objetivou-se desenvolver modelos para verificar a influência de seis condições agrometeorológicas na eficiência da aplicação com volume de calda reduzido, bem como relação destes aspectos na eficácia da dessecação de *Urochloa ruziziensis*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos em campo foram realizados em dois locais distintos quanto à localização e microclima. Os experimentos foram instalados em áreas experimentais em Jataí (Latitude 17° 55' 32,29" S, Longitude 55° 42' 37,46" O e Altitude 687m) e em Jaboticabal (Latitude 21° 14' 21,12" S, Longitude 48° 17' 18,43" O e Altitude 590 m). Segundo Thornthwaite (1948) são classificados como B<sub>2r</sub>B'<sub>4a</sub>' e B<sub>1r</sub>B'<sub>4a</sub>', respectivamente. A distância da estação agrometeorológica de cada uma das unidades de experimentação foi de 875 m e 440 m, respectivamente.

Adotou-se o delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, nos quais os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas (6 x 2). Os fatores de interação foram constituídos pelas seis condições agrometeorológicas, proporcionadas em seis horários de aplicação (6:00, 10:00, 14:00, 18:00, 22:00, 2:00) e por duas concentrações de glyphosate na calda (9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup>).

E ambos os locais os 12 tratamentos foram aplicados o volume de aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup>. Cada unidade experimental foi composta por área total de 50 m<sup>2</sup> (10 x 5 m), considerando-se como área útil 24 m<sup>2</sup>.

Medidas horárias de temperatura do ar ( $T$ , °C), a velocidade do vento ( $u$ ,  $m\ s^{-1}$ ), a umidade relativa ( $UR$ , %) e a irradiância solar global ( $Q_g$ ,  $W\ m^{-2}$ ) referentes ao período de dessecação da cobertura vegetal foram monitoradas com termohigrômetro e um anemômetro digital da marca Instrutherm. Realizaram-se oito medidas das condições agrometeorológicas durante o período da pulverização para posteriormente obter os valores médios. Já os dados de  $Q_g$  foram obtidos pelo sensor LICOR LI-200.

A partir dos valores de  $T$  e  $UR$  calculou-se déficit de pressão de vapor d'água ( $\Delta e$ , kPa) da atmosfera, o qual expressa a avidez da atmosfera por umidade ou, o quanto de umidade (vapor) deve ser adicionado para se chegar na saturação.

Para determinar a pressão de saturação de vapor d'água ( $e_s$ ) no ar, utilizou a expressão proposta por Tetens (1930) (Equação 1):

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left[\frac{7,5 \cdot T}{237,5 + T}\right]} \quad (1)$$

em que:  $e_s$  = pressão de saturação de vapor d' água no ar (kPa).

A pressão atual de saturação de vapor d'água no ar ( $e_a$ ), foi estimada pela equação 2:

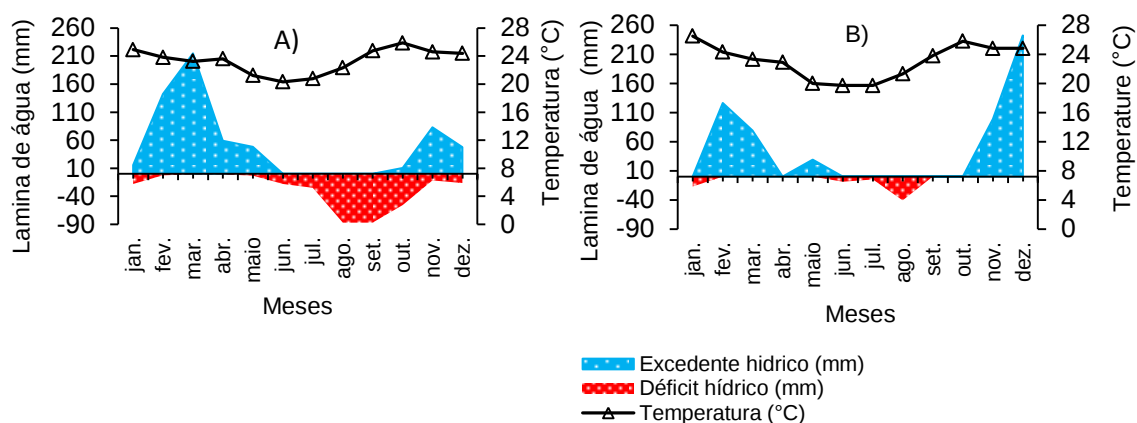
$$e_a = \frac{UR \cdot e_s}{100} \quad (2)$$

em que:  $e_a$  = pressão parcial de vapor d' água (kPa).

O  $\Delta e$  pode ser determinado pela equação 3:

$$\Delta e = e_s - e_a \quad (3)$$

Para a caracterização hídrica dos locais foi aplicado o balanço hídrico sequencial segundo Thornthwaite e Mather (1955) com capacidade de água disponível igual a 100 mm para o ano de 2015 (Figuras 1 A e 1 B).



**Figura 1.** Balanço hídrico sequencial e temperatura média mensais no ano de 2015. **A.** Jataí-GO. **B.** Jaboticabal-SP.

O início do experimento em campo ocorreu em 01 de abril de 2015 com a semeadura em linha das sementes de *U. ruziziensis* aos 200 e 220 dias antes da realização das aplicações de glyphosate em Jataí-GO e em Jaboticabal-SP, respectivamente.

A aplicação do herbicida para a dessecação da cobertura vegetal em campo ocorreu em 15 de outubro em Jataí - GO e 6 de novembro de 2015 em Jaboticabal - SP. Nos dois locais oitenta dias antes da aplicação de glyphosate a *U. ruziziensis* foi roçada a 0,15 metros do solo com a intenção de reduzir o nível de biomassa. Entretanto sabe-se que devido à sensibilidade da *U. ruziziensis* ao glyphosate, a eficácia de controle da espécie não é influenciada pelo nível de biomassa (TIMOSSI et al., 2016). No momento da aplicação, a contribuição da cobertura vegetal nos respectivos locais foi de 4,7 ( $\pm 0,25$ ) e 5,4 ( $\pm 0,17$ ) Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa seca, com altura média do dossel de 0,40 e 0,90 m, respectivamente.

Na aplicação do herbicida glyphosate (Roundup Ultra, 650 g e.a. L<sup>-1</sup>, WG, Monsanto) foi utilizado um pulverizador de pesquisa autopropelido pressurizado por CO<sub>2</sub>. A barra de aplicação foi equipada com dez pontas espaçadas 0,5 m entre si, mantida a uma altura de 0,5 m da cobertura vegetal. A pressão de trabalho nas pontas de pulverização de jato plano com indução de ar (ADIA 110007; Magnojet) foi de 300 kPa. A velocidade de deslocamento do pulverizador foi de 14,4. O tempo médio de operação para realizar a aplicação de glyphosate em cada horário foi de aproximadamente 30 minutos.

O diâmetro mediano volumétrico (DMV) real das gotas pulverizadas pela ponta de pulverização nas duas concentrações na calda (Tabela 1) foi

determinado em um analisador de tamanho de partículas por difração de raios laser (Mastersizer S, Malvern Instruments Limited).

**Tabela 1.** Diâmetro mediano volumétrico (DMV) real das gotas pulverizadas pelo modelo ADIA 110007 com o herbicida glyphosate em duas concentrações na calda e pressão de 300 kPa.

| Concentração de glyphosate na calda<br>+<br>Corante Azul Brilhante<br>(g e. a. L <sup>-1</sup> ) <sup>‡</sup> + (g de corante L <sup>-1</sup> ) | <sup>†</sup> Classe de Gotas | DMV<br>(μm) | Tensão<br>superficial |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------|-----------------------|
| 9,75 + 7                                                                                                                                        | Muito grossa                 | 434         | 45                    |
| 19,5 + 7                                                                                                                                        | Muito grossa                 | 460         | 44,8                  |

<sup>†</sup>Classe de gotas de acordo com a norma ASAE S572.1, em que Gotas Muito Grossa (DMV 404-502 μm); <sup>‡</sup> g de e.a. L<sup>-1</sup>= gramas de equivalente ácido de glyphosate por litro de calda.

## 2.1 Avaliações da cobertura e do depósito da aplicação em campo

A eficiência da aplicação, considerando densidades de gotas (DENG, gotas cm<sup>-2</sup>) e cobertura por gotas (COBG, %), foi registrada com auxílio de papéis hidrossensíveis (Spraying Systems Co). Na *U. ruziziensis*, os papéis hidrossensíveis foram fixados em suporte artificial, na posição horizontal, na altura do terço superior das plantas.

Após a passagem do pulverizador, os papéis hidrossensíveis previamente codificados foram recolhidos e embalados em sacos de plástico para evitar contaminação pela umidade do ar. Posteriormente, para análise de percentagem de cobertura de gotas e DENG, os papéis hidrossensíveis foram digitalizados com auxílio de scanner com resolução de 600 dpi. Os arquivos obtidos foram analisados pelo software Gotas<sup>®</sup> (CHAIM et al., 2012).

Para as avaliações de depósitos nas plantas e no solo (DEP, %), foi adicionado às caldas o marcador Azul Brilhante (catalogado internacionalmente pela Food, Drug & Cosmetic como Blue n.1) na concentração de 7 g L<sup>-1</sup> de calda.

Após a pulverização da calda, de cada unidade experimental foram coletadas 2 amostras da linha central de semeadura, contendo a parte aérea das plantas, sendo que em cada horário de aplicação foram coletadas 32 amostras, totalizando 384 amostras em experimento nos dois lugares, Jataí-GO e Jaboticabal-SP. Cada amostra foi constituída da cobertura vegetal coletada em 0,2 m na linha de semeadura, cortada rente ao solo e acondicionada em saco de plástico. Para quantificar o depósito de calda no solo, foi estendido do lado da

linha de semeadura, no centro de cada unidade experimental, um saco plástico retangular com 0,1 x 0,2 m, os quais foram coletados imediatamente após a aplicação. A metodologia de extração foi, e definida por meio de testes prévios de recuperação, segundo Palladini (2000) e Marchi et al. (2005). Após a extração, as amostras foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados com isolamento da luz e acondicionados em ambiente com temperatura  $25 \pm 1$  °C, para posterior análise. As amostras das plantas de cobertura foram secas em câmara de circulação forçada de ar aquecido a 65 °C por 72 horas.

As duas soluções obtidas em cada unidade experimental foram prontamente analisadas em espectrofotômetro UV-visível (Biochrom Libra S32PC). A quantificação da coloração foi por absorbância em 630 nm, faixa de detecção do corante azul utilizado, conforme metodologia apresentada por Marchi et al. (2005).

Os dados de absorbância foram transformados em concentração com o uso da curva de calibração, obtida por meio de soluções-padrão de corante. Assim, com a concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, foi determinada a massa de corante retida nos alvos. Para quantificar o depósito de calda na cobertura vegetal, realizou-se a divisão do depósito total em cada amostra coletada no campo pela sua massa seca, obtendo-se, assim, a quantidade de corante (mg) na massa seca (g), posteriormente transformou-se a massa de corante (mg) por grama de cada amostra em depósito de calda na amostra em  $\text{mL g}^{-1}$  (Equação 4).

Conhecendo as diferentes concentrações das amostras obtidas, foi possível chegar ao volume de calda de pulverização depositada ( $\text{L ha}^{-1}$ ) nas plantas e nos coletores no solo (Equação 4):

$$[ ]1.V1 = [ ]2.V2 \quad (4)$$

em que: [ ]1= concentração de corante na calda de pulverização ( $\text{g L}^{-1}$ ), no momento da aplicação; V1= quantidade de calda (mL) que depositou nas plantas coletadas e/ou no coletor no solo (saco plástico); [ ]2= concentração da amostra (mg); e V2= quantidade de água destilada utilizada na lavagem (mL).

De posse do produto dessa expressão (dados de depósito de calda na massa de plantas e nos coletores no solo), estimou-se o quanto do volume de aplicação efetivamente chegou no alvo (plantas) e no solo. Posteriormente, estes

dados foram transformados em porcentagem de depósito em função do volume total de aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup>.

## 2.2 Avaliações de eficácia do herbicida em campo

Aos 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) do glyphosate foram realizadas avaliações visuais da porcentagem de controle de *U. ruziziensis* nas seis condições agrometeorológicas, por meio de escala percentual de notas, onde 0% corresponde a nenhuma injúria visível e 100% a morte das plantas (SBCPD, 2000). As avaliações foram realizadas aos 10, 15 e 20 DAA visto que a semeadura da (s) culturas (s) no plantio direto é recomendável que ocorra após este intervalo de tempo (NUNES et al., 2009; NEPOMUCENO et al., 2012; GIANCOTTI et al., 2015).

## 2.3 Análise dos dados

Para uma avaliação conjunta de todas as variáveis do sistema foi feita uma análise de componentes principais em relação às variáveis normalizadas dos elementos meteorológicos e de resposta de eficiência de aplicação em relação à eficácia de controle, usando-se os autovalores da matriz de covariância. A análise incluiu os dados de todas variáveis e os fatores gerados com número acima de 1 foram selecionados, conforme critério de Kaiser. .

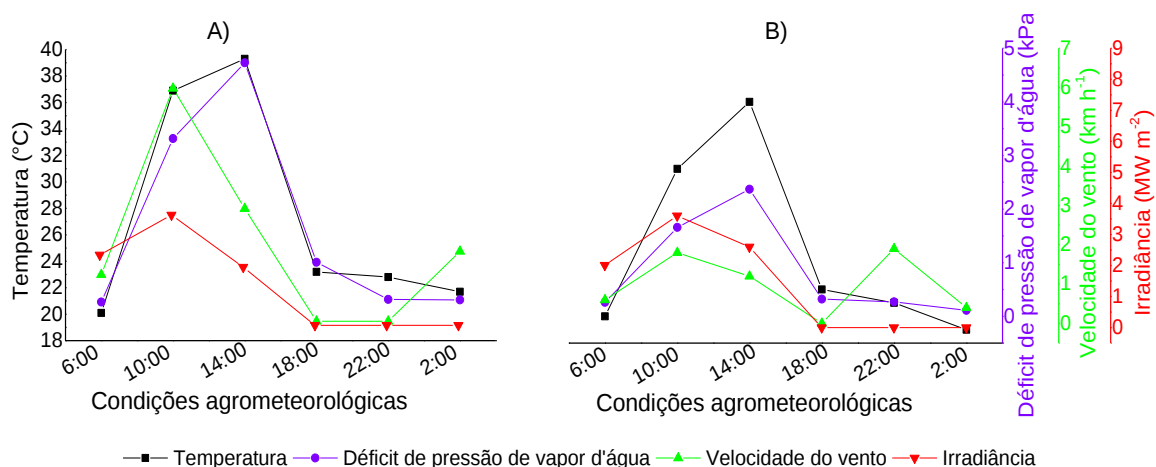
Os dados de densidade de gotas, cobertura por gotas, deposição de calda e controle da *U. ruziziensis* de cada local, em Jataí-GO e em Jaboticabal-SP foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ao nível de significância de 0,05 e as médias, quando pertinente, foram comparadas pelo teste Tukey ao nível 0,05 de probabilidade. Para tanto, foi verificada a homogeneidade das variâncias e a normalidade dos dados, respectivamente. Quando pertinente, os dados em porcentagem foram transformados pela expressão  $\arccoseno \sqrt{x \div 100}$ . Realizou-se também regressão linear simples.

Para a modelagem de DENG, COBG e DEPC em função de T, u e  $\Delta e$  foi realizada análise multivariada de regressão por árvores (CRT) com estilo de busca exaustiva por divisões univariadas como proposto por Tufféry (2011). Para tal, os dados foram hierarquizados do maior para o menor com as respectivas condições agrometeorológicas em três classes. Assim foi possível prever qual a porcentagem de importância (ranque) que cada variável independente exerceu no total de divisões de cada árvore no sistema. Foi realizada validação cruzada entre as classes observadas e classes esperadas, e posteriormente foi utilizado o teste

de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) para verificar se as classes esperadas diferiram das observadas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

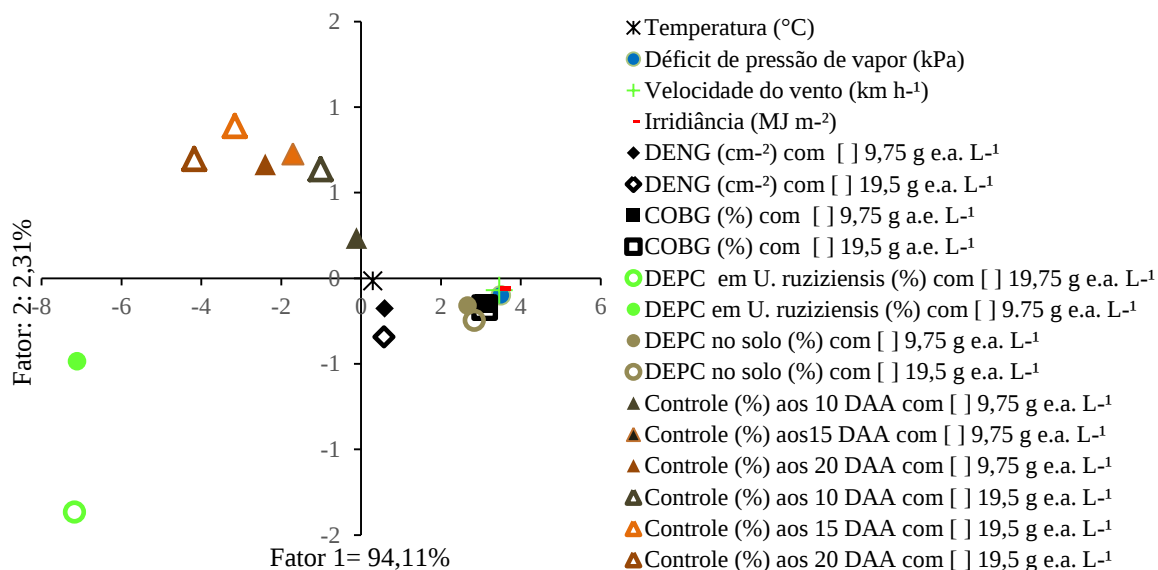
Os mesmos períodos de aplicação (horários) usados nos dois locais da pesquisa (Jataí-GO e Jaboticabal-SP) proporcionam condições agrometeorológicas distintas (Fig. 2A e 2B), após as 18:00 foram semelhantes entres os locais, exceto para a velocidade do vento.



**Figura 2.** Condições (temperatura, irradiância, velocidade do vento e déficit de pressão de vapor d'água) em cada horário de aplicação do herbicida glyphosate em *U. ruziziensis*: **A.** Experimento em Jataí-GO; **B.** Experimento em Jaboticabal-SP. 2015.

#### 3.1 Eficácia do herbicida em *U. ruziziensis* em campo

Considerando a interação entre as variáveis independentes e dependentes em função dos componentes principais (Fator 1 x Fator 2), o Fator 1 é o mais significativo, com 94,65% (Fig. 3). Assim, existe correlação positiva entre o déficit de pressão de vapor d'água, irradiância e velocidade do vento com as variáveis dependentes: COBG (%); DEPC no solo (%); eficácia de controle (%) aos 5 DAA e; DENG (gotas cm<sup>-2</sup>). Neste estudo, estas variáveis possuem correlação negativa com as variáveis: DEPC nas plantas; o controle aos 10, 15 e 20 DAA com a concentração de 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> e; porcentagem de controle aos 15 e 20 DAA com a aplicação da calda concentrada a 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup>.



**Figura 3.** Projeção da interação entre variáveis agrometeorológicas com as variáveis respostas pela análise de componentes principais, combinando-se um fator mais significativo.

Por meio da análise dos componentes principais (Fig. 3), constata-se que os o incremento do déficit de pressão de vapor d'água, irradiância e da velocidade do vento no momento da aplicação tem-se aumento da COBG (%) DENG (gotas cm<sup>-2</sup>). Entretanto, podem ocorrer maiores perdas para o solo, consequentemente menores DEPC nas plantas (%), de forma a proporcionar menor controle aos 15 e 20 dias após a aplicação com ambas às concentrações de glyphosate na calda, 9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup>. Portanto, ao aplicar herbicidas sistêmicos como glyphosate, das variáveis que mensuram a eficiência da aplicação, a deposição de calda nas plantas de *U. ruziziensis* é a única que possui correlação positiva com a porcentagem de controle após 10 DAA. Ainda, a relação da eficiência de aplicação com a eficácia de controle da *U. ruziziensis* e coma as condições agrometeorológicas, evidencia a importância da avaliação da DENG, COBG, DEPC nas plantas e solo para prever potenciais perdas de eficácia de controle de coberturas vegetais.

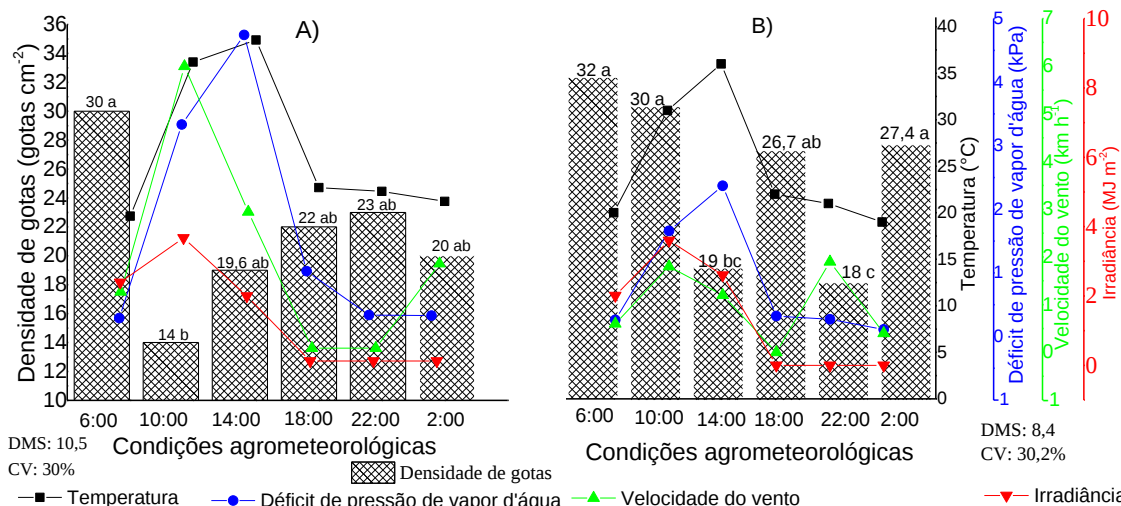
### 3.2 Avaliações da eficiência da aplicação em campo

#### 3.2.1 Análises de variância e teste de médias

O teste F da análise da variância constatou que as condições agrometeorológicas obtidas nos seis horários influenciaram ( $p \leq 0,05$ ) na

densidade gotas (gotas  $\text{cm}^{-2}$ ) nos dois locais, em Jataí-GO e Jaboticabal-SP. As concentrações do herbicida exerceram influência ( $p \leq 0,05$ ) na densidade de gotas somente na experimentação em Jataí-GO, as respectivas caldas concentrada a 9,75 e 19,5 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  proporcionaram 19 e 23 gotas  $\text{cm}^{-2}$ .

Ao aplicar 25  $\text{L ha}^{-1}$  no campo em Jataí-GO (Fig. 4A), o local com atmosfera mais seca ( $\Delta e$ ), maior  $T$ , maior  $u$  e menor  $Q_g$ , obteve-se maior densidade de gotas (gotas  $\text{cm}^{-2}$ ) as 6:00 horas sem diferenciar-se das condições 14:00, 18:00, 22:00 e 2:00 horas. A diferença entre as condições agrometeorológicas as 6:00 e 10:00 pode estar relacionada à maior  $u$  ( $6 \text{ km h}^{-1}$ ) associada ao  $\Delta e$  obtida na condição atmosférica as 10 horas do dia. A concentração de 19,5 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  (Fig. 4A) proporcionou maior densidade de gotas (23 gotas  $\text{cm}^{-2}$ ) em todas as condições agrometeorológicas, comparado a calda concentrada a 9,75 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  (19 gotas  $\text{cm}^{-2}$ ). Isto pode estar relacionado com alteração de características físico-químicas da calda (tensão superficial da calda, viscosidade) as quais podem contribuir com o aumento ou redução do diâmetro mediano volumétrico (OLIVEIRA et al., 2015; DECARO JUNIOR et al., 2015), o que altera a quantidade e risco potencial de deriva de gotas produzidas com um determinado volume de calda. Assim, pode-se afirmar que o fator concentração de produtos fitossanitários na calda possui potencial de alterar o número de gotas  $\text{cm}^{-2}$ , entretanto, diante da variabilidade das condições agrometeorológicas como o  $\Delta e$  associado ao  $u$ , poderão interagir com tal fator (Fig 2).



\*Letras minúsculas iguais comparam as médias nas condições agrometeorológicas, obtidas com as duas concentrações de glyphosate, pelo teste de Tukey ( $p \geq 0,95$ ).

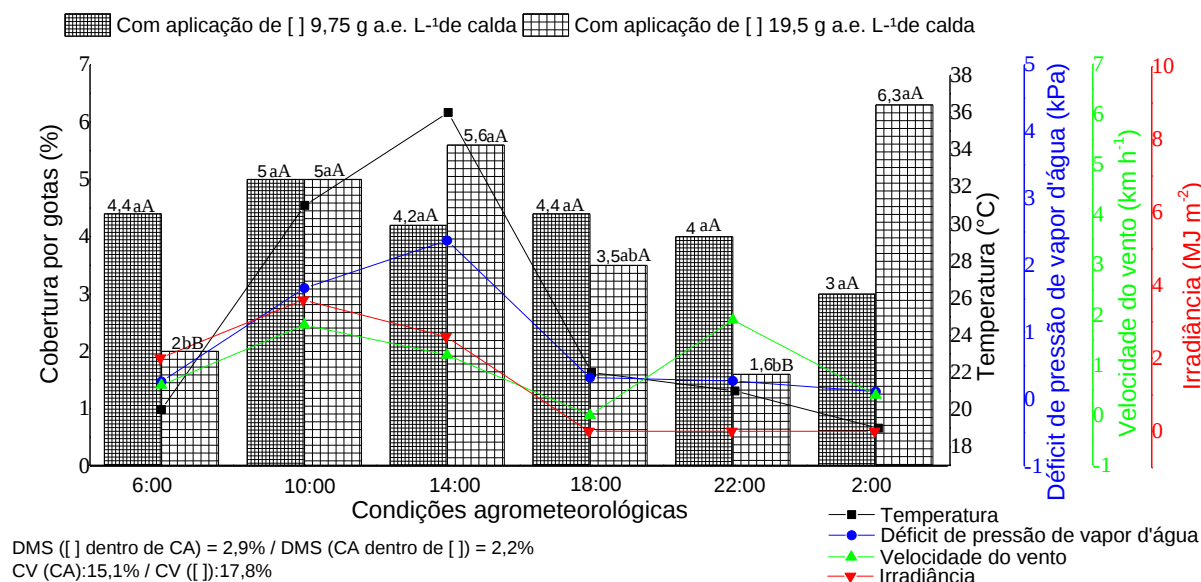
**Figura 4.** Densidade de gotas (gotas cm<sup>-2</sup>) segundo as condições agrometeorológicas às 6:00, 10:00; 14:00, 18:00, 21:00 e 2:00 e concentrações de glyphosate com o volume de aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup>  
 1: **A.** Experimento em Jataí-GO; **B.** Experimento em Jaboticabal-SP. 2015.

As condições agrometeorológicas às 6:00, 10:00 e 2:00 proporcionaram maior DENG (gotas cm<sup>-2</sup>). Ressalta-se que em Jataí o  $\Delta e$  nos horários de aplicação manteve-se abaixo de 2,37 kPa nas seis condições. Portanto, a menor quantidade de gotas depositadas às 14:00 pode estar relacionada com a formação de corrente convectiva vertical, a qual pode carregar gotas pequenas e impossibilitar que as mesmas se depositem no alvo (FERREIRA et al., 1998). Ainda, segundo Pereira et al., (2002) nos horários entre 9:00 e 14:00 horas é o período que existem maior turbilhonamento da atmosfera o que contribuiu para diminuição da densidade de gotas.

No campo em Jataí-GO, os fatores as condição atmosférica e as concentração do glyphosate não interferiram nos valores de COBG (%) ao aplicar o volume de 25 L ha<sup>-1</sup> de calda, de acordo com teste F da análise da variância ( $p \leq 0,05$ ). Constata-se que (Fig. 5), nas condições agrometeorológicas às 06:00, 10:00, 14:00, 18:00, 22:00 e 2:00, seja com 9,75 ou 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda, os valores médios de porcentagem de cobertura por gotas ficaram entre 3.9 e 5.6% e, nas concentrações 9,75 ou 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda, independentemente das

seis condições agrometeorológicas, proporcionam 4,4 e 4,5% de cobertura por gotas, respectivamente.

Em Jaboticabal-SP, houve interação (teste F ANOVA  $p \leq 0,05$ ) entre os fatores na interferência sobre os valores de COBG (%) ao pulverizar 25 L ha<sup>-1</sup> de calda (Fig. 5).



\*Letras minúsculas comparam as médias nas seis condições agrometeorológicas dentro de cada concentração, enquanto que as letras maiúsculas comparam as duas concentrações de glyphosate dentro de cada condição atmosférica, pelo teste de Tukey ( $p \geq 0,95$ ).

**Figura 5.** Desdobramento da interação significativa para porcentagem de cobertura por gotas, segundo as concentrações de glyphosate e condições agrometeorológicas com o volume de aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup>. Jaboticabal-SP, 2015

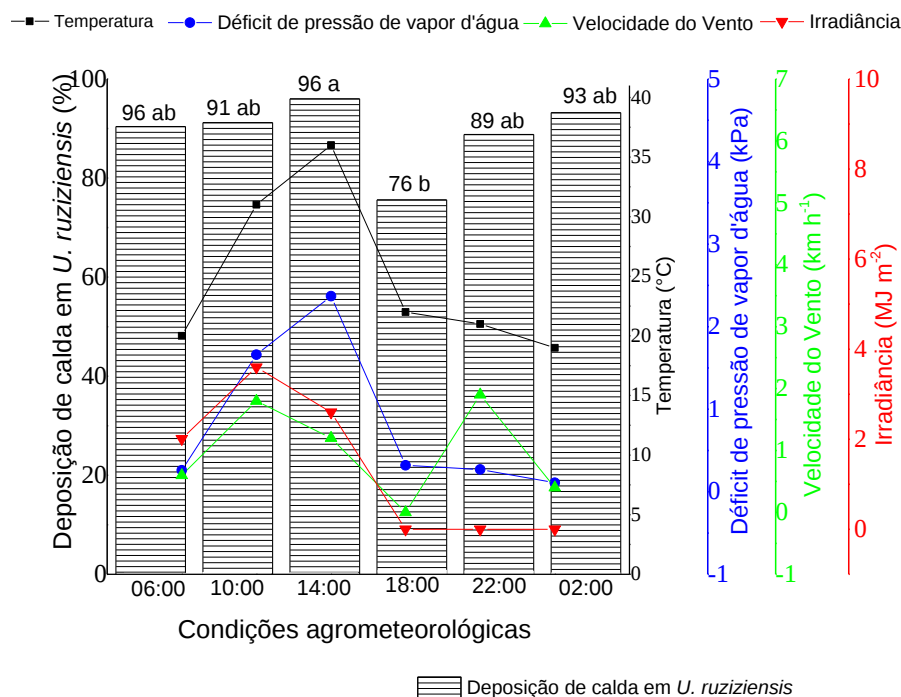
Ao pulverizar a calda contendo a concentração de 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup> ([ ] dentro de CA), COBG (%) foi igual nas condições agrometeorológicas às 6:00 e 2:00 (Fig.5). Já ao aplicar a calda com a concentração de 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup>, obteve-se menor COBG (%) nas condições agrometeorológicas às 6:00 e 22:00. O aumento da concentração de produtos fitossanitários na calda podem reduzir ou aumentar a tensão superficial e o tamanho de gotas oriundas de pontas com indução de ar (ALMEIDA et al., 2016) e, assim, mesmo ao interagir com as condições agrometeorológicas consideradas ideais às 6:00 e 22:00, pode resultar em menor cobertura.

Ao analisar os dados referentes à DEPC nas plantas de *U. ruziziensis* pelo teste F da análise da variância, ficou constatado que as seis condições

agrometeorológicas obtidas nos momentos de aplicação (seis horários) influenciaram (teste F da ANOVA  $p \leq 0,05$ ) somente no experimento localizado em Jaboticabal-SP. As concentrações (9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda) não exerceram influência (teste F da ANOVA  $p \leq 0,05$ ) sobre o depósito de calda nas plantas de *U. ruzizensis* em nenhum dos experimentos.

Em Jataí-GO, os DEPC em *U. ruzizensis* (%) foram de 61, 71, 87, 88, 86, 72% nas respectivas às 6:00, 10:00, 14:00, 18:00, 22:00 e 2:00 com as duas concentrações glyphosate na calda, 9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup>. Neste local, mesmo com déficit de pressão de vapor de 4,75 (horário de 14:00), a DEPC em *U. ruzizensis* foi de 87% mas não diferiram significativamente. As concentrações de 9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> associadas a todas as condições agrometeorológicas proporcionaram depósito 76 e 79 % do volume de aplicação (25 L ha<sup>-1</sup>).

Em Jaboticabal-SP (Fig. 6), constata-se que na condição atmosférica às 14:00 horas, no momento em que houve maior  $\Delta e$  (2,37 kPa) com valor de 96% DEPC em *U. ruzizensis*, entretanto, esta média (96%) não diferiu das condições agrometeorológicas às 6:00, 10:00, 22:00 e 2:00. Tal resultado às 18:00 horas pode estar relacionado com a inversão térmica.

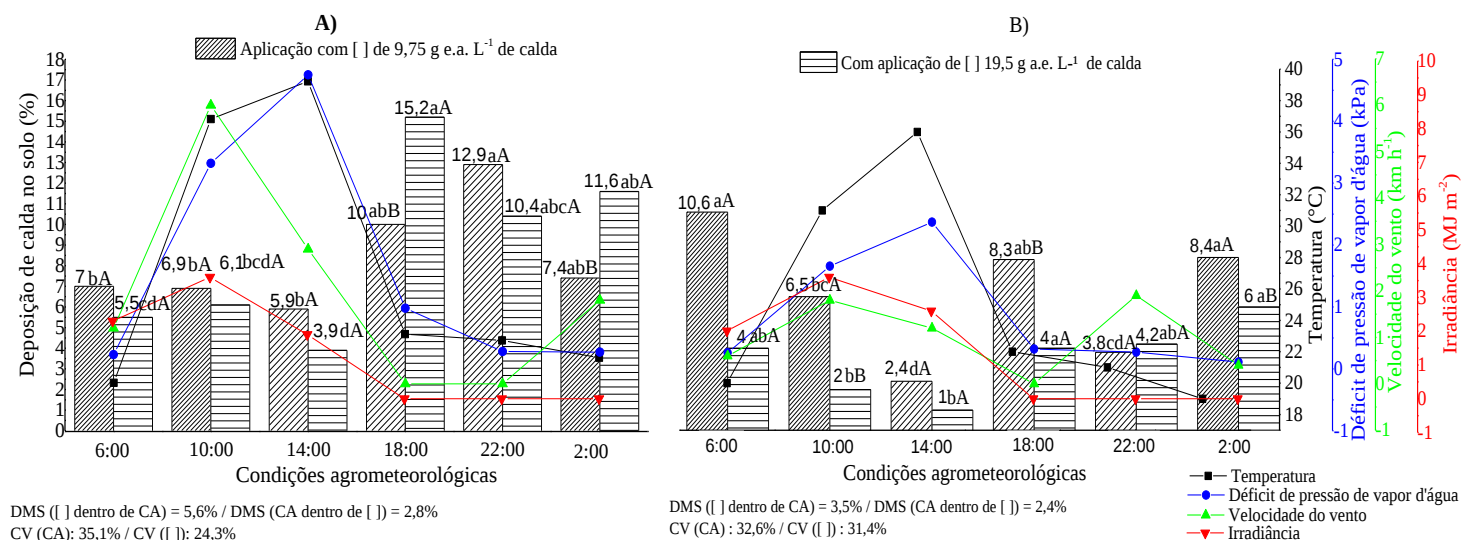


\*Letras minúsculas iguais comparam as médias nas condições, obtidas com as duas concentrações de glyphosate, pelo teste de Tukey ( $p \geq 0,95$ ).

**Figura 6.** Deposição de calda em *U. ruziziensis* (%) obtidas em seis condições agrometeorológicas e duas concentrações de glyphosate na calda com o volume de aplicação de  $25 \text{ L ha}^{-1}$  no experimento em Jaboticabal-SP. 2015.

As maiores médias DEPC em *U. ruziziensis* (%) observadas em Jaboticabal-SP (Fig. 5), pode estar relacionada também a maior quantidade de biomassa seca, que foi de  $0,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  (13%) a mais que em Jataí-GO. Ressalta-se, devido à sensibilidade da *U. ruziziensis* ao glyphosate a eficácia de controle da espécie não é influenciada pelo nível de biomassa (TIMOSSI et al., 2016). Holterman et al. (2017), com base em dados de 20 anos de deposição de calda em pomares de pêra e maçã, que o tamanho e organografia das plantas, velocidade e direção do vento e a temperatura do ar são fatores determinantes na DEPC nas plantas. Outra possibilidade é que, devido ao déficit hídrico por época da aplicação em Jataí-GO (Fig. 1 A), as folhas das plantas de *U. ruziziensis* devido à perda de turgescência das células buliformes apresentam-se enroladas e orientadas verticalmente (SANTOS et al., 2013), de forma a ocorrer redução da área foliar para o depósito das gotas e, conseqüentemente incorrer em a maior média geral de perda para o solo (Fig. 6A).

A análise de variância dos dados detectou interação (teste F  $p \leq 0,05$ ) entre os fatores concentrações (9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup>) e a porcentagem de depósito no solo nos dois locais de implantação da pesquisa (Jataí-GO e Jaboticabal-SP) (Fig. 7).



\* Letras minúsculas comparam as médias nas seis condições agrometeorológicas dentro de cada concentração, enquanto que as letras maiúsculas comparam as duas concentrações de glyphosate dentro de cada condição atmosférica, pelo teste de Tukey ( $p \geq 0,95$ ).

**Figura 7.** Desdobramento da interação significativa de deposição de calda no solo (%), segundo as concentrações de glyphosate e condições agrometeorológicas com o volume de aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup>. **A.** Experimento em Jataí-GO; **B.** Experimento em Jaboticabal-SP. 2015.

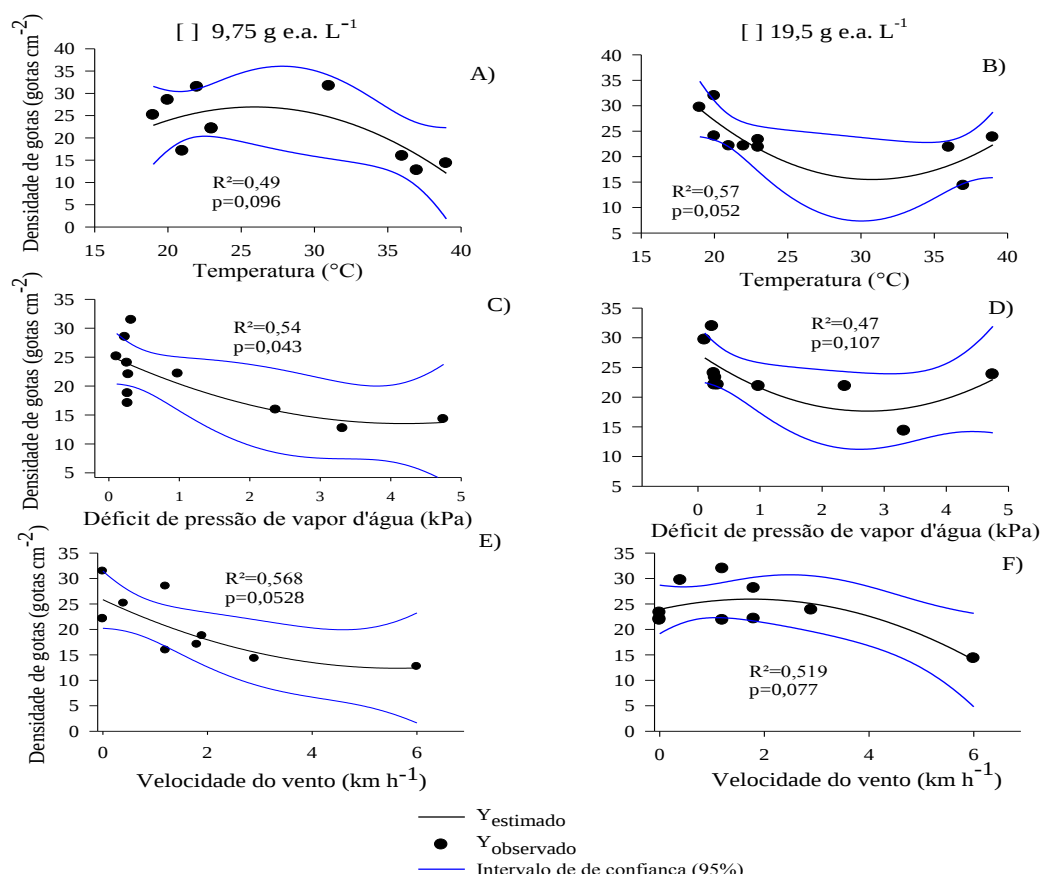
Ao aplicar as caldas contendo 9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> (7A) há ocorrência de menores perdas para o solo tanto em condições agrometeorológicas às 10:00 e 14:00 com maior  $\Delta e$  quanto em momentos com maior umidade no ar as 22:00 e 2:00.

Os resultados do teste de médias (Tukey  $p < 0,05$ ) são importantes (Fig. 4, 5, 6 e 7), entretanto, não permitem identificar quais das variáveis agrometeorológicas (T,  $\Delta e$ , u) em interação possuem maior interferência nos valores de DENG (gotas cm<sup>-2</sup>), COBG (%), DEPC em *U. ruzizensis* e no solo (%).

### 3.2.2 Análises de regressão simples

O teste F da análise de variância das regressões quadráticas possuem os níveis de significância abaixo de 0,107 (Fig. 8A a 8F). Isto indica que há probabilidade acima de 89,3% de cada variável preditora (T,  $\Delta e$ , u) possuir

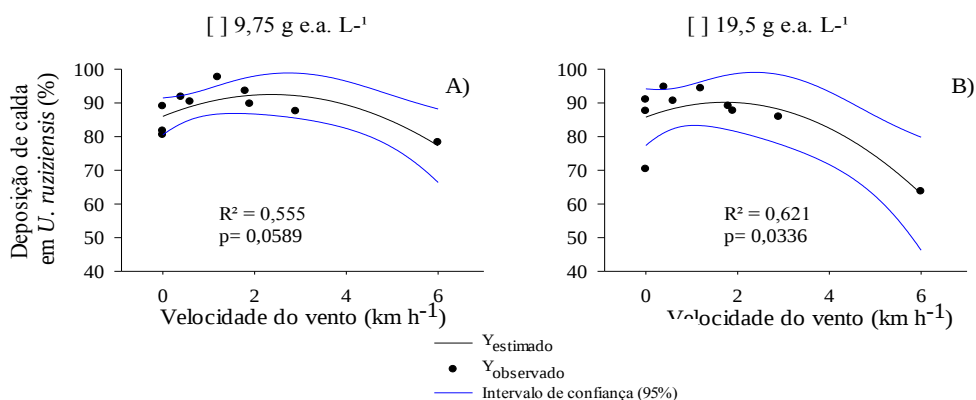
relação com a densidade de gotas. Entretanto, os coeficientes de determinação (Fig. 8A a 8F) mínimo de 0,47 para a estimação de DENG em função do  $\Delta e$  indica que existe alta variabilidade dos dados indicando que o modelo univariado, apesar de provável, ele não é suficientemente robusto a partir dos dados mensurados. Esta condição foi semelhante para as outras variáveis agrometeorológicas analisadas (T, u) para a estimação de DENG. Ao ajustar modelo de regressão linear simples estimando a densidade de gotas em função do  $\Delta e$ , Alvarenga et al. (2014) descrevem que os coeficientes de determinação também foram baixos. Assim, fica evidente que a análise de regressão linear simples pode ser limitada neste tipo de estudo, devido à possibilidade interação entre os diversos elementos meteorológicos conjuntamente sobre o número de gotas por centímetro quadrado.



**Figura 8.** Densidade de gotas (gotas cm<sup>-2</sup>) em função das condições agrometeorológicas (8A a 8F) obtidas em Jataí-GO e em Jaboticabal-SP, com duas concentrações de glyphosate (9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda) e aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup> de calda. 2015.

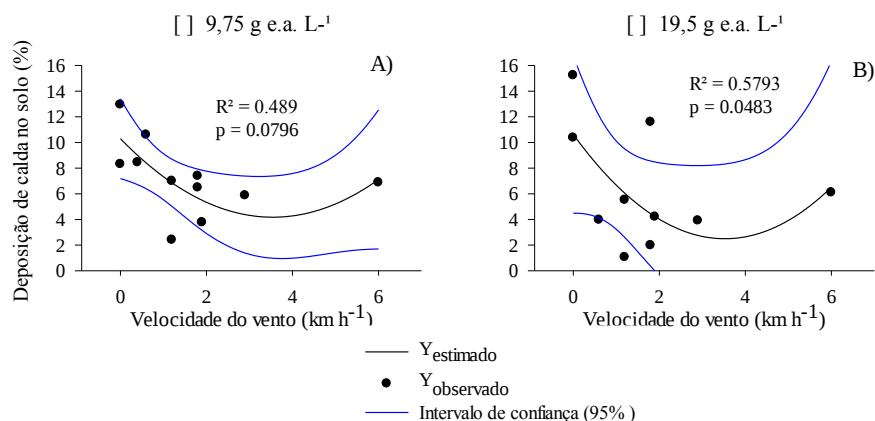
A análise de regressão simples, com ajuste quadrático não detectou e dependência da COBG (%) pelas variáveis independentes ( $T$ ,  $\Delta e$ ,  $u$ ). Esta afirmativa é justificada pelos níveis altos de probabilidade das regressões não serem significativas pelo teste F da análise de variância (teste F  $p > 0,14$ ) e pelos valores baixos dos coeficientes de determinação ( $R^2 < 0,436$ ). Ao analisar os dados de COBG (%) em função de cada variável independente ( $T$ ,  $\Delta e$ ,  $u$ ) separadamente há a possibilidade de não se detectar a influência das mesmas sobre a COBG (%) (Fig. 8). Alguns autores detectaram dependência ( $R^2 = 0,95$ ) da variável resposta (COBG%) pelo  $\Delta e$  por meio de regressão linear simples (ALVARENGA et al., 2014). Esses autores utilizaram o modelo do pulverizador, o modelo de ponta e o tamanho de gotas foram diferentes dos usados neste trabalho.

A análise de regressão simples, com ajuste quadrático não detectou a dependência DEPC em *U. ruziziensis* (%) pela  $T$  e  $\Delta e$ . Obtiveram-se níveis altos de probabilidade das regressões não serem significativas pelo teste F da análise de variância ( $p > 0,72$ ), aliado a valores baixos dos coeficientes de determinação ( $R^2 < 0,09$ ). Em função da velocidade do vento (Fig. 9A e 9B) a significância da regressão foi de 0,06 e 0,03, indicando que há a probabilidade de 94 e 97% de que a DEPC em *U. ruziziensis* (%) possa ser relacionada com esta variável independente. Assim, fica evidente que a análise de regressão simples limita este tipo de estudo, pelo fato de ocorrer possibilidade de interação entre as condições agrometeorológicas (Fig.10).



**Figura 9.** Deposição de calda em *U. ruziziensis* (%) em função da velocidade do vento (9 A e 9B) obtidas em Jataí-GO e em Jaboticabal-SP, com duas concentrações de glyphosate (9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda) e aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup> de calda. 2015.

A análise de regressão linear simples não detectou a dependência da DEPC no solo (%) pela T e pelo  $\Delta e$ . Obtiveram-se altos níveis de probabilidade das regressões não serem significativas pelo teste F da análise de variância ( $p > 0,29$ ) e valores baixos dos coeficientes de determinação ( $R^2 < 0,27$ ). Em função da velocidade do vento (Fig. 9A e 9B), a significância da regressão foi de 0.08 e 0.05, ou seja, há probabilidade de 92 e 95% de a DEPC no solo (%) possuir relação com esta variável independente. Esta relação significativa, não pressupõe que se possa estimar a DEPC no solo (%) em função da u, mas sim que esta variável independente (u) explica 49 e 58% ( $R^2 = 0,49$  e  $0,58$ ) da variação da DEPC no solo (%) (Fig. 13A e 13B).



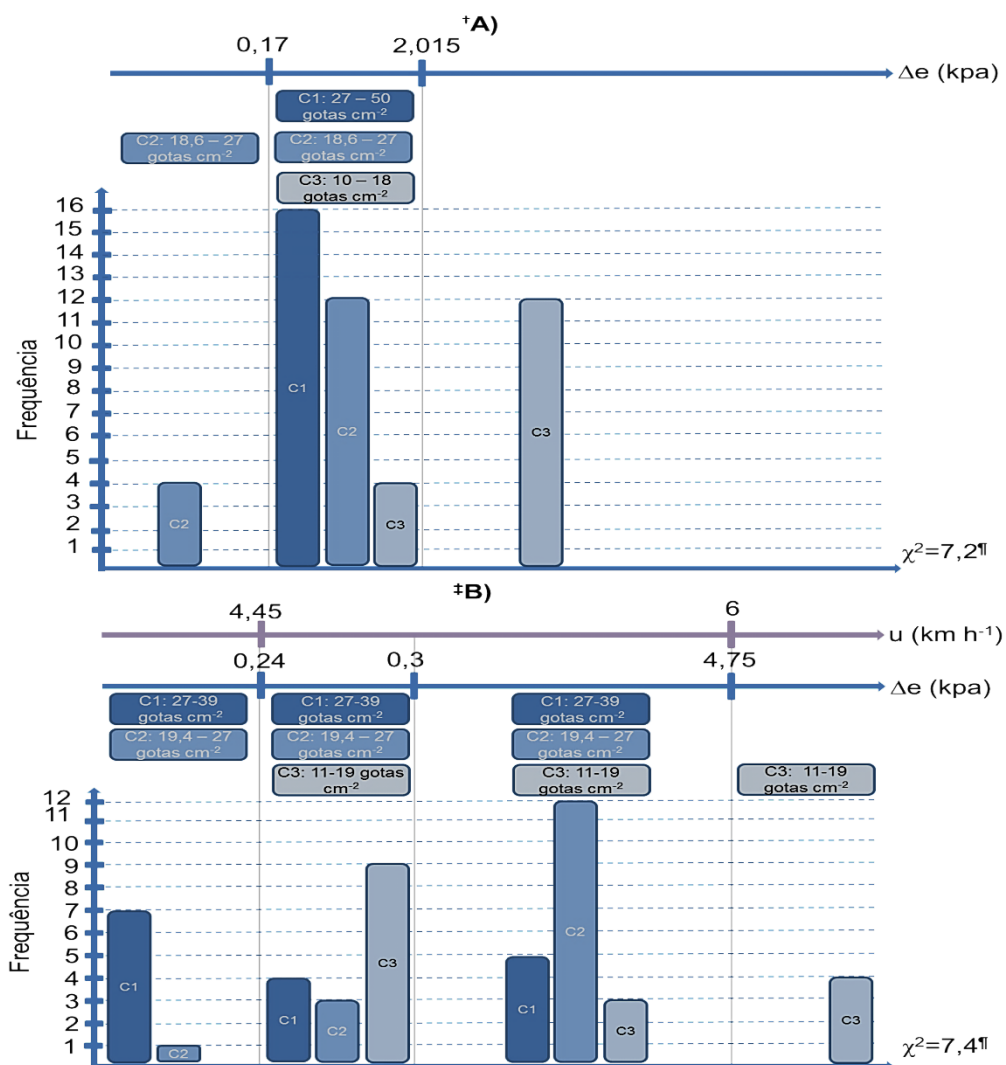
**Fig. 10.** Deposição de calda no solo (%) em função da velocidade do vento (**Fig. 10A** e **Fig. 10B**) obtidas em Jataí-GO e Jaboticabal-SP com duas concentrações de glyphosate (9,75 e 19,5 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  de calda) e aplicação de 25  $\text{L ha}^{-1}$  de calda. 2015.

### 3.2.3 Análises de regressão e classificação por árvore

As estimativas realizadas pela classificação e regressão por árvore (CRT) foram eficientes, pois as classes observadas e classes esperadas de cobertura por gotas não foram diferentes de acordo com teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (Fig 11A e 11B).

Para entendimento, cada árvore de CRT possui as divisões representadas pelos retângulos e, os nós terminais onde estão inseridos a quantidade de elementos de cada classe dos aspectos de eficiência da aplicação.

A  $T$ , o  $\Delta e$  e a  $u$  (Fig. 11A) exercem importância de 100, 100 e 63%, respectivamente, sobre as divisões das classes de cobertura ao aplicar a calda contendo 9,75 g e.a.  $L^{-1}$ . Com a calda concentrada a 19,5 g e.a.  $L^{-1}$  (Fig. 11B), a  $T$ , o  $\Delta e$  e a  $u$  exercem importância de 86, 100 e 74%, respectivamente, sobre as divisões das classes.



<sup>†</sup>Possui 2 divisões.

<sup>‡</sup>Possui 3 divisões.

<sup>¶</sup>Não significativo pelo teste qui-quadrado  $p < 0,01$ .

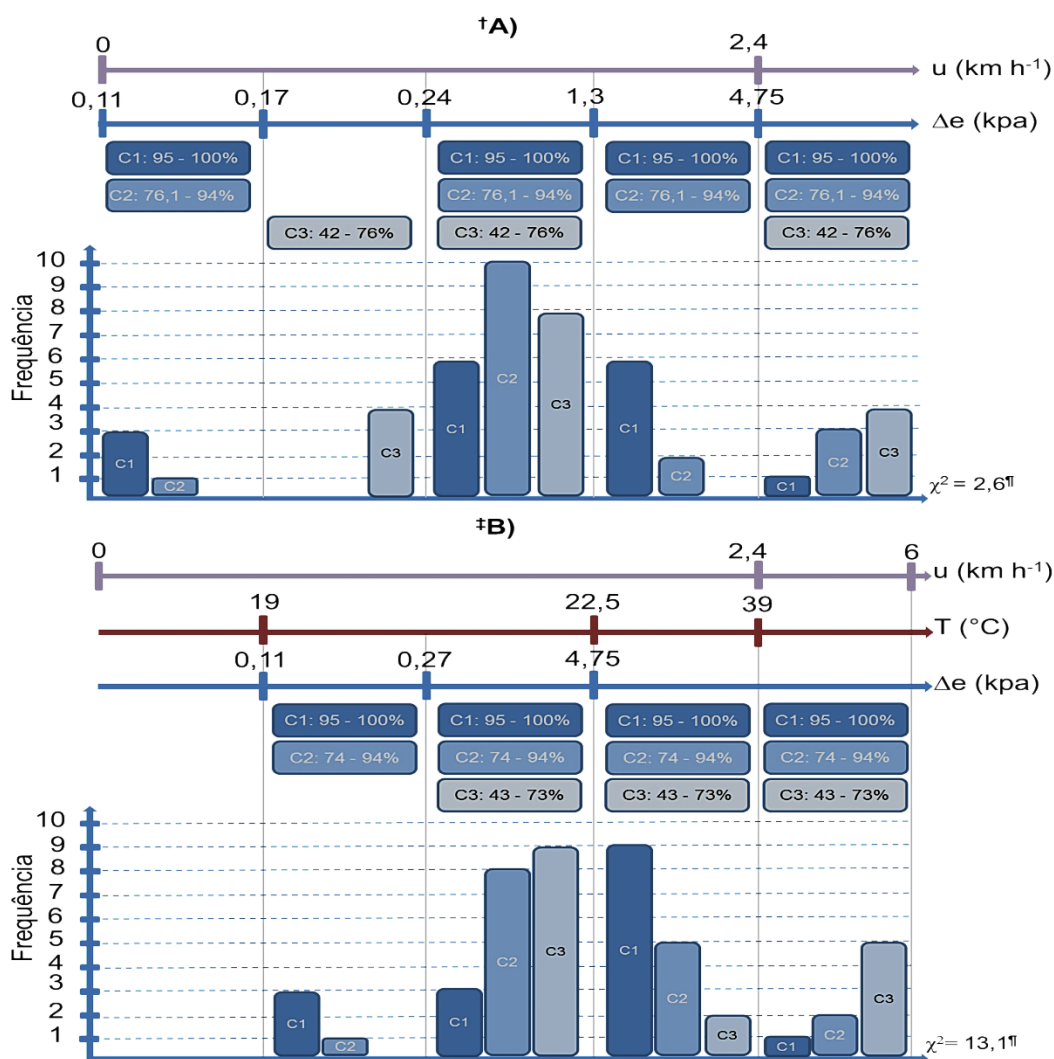
**Figura 11.** Classificação e regressão por árvore para densidade por gotas (gotas  $cm^{-2}$ ): **A.** 9,75 g e.a.  $L^{-1}$  de calda. **B.** 19,5 g e.a.  $L^{-1}$  de calda.

Pode-se obter os 16 elementos da classe 1 (Fig. 11A) com  $0,17 \leq \Delta e \leq 2,015$  (kPa), ou seja, o ambiente com esta condição proporciona maior quantidade de gotas  $cm^{-2}$  ao pulverizar a calda (9,75 g e.a.  $L^{-1}$ ). Ao aplicar a calda com 19,5 g e.a.  $L^{-1}$ , o ambiente com  $4,45 < u \leq 6$   $km\ h^{-1}$  possui maior potencial de

redução de densidade de gotas, enquanto que a  $u < 4,45 \text{ km h}^{-1}$  associada a  $0,3 < \Delta e \leq 4,75 \text{ kPa}$  propicia maior DENG (gotas  $\text{cm}^{-2}$ ) por haver maior quantidade de elementos (12 e 5) das classes 2 e 1, respectivamente (Fig. 11B). Há maior número de elementos (7) da classe 1 em ambiente com maior umidade ( $0,11 < \Delta e \leq 0,24 \text{ kPa}$ ) (Fig. 11B). Isto pode estar relacionado com a diferença no tamanho da gota entre as concentrações de glyphosate nas duas caldas, 9,75 e 19,5 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  (Tabela 1) e, indica que mesmo em condições propícias gotas maiores têm maior potencial de depositar-se no alvo.

O teste de  $\chi^2$  (Fig. 12A e 12B) não detectou diferenças entre as classes observadas e classes esperadas de cobertura por gotas.

A  $T$ ,  $\Delta e$  e  $u$  (Fig. 12A) exercem importância de 93, 100 e 75%, respectivamente, sobre as divisões das classes de cobertura ao aplicar a calda contendo 9,75 g e.a.  $\text{L}^{-1}$ . Na concentração de 19,5 g e.a.  $\text{L}^{-1}$  (Fig. 12B), a  $T$ , o  $\Delta e$  e  $u$  exercem importância de 80, 82 e 100%, respectivamente, sobre as divisões das classes.



<sup>†</sup>Possui 5 divisões e 6 nós terminais

<sup>‡</sup>Possui 5 divisões e 6 nós terminais.

<sup>¶</sup>Não significativo pelo teste qui-quadrado  $p < 0,01$ .

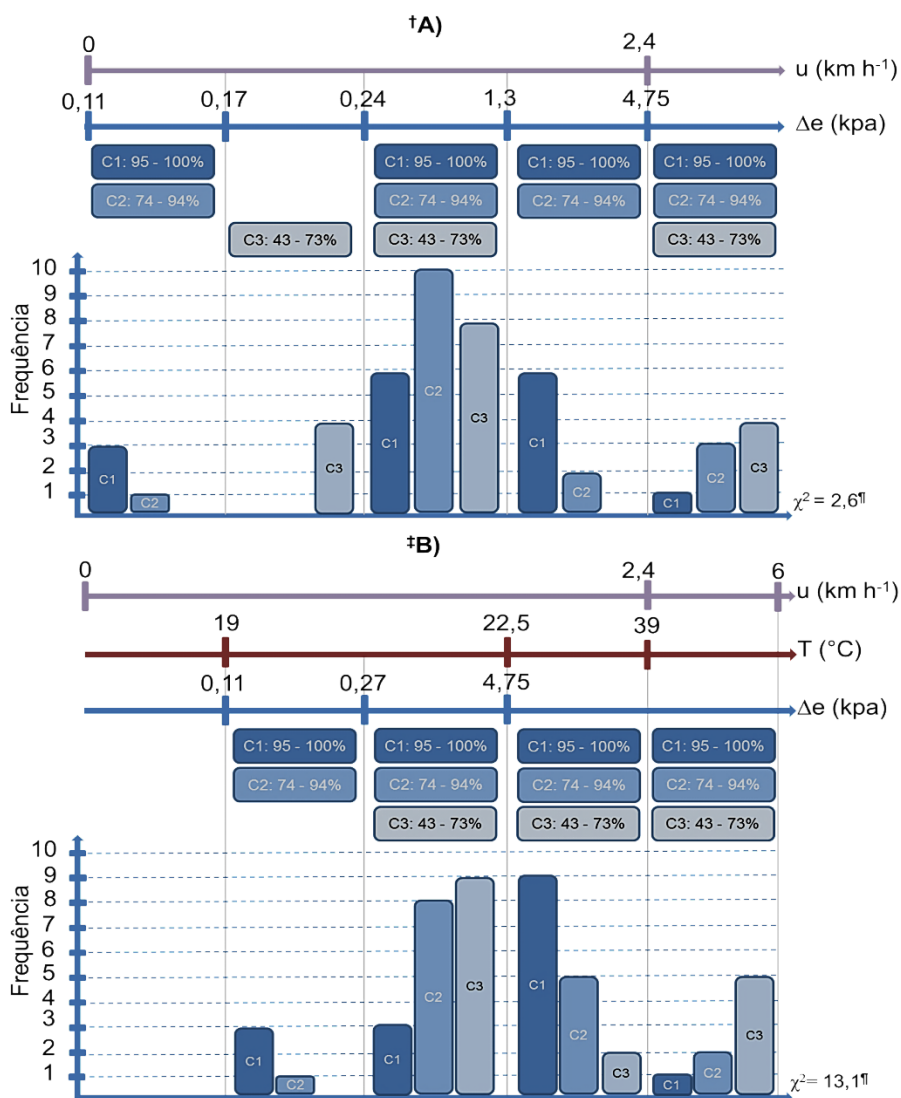
**Figura 12.** Classificação por árvore para cobertura por gotas (%) obtidas em Jataí-GO e em Jaboticabal-SP): **A.** 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda. **B.** 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda. 2015.

Pode-se obter maiores quantidades de valores (12 elementos do total de 16) da classe 1 (Fig. 12A) com  $0,17 \geq \Delta e < 0,65$  (kPa), ou seja, o ambiente com esta condição proporciona maior porcentagem de cobertura ao pulverizar a calda (9,75 g e.a. L<sup>-1</sup>). O ambiente com  $\Delta e < 0,17$  kPa e velocidade do vento entre 0,9 e 1,85 km h<sup>-1</sup> pode proporcionar maior cobertura por haver maior frequência de elementos (8 e 7) das classes 1 e 2 respectivamente.

O teste de  $\chi^2$  (Fig. 13A e 13B) não detectou diferenças entre as classes observadas e classes esperadas de cobertura por gotas.

A  $T$ , o  $\Delta e$  e a  $u$  (Fig. 13A) exercem importância de 84, 100 e 61%, respectivamente, sobre as divisões das classes de cobertura ao aplicar a calda contendo 9,75 g e.a.  $L^{-1}$ . Na concentração de 19,5 g e.a.  $L^{-1}$  (Fig. 13B), a  $T$ , o  $\Delta e$  e a  $u$ ) exercem importância de 100, 90 e 62%, respectivamente, sobre as divisões das classes.

Pode-se obter maiores quantidades de elementos das classes 1 e 2 (Fig. 13A) em ambiente com  $0,24 > \Delta e \leq 4,75$  (kPa) associado a ocorrência de  $u$  menor ou igual a  $2,4 \text{ km h}^{-1}$ . Nestas condições agrometeorológicas ocorre maior depósito da calda pulverizada a 9,75 g e.a.  $L^{-1}$  em *U. ruziziensis*. Ao pulverizar 25  $L \text{ ha}^{-1}$  concentrado a 19,5 g e.a.  $L^{-1}$  (13B), o ambiente com menor umidade ( $0,17 > \Delta e \leq 4,75$  kPa) associado a temperatura entre 19 e 22,5 °C e  $u \leq 2,4 \text{ km h}^{-1}$  ocorre menor DEPC em *U. ruziziensis* (%), pois nestas condições meteorológicas ocorre maior número de elementos da classe 3 (43-73%). Vale ressaltar que a quantidade de ingrediente ativo depositada nestas condições com as duas caldas (9,75 e 19,5 g e.a.  $L^{-1}$ ) podem ser iguais, ou ainda, quando concentrada a 19,5 g e.a.  $L^{-1}$ , o depósito de equivalente ácido do glyphosate nas plantas de *U. ruziziensis* pode ser maior, conforme observado por Almeida et al. (2016), que constataram incrementos de depósito de diquat no alvo com o aumento da concentração do herbicida nas aplicações com volume de aplicação reduzido.



<sup>†</sup>Possui 4 divisões e 5 nós terminais.

<sup>‡</sup>Possui 3 divisões e 4 nós terminais.

<sup>§</sup>Número de elementos da classe no nó terminal.

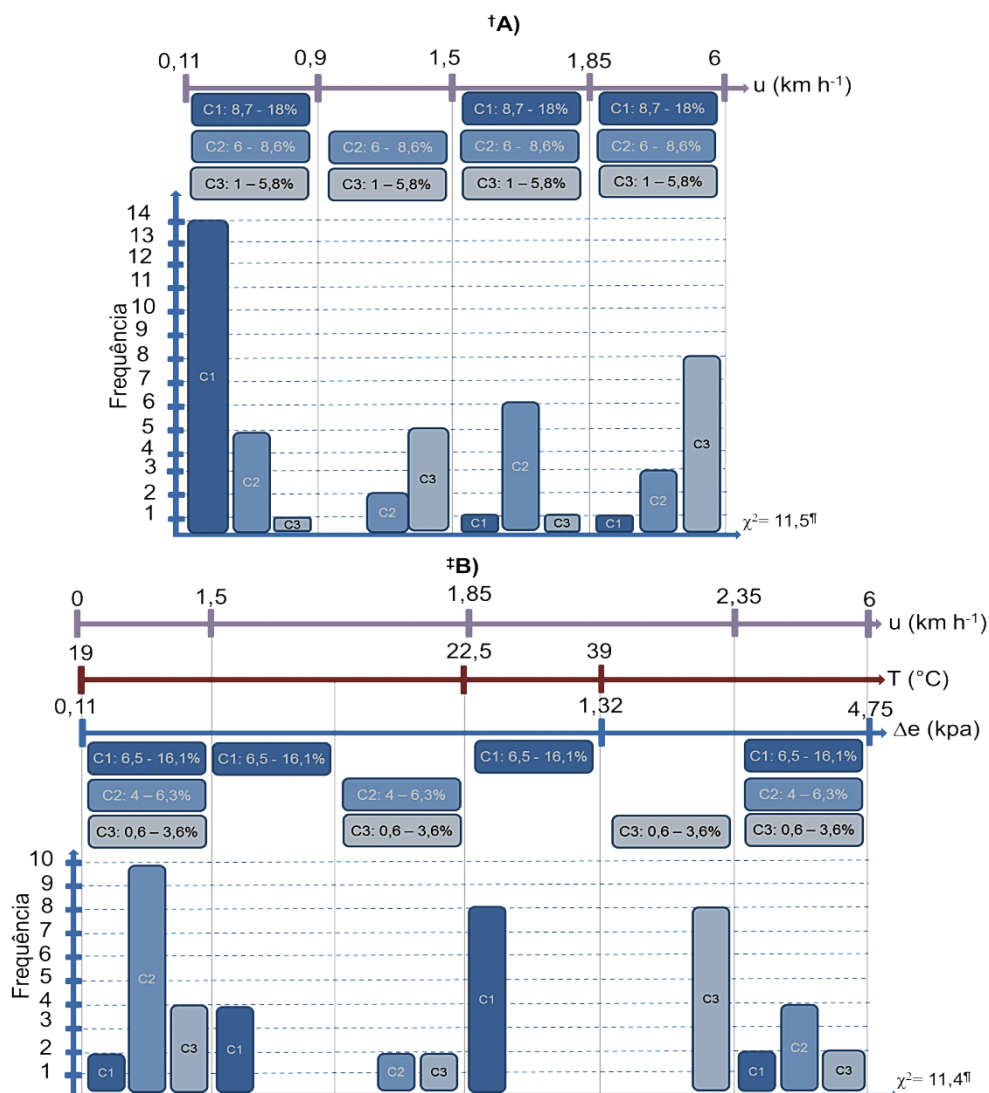
<sup>¶</sup>Não significativo pelo teste qui-quadrado  $p < 0.01$ .

**Fig. 13.** Classificação e regressão por árvore de deposição de calda em *U. ruziziensis* (%) com o volume de aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup>, obtidas em Jataí-GO e em Jaboticabal-SP: **A.** 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda. **B.** 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> de calda. 2015.

Ao pulverizar as duas caldas (9,75 e 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup>) não houve diferença entre as classes observadas e classes esperadas DEPC no solo pelo teste  $\chi^2 > 0,01$  (Fig. 14A e 14B).

A T, o Δe e a u (Fig. 14A) exercem importância de 38, 38 e 100%, respectivamente, sobre as divisões das classes de cobertura ao aplicar a calda contendo 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup>. Na concentração de 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup> (Fig. 10B), a T, o Δe e

a u exercem importância de 100%; 88%; 88%, respectivamente, sobre as divisões das classes.



<sup>†</sup>Possui 3 divisões e 4 nós terminais.

<sup>‡</sup>Possui 5 divisões e 6 nós terminais.

<sup>§</sup>Número de elementos da classe no nó terminal.

<sup>¶</sup>Não significativo pelo teste qui-quadrado  $p < 0,01$ .

**Fig. 14.** Classificação por árvore para deposição de calda no solo (%) obtida nos dois experimentos (Jataí-GO e Jaboticabal-SP): **A.** Calda com 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup>. **B.** Calda com 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup>.

Gotas de menor diâmetro, geradas a partir da calda concentrada a 9,75 g e.a. L<sup>-1</sup> (Tabela 1), a perda para o solo possui maior dependência da velocidade do vento (100%), de modo que (Fig. 14A)  $0 > u \leq 0,9$  km h<sup>-1</sup> há predomínio de maior DEPC no solo de 6 a 18% por predominarem os elementos das classes 1 e 2. Isso indica que em condições de velocidade do vento entre 0,9 a 6 km h<sup>-1</sup> a

perda para solo é menor, de 1 a 8,6%. No entanto, com ventos mais intensos poderão proporcionar perdas para áreas adjacentes (deriva), mesmo que em espaços curtos (BUENO et al., 2017; GRIESANG et al 2017). A calda na concentração de 19,5 g e.a. L<sup>-1</sup>(14B) pulverizada em ambiente com o  $\Delta e$  entre 0,11 e 1,32 kPa associado a temperatura entre 22,5 e 39 °C proporciona maiores perdas para o solo. Fica evidente que em condições de temperaturas mais altas aliadas a menores  $\Delta e$ , a taxa de evaporação das gotas pode ser reduzida e, conseqüentemente, as gotas poderão se depositar no solo (Fig.14 A e 14 B).

Os resultados das variáveis dependentes (DENG (gotas cm<sup>-2</sup>), COBG (%), DEPC em *U. ruziziensis* e no solo) que indicam a eficiência da aplicação (qualidade) têm suas variações explicadas por cada variável independente mensurada em campo (T,  $\Delta e$ , u) pelo método de classificação e regressão por árvore (CRT). Por outro lado, alguns métodos de análises estatísticas de dados como a análise de variância e teste de média e a regressão linear simples e múltipla, podem possuir limitações em detectar o efeito da cada variável independente em interação com as demais. Assim, em estudos com tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários em campo, em que se pretende verificar o efeito da interação das variáveis agrometeorológicas, deve-se atentar quanto ao método de análise dos dados. Pode-se optar em utilizar o método CRT para unir em um único modelo todas as influências das variáveis agrometeorológicas na eficiência da aplicação.

#### 4. CONCLUSÃO

O agrupamento dos componentes principais propicia maior compreensão das interações entre variáveis independentes com a eficiência da aplicação e eficácia de controle, sendo a deposição de calda nas plantas a única variável dependente que possui correlação positiva com eficácia de controle da *U. ruziziensis*. A regressão em árvore de decisão (CRT) foi robusta para a avaliação da eficiência da aplicação em função das variáveis agro agrometeorológicas (T,  $\Delta e$ , u).

A eficácia de controle é afetada pela interação entre as variáveis agro agrometeorológicas: déficit de pressão de vapor d'água, irradiância e velocidade do vento. O incremento na densidade por gotas e cobertura reduz o depósito de calda na *U. ruziziensis* e a sua dessecação.

De acordo com a regressão em árvore de decisão a ordem de importância sobre a predição da eficiência da aplicação há predomínio da seguinte ordem das variáveis agro agrometeorológicas: O déficit de pressão de vapor d'água, a temperatura e a velocidade do vento.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. P. TIMOSSO, P.C.; LIMA, S.F.; SILVA, U.R.; REIS, E.F. Droplets size categories and application volumes in burndown of plant covers. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, n. 1, p. 73-82, 2015.
- ALMEIDA, D.P.; AGOSTINI, A.R.; YAMAUCHI, A.K.; DECARO JÚNIOR, S.T.; FERREIRA, M.C. Application volumes and sizes of droplets for the application of diquat herbicide in the control of *Eichhornia crassipes*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 171-179, 2016.
- SANTOS, F. C.; TECHIO, V. H.; FREITAS, A. S.; CASTRO, E. M.; DAVIDE, L. C.; SOBRINHO, F. S. Adaptive leaf anatomical characteristics of *Brachiaria ruziziensis* (Poaceae) genotypes in different environments. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, Maringá-PR, v. 35, n. 4, p. 579-584, 2013.
- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; SIQUEIRA, D. L.; RODRIGUES, D. E.; SASAKI, R. S.; RINALDI, P.C.N. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n.1, p. 182-193, 2014.
- American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). **Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra, ANSI/ASAE S572.1**. St. Joseph, Michigan, 2009. 4 p.
- BUENO, M.R.; CUNHA, J.P.A.R., SANTANA, D.G. Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops. **Biosystems Engineering**, v. 154, Special Issue: Spray Drift Reduction, p. 35 – 45, 2017.
- CIESLIK, L.F.; VIDAL, R.A.; TREZZI, M.M. Fomesafen toxicity to bean plants as a function of the time of application and herbicide dose. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.36, n.3, p.329-334, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v36i3.17630>
- CECCON, G.; CONCENÇO, G. Produtividade de massa e dessecação de forrageiras perenes para integração lavoura-pecuária. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, p. 319-326, 2014.
- CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; CAMARGO NETO, J.; HERMES, L.C. **Gotas programa de análise de deposição de agrotóxicos: Manual de utilização**. 2012. 39 p.

DECARO JUNIOR, S.T.; FERREIRA, M.C.; LASMAR, O. Physical characteristics of oily spraying liquids and droplets formed on coffee leaves and glass surfaces. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 588-600, 2015.

FERREIRA, M. C; MACHADO-NETO, J. G.; MATUO, T. Redução da dose e do volume de calda nas aplicações noturnas de herbicidas em pós-emergência na cultura de soja. **Planta Daninha**, Jaboticabal, v. 16, n. 1, 1998.

GARCIA, L. C.; RAETANO, C. G.; JUSTINO, A; CLÁUDIO, P. Dessecação da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) com herbicida de contato, em presença ou não de assistência de ar junto à barra do pulverizador, em diferentes volumes de calda. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.758-763. 2004

GIANCOTTI, P. R. F.; NEPOMUCENO M. P.; ALVES, P. L. C. A.; YMAUTI, M. S. Ideal desiccation periods of *Urochloa ruziziensis* for a no-till sunflower crop. *International Journal of Plant Production*, v.9, n.1, p.39-50, 2015.

GRIESANG, F.; DECARO, R.A.; SANTOS, C. A. M.; SANTOS, E.S.; ROQUE, N.H.L.; FERREIRA, M. C.. How Much Do Adjuvant and Nozzles Models Reduce the Spraying Drift? Drift in Agricultural Spraying. **American Journal of Plant Sciences**, v.8, n. 11, p.2785-2794, 2017.

GUJARATI, D. N. e PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5ª ed. São Paulo: AMGH, 2011, 896p.

HOLTERMAN, H. J., ZANDE, J.C.V.; HUIJSMANS, J.F.M.; WENNEKER M. An empirical model based on phenological growth stage for predicting pesticide spray drift in pome fruit orchards. **Biosystems Enineering**, v. 154, Special Issue: Spray Drift Reduction, p. 46 – 61, 2017.

NEPOMUCENO, M.P.; VARELA, R.M.; ALVES, P.L.C.A.; MARTINS, J.V.F. Períodos de dessecação de *Urochloa ruziziensis* e seu reflexo na produtividade da soja RR. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 557-565, 2012.

NUNES, A.S., TIMOSSI, P.C., PAVANI, M.C.M.D.; ALVES, P.L.C.A. Épocas de manejo químico de *Brachiaria decumbens* antecedendo o Plantio Direto de soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.2, p.297-302, 2009.

MARCHI, S. R.; MARTINS, D.; COSTA, N.V. Terra, M.A.; Negrisoli, E. Degradação luminosa e retenção foliar dos corantes azul brilhante FDC-1 e amarelo tartrasina FDC-5 utilizados como traçadores em pulverizações. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 287–294, 2005.

MOREIRA JUNIOR, O.; ANTUNIASSI, U.R. Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.25, n.3, 2010, p.118-136.

NASCIMENTO, B. A.; de OLIVEIRA, G. M.; BALAN, M. G.; HIGASHIBARA, L. R.; ABI-SAAB, O. J. G. Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação. **Revista Brasileira de**

**Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.5, n.2, p. 105-116, 2012.

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

PALLADINI, L. A. Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 111 f. 2000.

PACHECO, L.P.; MADARI, B.E.; BARBOSA, J.M.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; PETTER, F.A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n.9, p. 1228-1236, 2013.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia “Fundamentos e Aplicações Práticas”. Livraria Editora Agropecuária: Guaíba-RS, 2002.

RODRIGUES, E. B.; ABI SAAB, O. J. G.; GANDOLFO, M. A. Cana-de-açúcar: Avaliação da taxa de aplicação e deposição do herbicida glifosato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.1, p.90–95, 2011

SILVA, U. A.; TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; LIMA, S. F. Eficácia do glyphosate na dessecação de espécies de *Urochloa*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p. 202-209, 2013.

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD). **Identificação e manejo de plantas daninhas resistentes aos herbicidas**. Londrina: SBCPD, 2000. p. 32.

TETENS, V.O. UBER einige meteorologische begriffe. **Zeitschrift fur Geophysik**, Oxford, v.6, p.297-309, 1930.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. , 1955. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology.

THORNTHWAITE, CW; MATHER, JR **O balanço hídrico**, 1955. 104p. (Publicações em Climatologia, vol. VIII, n.1)

TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; RAMOS, A. R.; FELISBERTO, P. A. C.; LIMA, S. F.; SILVA, U. R.. Glyphosate effectiveness in the burndown of signalgrass at two levels of biomass. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 4, p. 313-322, 2016.

TUFFÉRY, S. 2011. **Data Mining and Statistics for Decision Making**. 2. ed.

Chichester: Wiley.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; THISTLE, H. W. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. **Biosystems Engineering**, v. 106, n. 1, p. 58 – 67, 2010.