



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

KARINA ALINE ALVES

**DESEMPENHO DE CALDAS CONTENDO GLYPHOSATE,
2,4-D E ADJUVANTES**

KARINA ALINE ALVES

**DESEMPENHO DE CALDAS CONTENDO GLYPHOSATE,
2,4-D E ADJUVANTES**

Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi Saab

Coorientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

Londrina
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL)

Alves, Karina Aline.

Desempenho de caldas contendo glyphosate, 2,4-D e adjuvantes / Karina Aline Alves. - Londrina, 2016.
109 f. : il.

Orientador: Otávio Jorge Grigoli Abi-Saab.

Coorientador: Rone Batista de Oliveira.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Tecnologia de Aplicação - Teses. 2. Herbicidas - Teses. 3. Adjuvantes - Teses. 4. Análise Multivariada - Teses. I. Abi-Saab, Otávio Jorge Grigoli. II. Oliveira, Rone Batista de. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

KARINA ALINE ALVES

**DESEMPENHO DE CALDAS CONTENDO GLYPHOSATE, 2,4-D E
ADJUVANTES**

Tese de Doutorado apresentada ao departamento de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi-Saab
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Ricardo Ralisch
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Dana Kátia Meschede
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Marco Antônio Gandolfo
Universidade Estadual do Norte do Paraná -
UENP

Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi
Universidade Estadual Paulista – UNESP

Londrina, 19 de fevereiro de 2016.

Dedico aos meus pais, Marlene de Almeida
Alves e Ademir Alves

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por estar sempre presente em minha vida e aos meus pais pelo incentivo à realização dos meus estudos e por não medirem esforços para que isso fosse possível.

Ao meu orientador, Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi Saab, não somente pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade.

Ao professor Dr. Marco Antônio Gandolfo pelo incentivo em iniciar a pós graduação e apoio durante sua realização.

Ao professor Dr. Rone Batista de Oliveira pela coorientação e apoio na realização deste trabalho.

A todas as pessoas que se fizeram presentes durante o doutorado, colegas e funcionários das instituições UEL e UENP.

ALVES, Karina Aline **Desempenho de caldas contendo glyphosate, 2,4-D e adjuvantes**. 2016. 109f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

Esta pesquisa avaliou a aplicação dos herbicidas Roundup Original, Navajo e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes, Li700 ou Nimbus, com ênfase das características físicas e químicas da calda, no espalhamento e evaporação de gotas no alvo, deposição e cobertura da aplicação e controle de *Commelina benghalensis*. O delineamento foi inteiramente casualizado, fatorial 3 x 3, três caldas de herbicida: glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹) e a mistura em tanque de glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹) e 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹); três condições de adjuvantes: ausente, fosfatidilcolina + ácido propiônico (Li700, 0,15% v v⁻¹) e óleo mineral (Nimbus, 0,5% v v⁻¹), totalizando nove tratamentos. Foram avaliadas características físicas e químicas da calda de pulverização (formação de espuma, estabilidade, tensão superficial, densidade e pH) e parâmetros quantitativos e qualitativos (espalhamento e tempo de evaporação da gota após sua deposição no alvo, cobertura e depósito da pulverização, eficiência de controle e biomassa seca de *C. benghalensis*). Misturar Roundup Original e Navajo reduz a tensão superficial e aumenta a formação de espuma na calda, mas não altera sua persistência. Adicionar Li700 ou Nimbus aos herbicidas, reduz a tensão superficial e aumenta a formação e persistência da espuma. A adição de Li700 ao herbicida Navajo reduz o pH da solução. A mistura de Roundup Original e Navajo e a adição de Li700 ao Roundup Original aumentaram a densidade das caldas, enquanto a adição de Li700 ao Navajo e de Nimbus à mistura em tanque dos herbicidas Roundup Original e Navajo reduziram. A elevação da temperatura e redução da umidade relativa do ar reduz o tempo de evaporação de gotas, reduz o espalhamento das gotas de Roundup Original + Navajo + Nimbus e aumenta o espalhamento das gotas de Navajo + Nimbus. Adicionar Li700 ao Roundup Original ou Nimbus ao Roundup Original + Navajo aumenta o espalhamento das gotas. Adicionar Nimbus ao Navajo, em temperatura de 22°C e umidade relativa de 75%, reduz o espalhamento. Em temperatura de 22°C e umidade relativa de 75%, adicionar Li700 ao Roundup Original ou Nimbus ao Navajo aumenta o tempo de evaporação das gotas, enquanto adicionar Li700 ou Nimbus à mistura dos dois herbicidas, ou Nimbus ao Roundup Original reduz. Em temperatura de 33°C e umidade relativa de 45%, a adição de Nimbus ao Roundup Original aumenta o tempo de evaporação. O depósito da aplicação em *C. benghalensis* é semelhante em todas as caldas, sendo a cobertura sempre maior no estrato superior da planta daninha. Adicionar Li700 ou Nimbus ao Navajo aumenta cobertura das folhas *C. benghalensis*. Os herbicidas Navajo, sem e com o adjuvante Nimbus e a mistura de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 ou Nimbus foram eficazes no controle de *C. benghalensis*, sendo que o uso desses adjuvantes acelera a morte das plantas.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação. Análise de componentes principais. Preparo de calda. Gotas de pulverização. Controle de plantas daninhas.

ALVES, Karina Aline. **Performance of spray solutions containing glyphosate, 2,4-D and adjuvants.** 2016. 109p. Thesis (Doctor's degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

This research evaluated the application of Roundup Original, Navajo and the tank mix of Roundup Original and Navajo herbicides, with and without Li700 or Nimbus adjuvants, emphasis on physical and chemical spray solutions characteristics, in spreading and evaporation of the droplets on target, deposition and coverage of application and control of *Commelina benghalensis*. Design was completely randomized, factorial 3 x 3, three herbicides: glyphosate (Roundup Original, 2.5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1.0 kg ha⁻¹) and tank mix of glyphosate (Roundup Original, 2.5 L ha⁻¹) + 2 4-D (Navajo, 1.0 kg ha⁻¹); three conditions of adjuvants: absent, fosfatidilcoline + propionic acid (Li700, 0.15% v v⁻¹) and mineral oil (Nimbus, 0.5% v v⁻¹), totaling nine treatments. Physical and chemical characteristics of the spray solution (surface tension, density, pH and foam formation) and quantitative and qualitative parameters (scattering and evaporation time drops after their deposition on the target, covering and spray deposit control efficiency and dried biomass *C. benghalensis* were evaluated. Mix Roundup Original Navajo and reduces surface tension of the spray solution, increases foaming, but does not change its persistence. To add Li700 or Nimbus to herbicides, reduces surface tension and increases the formation and persistence of the foam. To add Li700 to Navajo herbicide reduces the spray solution pH. To mix in tank of Roundup Original and Navajo or to add Li700 to Roundup Original increased the density of the spray solution, while to add Li700 to Navajo and Nimbus the tank mix of Roundup Original and Navajo reduce. The temperature elevation and air humidity reduction reduces drops evaporation time, reduces the spread of droplets of Roundup Original + Navajo + Nimbus and increases the spread of droplets Navajo + Nimbus. To add Li700 to Roundup Original or to add Nimbus to Navajo + Roundup Original increases the spreading of droplets. To add Nimbus to Navajo, temperature of 22°C and relative humidity of 75%, reduces the scattering. At 22°C and relative humidity of 75%, to add Li700 to Roundup Original or Nimbus to Navajo increases the evaporation time of the droplets, while to add Li700 or Nimbus to the mixture of two herbicides, or Nimbus to Roundup Original reduced. At a temperature of 33°C and relative humidity of 45%, to add Nimbus to Roundup Original increases the droplet evaporation time. The deposit in *C. benghalensis* is similar in all spray solutions. Coverage is greater in the upper than lower weed canopy stratum. To add Li700 or Nimbus to Navajo increases coverage on *C. benghalensis* leaves. Navajo, with and without the adjuvant and mixture of Roundup Original and Navajo, without and with Li700 or Nimbus or are effective in *C. benghalensis* control, and the use of these adjuvants accelerates the weed death.

Keywords: Application technology. Principal component analysis. Spray solution preparation. Spray droplets. Weed control.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 Formação de espuma em caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, e sua persistência ao longo do tempo.....38
- Figura 3.2 Formação de espuma em caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) e sua persistência ao longo do tempo.39
- Figura 3.3 Tensão superficial em de caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) e sua correlação com a formação de espuma.....41
- Figura 3.4 Densidade e potencial hidrogeniônico (pH) em caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).43
- Figura 4.1 Câmara climática com controle de temperatura e umidade usada em experimentos de deposição de gotas sobre o alvo.49
- Figura 4.2 Espalhamento máximo de gotas de 500 µm, contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral), depositadas sobre superfície adaxial de *Commelina benghalensis* em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.....52
- Figura 4.3 Tempo de evaporação de gotas de 500 µm, contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e

	mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral), depositadas sobre superfície adaxial de <i>Commelina benghalensis</i> em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.....	54
Figura 5.1	Cobertura nos estratos superior e inferior de <i>Commelina benghalensis</i> pulverizadas com os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e Roundup Original + Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).....	66
Figura 5.2	Nível de controle de <i>Commelina benghalensis</i> pulverizadas com os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e Roundup Original + Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral), aos 3, 7, 14, 28, 35 e 42 dias após a aplicação.	69
Figura 5.3	Pontos de apodrecimento do caule de <i>Commelina benghalensis</i> pulverizadas com Navajo (2,4-D) + Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) aos 14 dias após a aplicação (à esquerda) e rebrota com emissão de raízes adventícias a partir da parte aérea abortada, aos 28 dias após a aplicação (à direita).	71
Figura 5.4	Biomassa seca de parte aérea e de raiz de plantas de <i>Commelina benghalensis</i> , 42 dias após aplicação dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e Roundup Original + Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).	73
Figura 6.1	Câmara climática com controle de temperatura e umidade usada em experimentos de deposição de gotas sobre o alvo	80
Figura 6.2	Análise dos componentes principais para caldas de pulverização contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).	87

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1 Análise de variância dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre a formação de espuma em caldas de pulverização agrícola e sua persistência ao longo do tempo37
- Tabela 3.2 Análise de variância dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre a tensão superficial de caldas de pulverização agrícola e sua persistência ao longo do tempo.....40
- Tabela 3.3 Análise de variância dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre o potencial hidrogeniônico (pH) e densidade de caldas de pulverização42
- Tabela 4. 1 Análise de variância dos herbicidas (H) Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes (A) Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre o espalhamento e tempo de evaporação de gotas depositadas sobre superfície adaxial de *Commelina benghalensis*51
- Tabela 4.2 Efeito do uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) e Nimbus (óleo mineral) em caldas dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e Roundup Original + Navajo, sobre o espalhamento e tempo de evaporação de gotas de 500 µm depositadas sobre superfície adaxial de *Commelina benghalensis*, em duas condições de

	temperatura e umidade relativa do ar em comparação às caldas de herbicida sem o uso de adjuvantes.....	55
Tabela 5.1	Análise de variância dos herbicidas (H) Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes (A) Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre as variáveis cobertura e depósito da aplicação nos diferentes estratos (E) do dossel, superior e inferior de <i>Commelina benghalensis</i>	65
Tabela 5.2	Análise de variância dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre o nível de controle de <i>Commelina benghalensis</i> aos 3, 7, 14, 28, 35 e 42 dias após a aplicação.....	68
Tabela 5.3	Análise de variância dos herbicidas (H) Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes (A) Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre a matéria seca de parte aérea e de raiz de <i>Commelina benghalensis</i>	72
Tabela 6.1	Caldas de pulverização contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) e médias das características físicas e químicas, quantitativas e qualitativas relacionados à eficiência de controle de <i>Commelina benghalensis</i> utilizadas na análise dos componentes principais.....	84
Tabela 6.2	Escores dos fatores 1 e 2 da análise dos componentes principais para as caldas de pulverização contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).	86

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	GLYPHOSATE, 2,4-D E ADJUVANTES	18
2.2	APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS	21
2.2.1	Parâmetros de Qualidade da Aplicação	22
2.2.1.1	Características físicas e químicas de caldas de pulverização.....	22
2.2.1.2	Espalhamento e evaporação de gotas	27
2.2.1.3	Cobertura e depósito de aplicação.....	29
3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE CALDAS DE GLYPHOSATE, 2,4-D E ADJUVANTES	32
3.1	RESUMO	32
3.2	ABSTRACT.....	33
3.3	INTRODUÇÃO	33
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
3.6	CONCLUSÕES.....	44
4	ESPALHAMENTO E EVAPORAÇÃO DE GOTAS DE GLYPHOSATE, 2,4-D E ADJUVANTES EM FOLHAS DE <i>Commelina benghalensis</i> EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR	45
4.1	RESUMO	45
4.2	ABSTRACT.....	46
4.3	INTRODUÇÃO	47
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	48
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.5	CONCLUSÕES.....	56
5	GLYPHOSATE, 2,4-D E ADJUVANTES NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO E CONTROLE DE <i>Commelina benghalensis</i>	58

5.1	RESUMO	58
5.2	ABSTRACT.....	59
5.3	INTRODUÇÃO.....	59
5.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	61
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
5.6	CONCLUSÃO.....	73
6	ANÁLISE MULTIVARIADA DE PARÂMETROS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS NA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS.....	75
6.1	RESUMO	75
6.2	ABSTRACT.....	76
6.3	INTRODUÇÃO.....	77
6.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	78
6.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
6.6	CONCLUSÕES.....	89
7	CONCLUSÃO GERAL.....	90
	REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem função primordial em suprir a crescente demanda mundial por alimentos, fibras e energia, no entanto, a ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas em cultivos agrícolas pode reduzir a produtividade e a qualidade da produção. O controle químico é o principal método utilizado para reduzir esses agentes de danos a níveis economicamente aceitáveis quando se pretende produzir em larga escala. No controle de plantas daninhas, o uso dos herbicidas glyphosate e 2,4-D cresce a cada ano, separadamente ou misturados em tanque, principalmente devido à sua eficiência, amplo espectro de plantas daninhas controladas e cultivos geneticamente modificados resistentes à esses princípios ativos. Além disso, o uso de adjuvantes, seja na formulação dos agrotóxicos ou no preparo da calda de pulverização, também pode ser usado como alternativa para melhorar a qualidade da aplicação, reduzir perdas e aumentar a eficiência.

A mistura de agrotóxicos e adjuvantes no tanque de pulverização permite reduzir o número de aplicações, pois aumenta o espectro de agentes de danos controlados em uma única aplicação, tornando-a mais abrangente. Além disso, essa prática reduz a quantidade de água usada na aplicação de agroquímicos, o custo variável do pulverizador, e permite aumentar o rendimento operacional da pulverização.

Entretanto, quando realizado de maneira inadequada, o controle químico pode ser ineficiente, causar danos ao meio ambiente, à saúde humana e animal, de modo que os estudos relacionados à tecnologia de aplicação de agrotóxicos visam em sua maioria reduzir os riscos da aplicação e aumentar sua eficiência. No entanto, nem sempre é simples atingir esses objetivos, pois o processo de aplicação de agrotóxicos envolve uma série de variáveis, e a eficácia do tratamento fitossanitário é influenciada por fatores que vão desde o preparo da calda à ação do ingrediente ativo no alvo. Ações inadequadas durante qualquer dessas fases podem comprometer o controle do agente de dano e contaminar o meio ambiente. Portanto, recomendações de aplicação de agrotóxicos devem ser tão precisas quanto possível para evitar esses problemas, sendo necessário agrupar conhecimentos de todas as etapas da aplicação para que o objetivo final seja atingido.

Dentre os problemas que podem ocorrer, no preparo da calda de pulverização, podemos destacar a formação excessiva de espuma, que pode causar perda de ingrediente ativo por derramamento, contaminação do meio ambiente e a diluição da calda; a formação de precipitados e separação de fases na solução, que dificultam a solubilização do agrotóxico e aplicação; o potencial hidrogeniônico da calda, que em alguns agrotóxicos pode interferir na eficácia de controle do agente de dano; a tensão superficial, que interfere em etapas seguintes, como a formação de gotas e também no espalhamento das gotas sobre o alvo; e a densidade da solução, que pode alterar o potencial de deriva, dependendo da relação entre os agrotóxicos e diluentes. Portanto, é importante conhecer as características físicas e químicas da calda para evitar tais incompatibilidades.

Durante a aplicação, a quantidade e a qualidade da distribuição do agrotóxico sobre o alvo também podem alterar os níveis de controle. Para cada tratamento fitossanitário, precisa-se que uma quantidade mínima de produto atinja o alvo para garantir sua eficácia. Isso varia de acordo com o alvo da aplicação, doença, inseto ou planta daninha e também com o modo de ação do produto, sistêmico ou de contato. No entanto, a maioria das aplicações tem alvos múltiplos, o que dificulta estabelecer uma recomendação que atenda adequadamente às necessidades específicas para controle eficaz de cada agente de dano.

Além disso, depois de atingir o alvo, o comportamento das gotas sobre o mesmo pode interferir na eficiência do produto. O espalhamento e o tempo de evaporação de gotas podem modificar a distribuição do ingrediente ativo no alvo, e desse modo, alterar a penetração, absorção e translocação do produto, interferindo na eficiência da aplicação e no controle do agente de dano.

Portanto, é necessário compreender melhor o efeito das misturas de agrotóxicos e o uso adjuvantes, a fim de otimizar e obter mais eficiência na aplicação e no tratamento fitossanitário.

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a aplicação dos herbicidas, Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes, Li700 (lecitina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) com ênfase nas características físicas e químicas das caldas, no espalhamento e evaporação das gotas sobre o alvo, deposição, cobertura da aplicação e eficiência de controle.

Para tanto, esta tese será apresentada, além da revisão de literatura, na forma de quatro capítulos. O primeiro está focado nas características físicas e químicas da calda de pulverização e possíveis incompatibilidades durante seu preparo. O segundo visa compreender o comportamento das gotas de pulverização após sua deposição sobre o alvo, *Commelina benghalensis*, por meio do espalhamento e tempo de evaporação das gotas. No terceiro foram avaliadas características qualitativas e quantitativas da aplicação e seu efeito na eficiência de controle de *C. benghalensis*. E finalmente, no quarto foi realizada uma análise multivariada de todas as características avaliadas anteriormente visando agrupar as caldas com base em suas semelhanças e verificar quais variáveis são mais importantes no processo de aplicação dos herbicidas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os aumentos da população e do consumo geram exigências sem precedentes para a agricultura e recursos naturais, principalmente na produção de alimentos e energia. Para atender as necessidades de segurança alimentar e sustentabilidade mundial, a produção deve crescer substancialmente, ao mesmo tempo que os recursos ambientais usados para tal finalidade devem diminuir (FOLEY et al., 2011). O setor agrícola tem papel primordial em suprir grande parte da crescente demanda de alimentos e energia com sua produção, no fornecimento de matérias primas para indústrias. Portanto, deve aperfeiçoar seu potencial produtivo para atender esta realidade e ocasionar o mínimo possível de impactos ambientais (DA SILVA TEIXEIRA et al., 2011).

Uma das alternativas para otimizar a produção e reduzir as perdas causadas por pragas, doenças e plantas daninhas é o uso de agrotóxicos, que reduz a incidência desses agentes de danos para níveis economicamente aceitáveis, de modo que não causem prejuízos significativos à qualidade nem à produtividade das culturas (CHAIM, 2009). Os agrotóxicos modificaram a forma de produzir, tornando-se facilitadores no controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Se por um lado, houve aumento significativo da produtividade, por outro, a agricultura moderna passa a ser altamente dependente de insumos químicos, e faz com que o comércio mundial desses produtos cresça a cada ano (SOUZA et al, 2011). Muitas mudanças e inovações surgem conforme as necessidades do mercado, como por exemplo, o advento das culturas transgênicas, resistentes à pragas, porém o controle químico ainda é o principal método usado para manter os agentes de danos às culturas à níveis economicamente aceitáveis (DE AMARANTE JUNIOR et al, 2002). Estimativas afirmam que sem uso de agrotóxicos a produção de alimentos no mundo sofreria redução de 40% a 45% e o custo da alimentação seria acrescido em 50% a 75% (CARVALHO, 2005; COSTA, 2009).

Considerando o modelo agrícola altamente sustentado pela aplicação de agrotóxicos, a constante preocupação com os custos de produção e a segurança ambiental, é necessário que esses produtos sejam usados de forma segura, com técnicas eficientes (SIMÕES et al., 2009). Quando utilizados inadequadamente, os

agrotóxicos podem causar danos ambientais, à saúde humana e animal (XU et al., 2010).

2.1 GLYPHOSATE, 2,4-D E ADJUVANTES

O glyphosate pertence ao grupo dos inibidores da síntese de aminoácidos e contém o N-phosphonomethyl glycina como ingrediente ativo (RODRIGUES; ALMEIDA, 1998) e age inibindo a enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), que é a responsável pela reação de conversão do shiquimato-3-fosfato e fosfoenolpiruvato em EPSP e fosfato inorgânico, na rota do ácido shiquímico (GEIGER; FUCHS, 2002). A inibição da EPSPs resulta no acúmulo de ácido shiquímico nas plantas e na redução da biossíntese de aminoácidos aromáticos, como triptofano, tirosina e fenilalanina.

É usado como herbicida desde 1971 (DE AMARANTE JUNIOR et al., 2002) e atualmente é comercializado em diferentes formulações: sal de isopropilamina, amônia e potássico. O glyphosate é um herbicida altamente eficaz e controla um largo espectro de ervas daninhas de folha larga e gramíneas anuais e perenes (CULPEPPER; YORK, 1998; FRANZ et al., 1997; WILCUT et al., 1996) e tornou-se o herbicida mais utilizado em todo o mundo devido principalmente à introdução de culturas geneticamente modificadas resistentes à molécula, como a soja, algodão, milho, canola, beterraba sacarina e alfafa (DILL et al., 2008).

Porém, a adoção de sistemas de produção à base de glyphosate tem selecionado espécies tolerantes e resistentes à molécula (KOGER; REDDY, 2004). Entre as espécies resistentes podemos citar: *Eleusine indica*, na Malásia (LEE; NGIM, 2000; TRAN et al., 1999); *Lolium rigidum*, na Austrália e nos Estados Unidos (POWLES et al., 1998; SIMARMATA et al., 2003); *Conyza bonariensis*, na África do Sul e Espanha (URBANO et al., 2007); *Lolium multiflorum*, no Brasil, Chile e Estados Unidos (CHRISTOFFOLETI et al., 2005; PEREZ-JONES et al., 2004; PEREZ; KOGAN, 2003); *Conyza canadensis*, nos Estados Unidos e África do Sul (KOGER et al., 2004; VANGESSEI, 2001); e *Ambrosia artemisifolia*, nos Estados Unidos (SELLERS et al., 2005). Entre as espécies tolerantes, temos: *Ipomoea purpurea*, *Hydrocotyle sp.*, *Commelina benghalensis*, *Commelina communis*, e *Abutilon*

theophrasti (CULPEPPER et al., 2004; FAWCETT, 2012; JORDAN et al., 1997; OWEN, 2008; OWEN; ZELAYA 2005; SPADER e VIDAL, 2000).

Espécies do gênero *Commelina* apresentam alta tolerância aos inibidores da EPSPs, e especula-se que essa tolerância esteja relacionada à insensibilidade destas espécies ao herbicida (VARGAS et al., 1999, SANTOS et al., 2001), às propriedades químicas dos componentes das ceras epicuticulares, que contêm componentes lipofílicos em concentrações mais elevadas do que outras espécies de plantas, resultando na redução da penetração do herbicida (MONQUERO et al., 2004) e à capacidade de se recuperar das aplicações de glyphosate devido às grandes reservas de amido em suas folhas (TUFFI-SANTOS, 2004).

A tolerância ou resistência de plantas daninhas a uma molécula de herbicida pode alterar a composição de espécies tornando-a predominante na área (CULPEPPER et al., 2005; OWEN, 2008) pela seleção destes indivíduos resistentes que se encontravam em baixa frequência inicial (CHRISTOFFOLETI et al., 2005), e aumentar os custos de produção (MUELLER et al., 2005). No Brasil, a aplicação de glyphosate em pomares cítricos do estado de São Paulo tem proporcionado a seleção de *C. benghalensis*, devido à grande tolerância desta planta ao glyphosate e à eliminação da competição com outras plantas daninhas (DURIGAN et al., 1988; GALLI, 1991). Por isso, a associação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação é preconizada no manejo de plantas daninhas tolerantes ou resistentes (JOHNSON; GIBSON, 2006; SHANER, 2000).

Para aumentar a eficiência e o espectro de ação, pode-se utilizar glyphosate misturado com outros herbicidas, tais como formulados à base de 2,4-D, terbutilazina, simazina, alaclor e diuron (DE GOES MACIEL et al., 2013; RAMOS et al., 1996). As misturas em tanque de produtos fitossanitários são bastante usadas na agricultura para aumentar o espectro de ação dos produtos e diminuir o número de aplicações (PETTER et al., 2012). Misturas entre herbicidas podem resultar em interação antagônica se o controle obtido for menor que o controle esperado, ou como sinérgica, se o controle obtido for maior. Quando o controle das plantas daninhas pela mistura é equivalente ao controle esperado, a interação é considerada aditiva (LICH et al., 1997).

O ácido 2,4 diclorofenoxiacético, comumente conhecido como 2,4-D, é um latifolicida sistêmico indicado para o controle de plantas daninhas em áreas

agrícolas (VIEIRA, et al., 1999). As formulações comerciais de 2,4-D incluem ésteres, ácidos e vários sais, que variam nas suas propriedades, comportamento ambiental e toxicidade. Como herbicida seletivo, 2,4-D é utilizado para controlar plantas daninhas de folha larga em uma variedade de culturas como de trigo, soja, milho, arroz, cana-de-açúcar e pastagens (GARÍCA, et al., 2014).

Em sistemas de rotação/sucessão, em que o milho RR[®] aparece como planta voluntária ou ocorrência de gramíneas resistentes ao glyphosate, como azevém (*Lolium multiflorum*) e capim-amargoso (*Digitaria insularis*), a aplicação combinada de glyphosate com graminicidas inibidores da enzima ACCase constituem uma opção tanto para dessecação de manejo em semeadura direta. Entretanto, em condições onde o complexo da infestação é constituído por biótipos resistentes ou tolerantes ao glyphosate, como a buva (*Conyza sp.*), trapoeraba (*Commelina sp.*), corda-de-viola (*Ipomoea sp.*), amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), erva-quente (*Spermacoce latifolia*) e poaia branca (*Richardia brasiliensis*), a operação de manejo em pré-semeadura ou pós-colheita tem sido realizada por associações de glyphosate com inibidores da ACCase e 2,4-D, visando ampliar a eficiência do espectro de ação do herbicidas (DE GOES MACIEL et al., 2013).

Mistura em tanque de glyphosate + flumioxazin proporcionam rápido controle inicial de *C. benghalensis* e *C. diffusa* em estágio adulto, porém houve recuperação das trapoerabas trinta dias após a aplicação dos herbicidas (RONCHI et al., 2000). O rápido controle inicial de *C. benghalensis* pode causar redução na translocação do produto e impedir o herbicida de atingir parte das sementes subterrâneas em formação, que se desligam precocemente da planta mãe, e resultar em restabelecimento da planta daninha (SANTOS et al., 2001). Aplicações sequenciais, com intervalo de vinte e um dias de (paraquat + diuron) / (carfentrazone-ethyl + glyphosate) e de (paraquat + diuron) / (paraquat + diuron) foram eficazes no controle de *C. benghalensis* e *C. diffusa*, e podem ser uma alternativa para melhorar a ação dos herbicidas.

Além de misturas de produtos fitossanitários, é comum adicionar adjuvantes à calda de pulverização, e embora não apresentem ação fitossanitária podem afetar o molhamento, aderência, penetração, translocação, espalhamento, formação de espuma e a dispersão da calda de pulverização (MENDONÇA et al.,

2007), além de melhorar a distribuição cobertura do alvo (SHABAN, et al., 2015) e desta forma interferir no controle.

A adição de óleos minerais ou vegetais a 1% do volume de pulverização permitiu reduzir 25% da dose dos herbicidas Brominal, Illoxan e Panther, mantendo o nível de controle das plantas daninhas e o rendimento na cultura do trigo. Além disso, permite reduzir o uso de herbicidas e a contaminação ambiental melhorando a eficiência (SHABAN, et al., 2015). Porém a aplicação de glyphosate + chlorimuron-ethyl com ou sem diferentes adjuvantes (Hoefiz, Agral, Nimbus, Iharol, Naturoil, Vegetoil, Ph red, TA35, Aminomax e 30N) não foi eficiente para o controle das plantas de *Conyza sp* (VIEIRA et al., 2015). Isso mostra que em casos tolerância ou resistência, o uso de adjuvantes pode até melhorar o controle, porém não em níveis satisfatórios.

A mistura do adjuvante Triunfo Flex™ aos herbicidas glifosato + carfentrazone-etil acelera a ação dos herbicidas sobre *Commelina diffusa* (DE GOES MACIEL, et al., 2014). O uso dos adjuvantes incrementa a ação do glyphosate isolado e/ou em mistura com 2,4-D e 2,4-D + metsulfuron-methyl em plantas de *Commelina benghalensis* (DE GOES MACIEL, MORAES, BALAN, 2012).

Portanto, recomendações de mistura de herbicidas, assim como o uso de adjuvantes, devem sempre ser baseadas em dados consistentes de pesquisas para evitar desperdício de produtos, ineficácia do tratamento fitossanitário, assim como contaminação ambiental.

2.2 APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS

A tecnologia de aplicação de agrotóxicos consiste no uso de técnicas que visam colocar o produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 1990). É uma das técnicas mais estudadas no âmbito agrônomo, devido a sua inter-relação com a área de proteção de plantas no controle de doenças, insetos e plantas daninhas; e também ambiental em estudos de deriva (BALAN et al., 2005).

Os principais métodos de aplicação de agrotóxicos são basicamente por via sólida, líquida ou gasosa, sendo a aplicação via líquida (água como diluente)

a mais utilizada, que pode ser feita na forma de gotas (pulverização), na forma de filete líquido (rega ou injeção) ou então na forma de gotas com tamanho bastante reduzido, a nebulização (RAMOS e PIO, 2008). Entre as diferentes técnicas de aplicação de agrotóxicos, as que se baseiam na pulverização hidráulica são as mais difundidas, graças à flexibilidade que oferecem em diferentes situações (TEIXEIRA, 1997).

O ingrediente ativo da formulação do agrotóxico determina o potencial máximo da atividade biológica das gotas de pulverização (HEINRICHS, 2002), porém a eficiência desta atividade é modificada pela interação das gotas com a superfície das plantas (BASU et al., 2002). Cada tipo de pulverização requer um tamanho de gotas ótimo para a dispersão, retenção, absorção, translocação ou a atividade biológica sob as superfícies das plantas, podendo esses efeitos sofrer alterações de espécies para espécies ou de alvos para alvos (KRAEMER et al., 2009; SPANOGHE et al., 2007). Por isso, o conhecimento da planta alvo e da formulação da calda de aplicação tornam-se fundamentais para o sucesso da pulverização agrícola.

2.2.1 Parâmetros de Qualidade da Aplicação

Para obtenção de máxima eficiência nas pulverizações todas as operações devem ser feitas com a máxima precisão, pois o transporte do ingrediente ativo ao sítio de ação de agrotóxico inicia-se com o preparo da solução, seguido pela pulverização, e continua durante a trajetória e o impacto da gota na superfície da folha, penetração dos produtos através da cutícula, com a subsequente translocação dentro do tecido da planta (WIRTH et al., 1991). Deste modo, em estudos relacionados à aplicação de agrotóxicos é comum estabelecer parâmetros para avaliação da qualidade da aplicação.

2.2.1.1 Características físicas e químicas de caldas de pulverização

Alterações nas características físicas e químicas das caldas são influenciadas pelas formulações dos agrotóxicos e pelo tipo de adjuvantes

adicionados à calda, podendo alterar a qualidade de uma aplicação (LEAPER; HOLLOWAY, 2000).

Tanto os adjuvantes presentes na formulação dos agrotóxicos, como aqueles adicionados à calda durante seu preparo, podem alterar as características físicas e químicas da solução, as interações entre o agrotóxico e o alvo, e modificar a qualidade da aplicação (CHECHETTO, 2011; LEAPER; HOLLOWAY, 2000; OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012; ZABKIEWICZ, 2000). Porém, estas reações, que dependem de inúmeros fatores, podem ser adversos e devem ser avaliadas especificamente, pois incompatibilidades na mistura dos produtos podem reduzir o rendimento operacional e causar ineficiência no tratamento fitossanitário.

Espumas são sistemas com estrutura tridimensional constituídas de células gasosas envolvidas por um filme líquido contínuo e originam-se do agrupamento de bolhas geradas ao se dispersar gás em um líquido que contenha agentes espumantes, como surfatantes solúveis ou impurezas (FIGUEIREDO et al., 1999). Durante o preparo de calda no tanque do pulverizador é comum a formação de espuma, devido à solubilização dos agrotóxicos e adjuvantes na água e a agitação. O que pode resultar em perdas de ingrediente ativo por derramamento, e conseqüentemente, perda econômica e risco de contaminação ambiental e da equipe operacional.

O excesso de formação de espuma ocorre em pelo menos 23% dos casos de mistura em tanque no Brasil (GAZZIERO, 2015). Como por exemplo na mistura de glyphosate com chlorimuron-ethyl (MACIEL et al., 2010). O que é indesejável, uma vez que é necessário interromper a adição de água para a espuma não transbordar (GREEN; BEESTMAN, 2007; MENDONÇA et al., 2004). Se a adição de água não for interrompida, pode haver perda de ingrediente ativo, danos econômicos, ambientais, à saúde humana e animal.

No entanto, manter calda em repouso, pode causar a decantação de produtos, devido à baixa estabilidade da solução, sendo este problema presente em 72% dos casos de mistura em tanque (GAZZIERO, 2015). Deste modo, durante o preparo da calda, é comum manter o sistema de agitação ligado, a fim de melhorar a solubilização dos agrotóxicos e evitar sua decantação, em função da formação de fases na calda de pulverização. Por outro lado, o sistema de agitação pode aumentar a formação de espuma na calda, pois favorece a dispersão de ar no líquido

(FIGUEIREDO, et al. 1999) e, desta forma, impedir a dissipação da espuma. Além disso, a formação excessiva de espuma pode dificultar a limpeza do pulverizador por impedir a remoção do produto pulverizado, e pode causar danos às culturas sensíveis em futuras aplicações com o mesmo equipamento (GREEN; BEESTMAN, 2007).

Agentes antiespumantes são aqueles com capacidade de suprimir a formação ou destruí-la após sua formação (GREEN; BEESTMAN, 2007). Os mais comuns antiespumantes são dimethopolysiloxane-base (HOOGLAN et al., 2003), perfluoroalquilo ácidos fosfônicos e fosfínicos, polímeros perfluoroalifáticos (AVEN e SCHMIDT, 2002), silicone (GUBELMANN-BONNEAU; CAVEZZAN, 2002) e ácido málico ou derivados de tartárico (MEIER et al., 2002), sendo usados em aplicações onde a formação de espuma seja problemática.

Muito se tem discutido também sobre a qualidade da água utilizada nas pulverizações, principalmente com relação ao pH (RAMOS; DURIGAN, 1998). A água de rios e de açudes, em geral usadas para abastecimento de pulverizadores, podem apresentar argila e partículas orgânicas em suspensão. Em função disso, os agricultores muitas vezes usam água de poços artesianos para a pulverização de agrotóxicos. Entretanto, essa água pode ter pH acima de 10, dependendo da rocha matriz, a qual controla a riqueza em minerais dissolvidos na água (RAI; KITTRICH, 1989). Quando o pH da água está alto, pode acelerar a degradação do herbicida por hidrólise alcalina; além disso, a constante de dissociação de muitas moléculas de herbicidas depende do pH, e a sua absorção pelos tecidos vegetais varia, dependendo da molécula ser íntegra ou dissociada em cátions e ânions (KISSMANN, 1997). Em pH baixo, a taxa de hidrólise alcalina é reduzida, tendo como vantagem o aumento da velocidade de absorção do herbicida (THEISEN; RUEDELL, 2004).

Alguns herbicidas têm sua eficiência elevada com a redução do pH da água a valores próximos de 4,0 e a máxima absorção e eficiência de herbicidas com caráter de ácido fraco ocorre em pH em que 50% das moléculas encontram-se dissociadas (pKa). Além disso, em pH mais baixo, a taxa de hidrólise é retardada, mantendo a folha úmida por maior tempo, pois a superfície das folhas tem um pH neutro e interage com o pH da calda (McCORMICK, 1990). A água alcalina (pH acima de 7,0), ou a presença de alguns compostos utilizados em nutrientes foliares na calda, podem diminuir a eficiência dos herbicidas, especialmente de dessecantes à base de glyphosate, de alguns herbicidas inibidores da enzima aceto lactato sintetase (ALS) e

de inibidores da enzima acetil coenzima A carboxilase (ACCase) (MERVOSH; BALKE, 1991; NALEJAWA; MATYSIAK, 1993).

O herbicida glyphosate torna-se progressivamente menos apto a atravessar as membranas das células com a elevação do pH. Em pH 5, cerca de 79,36% e 20,64% das moléculas de glyphosate encontram-se na forma de ânions mono e bivalentes, respectivamente, enquanto em pH 8 cerca de 0,38% e 99,62% das moléculas encontram-se na forma de ânions mono e bivalentes, respectivamente. Dessa forma, com o aumento do pH de 5 para 8, o glyphosate torna-se mais ionizado e hidrofílico. A absorção de compostos lipofílicos ocorre de forma mais eficiente e rápida do que a de compostos hidrofílicos (VELINI; TRINDADE, 1992).

Portanto deve-se tomar cuidados na utilização dessas águas para a aplicação de herbicidas, uma vez que a eficiência de alguns desses, como é o caso dos grupamentos ácidos do 2,4-D e glyphosate, é dependente do pH da calda (WANAMARTA; PENNER, 1989).

Nalewaja et al. (1991) estudaram o antagonismo de vários sais ao 2,4-D amina, e observaram que o Mg^{2+} , K^+ , Fe^{2+} , Ca^{2+} e Na^+ foram antagônicos. Contudo, baixo pH não foi essencial na quebra do antagonismo do 2,4-D aos sais, nem o 2,4-D sozinho foi eficaz com pH baixo, apenas ânions sulfato e fosfato monobásicos foram eficazes na quebra do antagonismo por bicarbonato de sódio e cloreto de sódio presentes na solução.

No controle de arroz vermelho, caldas da mistura de imazethapyr + imazapic, preparadas com água de pH 4,5, proporcionaram maior eficiência no controle da planta daninha do que com águas alcalinas (pH 9,4 e 8,7). No entanto, a aplicação do herbicida, em todos os tratamentos, causou intoxicação às plantas do arroz cultivado. Entretanto, nos tratamentos em que se utilizou água alcalina, foi observada recuperação mais rápida das plantas de arroz (SANCHOTENE, et al., 2007).

Alguns adjuvantes e formulações herbicidas controlam o pH, mas geralmente não indicam essa característica em seu rótulo. Por exemplo, o glyphosate é vendido como um ácido a pH inferior a 2, um mono-sal a pH 4,4 a 5, e como um di-sal em formulação com um pH neutro, perto de 6,7 (GREEN; BEESTMAN, 2007).

Misturas de agrotóxicos e uso de adjuvantes, assim como diferentes concentrações dos mesmos, podem alterar a tensão superficial de caldas de

pulverização, e desta forma interferir no controle fitossanitário. As propriedades, intrínsecas às gotas, estão intimamente relacionadas aos componentes da formulação, com destaque à quantidade de adjuvantes na composição de cada produto, agrotóxicos e adjuvantes (HOLLOWAY, 1994).

A tensão superficial também é resultado do desequilíbrio entre as forças entre as moléculas da superfície em relação àquelas no interior da solução, sendo que as moléculas do líquido na interfase entre líquido e ar realizam um número menor de interações intermoleculares comparadas com as moléculas que se encontram no interior do líquido. A força resultante que atrai as moléculas da superfície de um líquido para o seu interior torna-se o principal obstáculo para a formação de bolhas, gotas e a nucleação de cristais em líquidos e formato esférico de gotas (ADAMSON; GAST, 1997).

A adição de óleos minerais e vegetais às caldas de pulverização contendo agrotóxicos, podem reduzir a tensão superficial em soluções aquosas, possibilitar maior contato da calda com a superfície vegetal ou reduzir o potencial de deriva durante as pulverizações (MENDONÇA, RAETANO; MENDONÇA, 2007). O uso de adjuvantes pode ainda facilitar a penetração da calda pela cutícula, reduzir a hidrólise do defensivo na água do tanque e a foto decomposição do ingrediente ativo (DURIGAN, 1993). Os óleos minerais e os óleos vegetais apresentaram variações entre seus valores de tensão superficial, visto que a tensão superficial não é característica determinada pela origem do óleo (mineral ou vegetal) e, sim, pela qualidade e quantidade de emulsificante adicionado a sua formulação (MENDONÇA, RAETANO; MENDONÇA, 2007).

A redução da tensão superficial de caldas de agroquímicos podem ter efeito molhante (MENDONÇA et al., 1999), espalhante e penetrante (GREENE; BUKOVAC, 1974) e maior velocidade de absorção e/ou translocação (MARTINS et. al., 2009).

Por sua vez, o aumento da densidade em caldas de pulverização pode levar à redução de deriva, entretanto, nota-se que na prática esse processo não é facilmente obtido, principalmente pela baixa concentração de adjuvantes em relação à água. Para se conseguir aumento de densidade, seria necessário aumentar muito a concentração, o que oneraria bastante a aplicação (CUNHA; ALVES; REIS, 2010).

2.2.1.2 Espalhamento e evaporação de gotas

O impacto de gotículas líquidas sobre superfícies sólidas pode resultar no depósito, recuo ou salpicos das mesmas (BERTOLA, 2008). O aumento da retenção na superfície alvo é visto como benéfico na aplicação de agrotóxicos para proteção das culturas e controle de plantas daninhas, enquanto os salpicos e a quebra são vistos como prejudiciais para a retenção da pulverização (BOUKHALFA et al., 2014). Segundo Holloway (1994), quando as gotas de pulverização impactam nas folhas, essas podem ser retidas, refletidas ou fragmentar-se em gotas menores, dependendo principalmente de seu tamanho, sua velocidade, das propriedades físico-químicas intrínsecas à calda e da característica da superfície foliar. A ausência de rebote faz com que a gota se deposite sobre a superfície e se espalhe até que a energia do impacto inicial seja dissipada. Posteriormente, ele se retrai em direção ao centro de impacto, dependendo da relação entre viscosidade e capilaridade até o decréscimo da amplitude e frequência atingindo o estágio de equilíbrio. (YARIN, 2006; MAO et al., 1997). Inicia-se então o processo de evaporação da gota sobre a superfície de depósito, que pode ocorrer de duas formas: pela redução do ângulo de contato da gota com a superfície ou pela redução da área de contato da gota com a superfície (PICKNETT; BEXON, 1977).

O comportamento da gota de pulverização sob o alvo determinará em caráter inicial o depósito, bem como o impacto e a acumulação de ingrediente ativo sobre a superfície foliar, antes da penetração e evaporação da solução. A absorção e eficiência da pulverização de herbicidas estão relacionadas diretamente ao espalhamento e evaporação das gotas aplicadas, e pode ser reduzida se o ingrediente ativo não se espalhar de forma uniforme sobre o alvo. (JOHNSTONE, 1973; XU et al., 2010).

Na evaporação de gotas sobre superfície plana, as partículas sólidas podem formar uma linha de fluido próxima para a linha de contato, impedindo-a de retrair durante a secagem. A maior evaporação nesta linha de contato faz com que ocorra o movimento capilar de substâncias para a periferia, formando um depósito anelar (DEEGAN et al., 1997). Já o gradiente de tensão superficial de uma gotícula gera o Marangoni stress, que faz com que os depósitos se acumulem no centro da

gotícula (HU; LARSON, 2006), sendo que a área de distribuição dos resíduos sólidos da gota sobre a superfície foliar pode ser mais relevante para a sua absorção do que a importância assumida pela área de molhamento da gota em si (LIU, 2003).

Em casos onde há uso de adjuvantes, as maiores taxas de absorção do agrotóxico são obtidas quando os depósitos sólidos de adjuvante e agrotóxico se sobrepõem, sendo estes dois processos alterados pelo tempo de evaporação da gota (FAERS et al., 2010; HUNSCHE; NOGA, 2012). A associação entre agrotóxicos e adjuvantes presentes na solução depende da velocidade de evaporação da gota (HUNSCHE; NOGA, 2011). A capacidade de molhamento dos surfatantes é atribuída à sua estrutura molecular, sua afinidade às substâncias hidrofóbicas e sua habilidade em reduzir a tensão superficial da solução, e sua eficiência é dependente da natureza do herbicida, da espécie de planta daninha e das condições ambientais (GODDARD; PADMANABHAN, 1992)

A diversidade morfológica da superfície foliar entre espécies de plantas e presença de estruturas foliares, como tricomas, estômatos, cutícula e ceras, podem exercer grande influência na aderência e deposição das gotas de pulverização, assim como na absorção do herbicida (BREWER et al., 1991; SMITH et al., 2000). O grau de molhamento da superfície foliar varia, por exemplo, com o grau de cobertura de cera em variedades de arroz e também com diferenças morfológicas da superfície foliar (CHUNG; KWON, 1992). A cera age como repelente às soluções aquosas depositadas em superfícies foliares dificultando a molhabilidade (GUO; LIU, 2007; HOLDER, 2007; WAGNER et al., 2003; XU et al., 2010).

Análises estruturais de superfícies foliares revelaram diferenças na organização das ceras epicuticulares e alterações na sua estrutura depois da pulverização de herbicida associado a óleo mineral (MENDONÇA, 2007). Há, portanto, interação entre os componentes da calda de pulverização e a superfície foliar, o que pode influenciar na retenção dos depósitos nas espécies vegetais. O tamanho das gotas, a umidade relativa do ar, a estrutura da folha e a formulação do agrotóxico são os fatores que mais influenciam a evaporação de gotas na superfície das folhas (YU et al., 2009), e o tempo de evaporação da gota influencia na absorção e translocação do ingrediente ativo (XU et al., 2010).

2.2.1.3 Cobertura e depósito de aplicação

Conceitualmente a deposição é uma avaliação quantitativa, na qual se verifica a quantidade de produto depositado no alvo; e a cobertura, uma avaliação qualitativa, na qual se observa a porcentagem do alvo que foi coberta pela aplicação (NASCIMENTO, 2011).

De maneira geral, quanto menor o tamanho de gota produzida durante a pulverização maior é o percentual de cobertura sobre o alvo, em função do maior número de gotas geradas, porém, também é maior o risco de evaporação e deriva (ANTUNIASSI et al., 2004; TEIXEIRA, 1997), principalmente em condições de baixa umidade relativa do ar (TEIXEIRA, 1997). Portanto, o tamanho de gota é um fator importante a ser considerado em aplicações de agrotóxico, uma vez que se objetiva alcançar o dossel da cultura de forma relativamente uniforme. Sendo assim, técnicas de aplicação que alterem o tamanho das gotas podem interferir na aplicação.

Dentre os principais fatores que alteram o tamanho das gotas formadas na pulverização, destacam-se pressão do líquido e o tipo de ponta (SCHNEIDER et al., 2013; WOMAC, 1999). O aumento da pressão de pulverização do líquido causa diminuição do tamanho das gotas, e conseqüentemente, aumento da densidade de gotas e da cobertura do alvo (DA CUNHA, 2008; SCHNEIDER et al., 2013).

Na maioria das pulverizações, a cobertura costuma ser maior no terço superior que no inferior devido à maior proximidade do terço superior ao ponto de lançamento da gota (DA CUNHA et al., 2010). As folhas localizadas no terço inferior das plantas são mais difíceis de serem atingidas pelas gotas das pulverizações, pois a sobreposição das folhas existentes no caminho das gotas, a maior distância percorrida, além da maior possibilidade de perda por evaporação ou deriva das gotas menores em condições ambientais adversas, implicam em menor número de gotas chegando ao alvo e irregularidade no volume depositado (DE SOUZA et al., 2007). Em casos de culturas em que o dossel é mais aberto e menos denso, o uso de gotas maiores pode ser vantajoso, pois, além de requerer menor pressão, também propicia uma aplicação mais eficiente e ambientalmente correta (SCHNEIDER et al., 2013).

Alguns produtos sistêmicos translocam na planta via xilema (movimento acrópeta), ou seja, a translocação ocorre das partes inferiores para as partes superiores, seguindo o fluxo da transpiração, o que indica a importância de se atingir os estratos mais baixos da planta, uma vez que as gotas que atingem as folhas mais expostas na parte superior do dossel não serão responsáveis pelo controle de doenças no baixeiro (ROMÁN et al., 2009).

A arquitetura da planta ao longo de seus estádios de desenvolvimento também altera a deposição de calda. Em plantas de cevada, o depósito aumenta quanto mais velhas forem as folhas bandeiras, devido à maior angulação à medida que a folha vai envelhecendo, de tal modo que o ângulo tende a se aproximar da horizontal o que favorece a deposição de gotas (GERARD et al., 1998).

Na cultura do café, o uso de equipamentos dotados de assistência de ar melhora a deposição da calda sobre as plantas (DUARTE et al., 1977). Na aplicação de fungicidas usando três volumes de pulverização (100, 150 e 200 L ha⁻¹) na cultura da soja, não foi verificada diferença significativa na porcentagem de cobertura (ROMÁN et al., 2009). Na cultura da cana de açúcar, o aumento da taxa de aplicação de 120 L ha⁻¹ para 160 L ha⁻¹ resultou em pequena diminuição da cobertura somente para a ponta XR 110 02, em virtude da redução do tamanho das gotas (SCHNEIDER et al., 2013). Em pulverização tratorizada terrestre na cultura da cana de açúcar, a cobertura no terço inferior foi 33,5% menor que no terço superior (SCHNEIDER et al., 2013). Em culturas arbóreas, como o cafeeiro, constata-se menor cobertura da parte alta das plantas quando utilizaram equipamentos de tração mecânica (DUARTE et al., 1977).

O êxito no controle das plantas daninhas depende da época e tamanho da invasora, da cobertura e da dose correta (OZEKI; KUNZ, 1998). Quando se aplica um herbicida após a emergência de uma cultura qualquer, apenas parte da calda pulverizada atinge o alvo desejado, a planta daninha. Dessa forma, para essa modalidade de aplicação as gotas pulverizadas podem atingir a cultura, as plantas daninhas e possivelmente o solo. A proporção nos referidos alvos irá variar com a época de aplicação e, se a tecnologia utilizada não for adequada, parte do produto pode ainda se perder por deriva no ambiente. Além disso, um tratamento fitossanitário tem seu sucesso associado a uma série de fatores, nos quais eficácia do composto

químico e tecnologia de aplicação estão diretamente envolvidas com aspectos meteorológicos, biológicos e agrônômicos (GAZZIERO et al., 2006).

No controle de amendoim-bravo na cultura da soja, a deposição de glyphosate foi inversamente proporcional ao desenvolvimento da planta daninha, sendo que as plantas localizadas próximas às linhas da cultura da soja receberam praticamente a metade do herbicida pulverizado, quando comparadas às localizadas na entrelinha da cultura. Essa informação sugere que maior eficiência pode ser conseguida através de aplicações precoces, com infestação no início do seu desenvolvimento (GAZZIERO et al., 2006).

As pequenas dimensões das plantas daninhas e a posição destas no campo, estando sujeitas ou não à cobertura pela cultura, também podem intensificar a variabilidade dos depósitos unitários, de maneira geral o aumento da área foliar da cultura diminui o depósito por unidade de área das plantas daninhas. (SOUZA et al., 2007). A deposição e distribuição da aplicação em plantas daninhas podem ser melhoradas com a escolha correta da ponta de pulverização (MACIEL et al., 2001). A proximidade das plantas daninhas com a cultura desuniformiza e reduz os depósitos da aplicação, sendo que a irregularidade na distribuição pode levar à necessidade de aumento da dose aplicada (SOUZA, 2002).

3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE CALDAS DE GLYPHOSATE, 2,4-D E ADJUVANTES

3.1 RESUMO

Características físicas e químicas das caldas de pulverização podem ser alteradas pela mistura de herbicidas e pelo uso de adjuvantes e assim interferir na qualidade da aplicação. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a formação e persistência de espuma, estabilidade na formação de fases, potencial hidrogeniônico, tensão superficial e densidade em caldas dos herbicidas Roundup Original, Navajo e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 ou Nimbus. O delineamento foi inteiramente casualizado, fatorial 3 x 3, três caldas de herbicidas: glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹) e mistura em tanque de glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹) e 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹); três condições de adjuvantes: ausente, fosfatidilcolina + ácido propiônico (Li700, 0,15% v v⁻¹) e óleo mineral (Nimbus, 0,5% v v⁻¹), cinco repetições. A mistura de Roundup Original e Navajo reduz a tensão superficial na calda, aumenta a formação de espuma, mas não altera sua persistência. A adição de Li700 ou Nimbus às caldas de herbicidas reduz a tensão superficial, aumenta a formação e persistência da espuma. A formação de espumas é inversamente proporcional à tensão superficial das caldas. Não há ocorrência de sedimentação, floculação, e formação de fases nas soluções. A adição de Li700 ao herbicida Navajo reduz o pH da solução. A mistura em tanque de Roundup Original e Navajo e a adição de Li700 ao Roundup Original aumentaram a densidade das caldas, enquanto a adição de Li700 ao Navajo e de Nimbus à mistura em tanque dos herbicidas Roundup Original e Navajo reduziram.

Palavras chave: Tecnologia de aplicação. Preparo de calda. Espuma. Tensão superficial. Potencial hidrogeniônico. Densidade.

3.2 ABSTRACT

Physical and chemical spray solution characteristics can be change by herbicide tank mix and adjuvant use and thus interfere in application quality. The research aim was to evaluate the formation and persistence of foam stability in the formation of phases, hydrogenionic potential, surface tension and density of Roundup Original, Navajo, and Roundup Original + Navajo tank mix herbicides, with and without Li700 or Nimbus adjuvants. The design was completely randomized, factorial 3 x 3, three herbicides: glyphosate (Roundup Original, 2.5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1.0 Kg ha⁻¹) and tank mix of glyphosate (Roundup Original, 2.5 L ha⁻¹) + 2,4-D (Navajo, 1.0 Kg ha⁻¹), with and without adjuvants: fosfatidilcoline + propionic acid (Li700, 0.15% v v⁻¹) or mineral oil (Nimbus, 0.5% v v⁻¹), five replicates. To mix Roundup Original and Navajo reduces the surface tension, increases foaming in the spray solution, but does not change its persistence. To add Nimbus or Li700 to herbicides reduces the surface tension and increases foaming and its persistence in the spray solution. Foaming is inversely proportional to the surface tension of the spray solutions. There is no sedimentation, flocculation or phase formation in solutions. To mix in tank of Roundup Original and Navajo or to add Li700 to Roundup Original increased the density of the spray solution, while to add Li700 to Navajo and Nimbus the tank mix of Roundup Original and Navajo reduce.

Keywords: Application technology. Spray solution preparation Foam. Superficial tension. Hydrogenionic potential. Density.

3.3 INTRODUÇÃO

Misturas de agrotóxicos e adjuvantes são práticas comuns, no tratamento fitossanitário de agentes de danos em culturas, com o intuito de aumentar o espectro de ação dos produtos e diminuir os números de aplicações (PETTER et al., 2012). Tanto os adjuvantes presentes na formulação dos agrotóxicos, como aqueles adicionados à calda durante seu preparo, podem alterar as características físicas e químicas da solução, as interações entre o agrotóxico e o alvo, e modificar a qualidade

da aplicação (CHECHETTO, 2011; LEAPER; HOLLOWAY, 2000; OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012; ZABKIEWICZ, 2000). Porém, estas misturas podem causar incompatibilidades, reduzir o rendimento operacional e ineficiência do tratamento fitossanitário.

Dentre os problemas que podem ocorrer, podemos citar a formação excessiva de espuma durante o preparo da calda no tanque do pulverizador, causada pela solubilização dos agrotóxicos e adjuvantes na água, e agitação, que pode acarretar em perdas de ingrediente ativo por derramamento no abastecimento do pulverizador, e conseqüentemente, perda econômica, contaminação do meio ambiente e de pessoas. O excesso de formação de espuma ocorre em 23% dos casos de mistura em tanque no Brasil (GAZZIERO, 2015), sendo uma característica indesejável, uma vez que é necessário interromper a adição de água para a espuma não transbordar (GREEN; BEESTMAN, 2007; MENDONÇA et al., 2004). A formação de fases na solução também é indesejável, visto que pode causar decantação do ingrediente ativo e desuniformizar a sua distribuição pela área aplicada.

O potencial hidrogeniônico (pH) das caldas de agrotóxicos e adjuvantes também pode interferir na atividade biológica dos produtos envolvidos. O pH alto, pode acelerar a degradação do herbicida por hidrólise alcalina. Além disso, a constante de dissociação de muitas moléculas de herbicidas depende do pH, e a sua absorção pelos tecidos vegetais varia, dependendo da molécula ser íntegra ou dissociada em cátions e ânions (KISSMANN, 1997). Em pH baixo, a taxa de hidrólise alcalina é reduzida, tendo como vantagem o aumento da velocidade de absorção (THEISEN; RUEDELL, 2004). Alguns herbicidas têm sua eficiência elevada na planta com a redução do pH da água a valores próximos a 4,0, e a máxima absorção e eficiência de herbicidas com caráter de ácido fraco ocorre em pH em que 50% das moléculas encontram-se dissociadas (pKa). Além disso, a taxa de hidrólise é retardada em pH mais baixo, mantendo a folha úmida por maior tempo, pois a superfície das folhas tem pH neutro e interage com o pH da calda (McCORMICK, 1990).

A tensão superficial influencia na retenção ou adesividade dos agrotóxicos na superfície foliar, em função do ângulo de contato que a gota pulverizada forma com o alvo ao atingí-lo, que por sua vez é influenciado pela presença de adjuvantes na calda (TANG et al., 2008). As propriedades intrínsecas às

gotas, estão intimamente relacionadas aos componentes da formulação, com destaque à quantidade de aditivos na composição de cada produto, agrotóxicos e adjuvantes (HOLLOWAY, 1994). A redução da tensão superficial em caldas de agrotóxicos pode ter efeito molhante (MENDONÇA et al., 1999), espalhante e penetrante, além de aumentar velocidade, absorção e/ou translocação (MARTINS et al., 2009; GREENE; BUKOVAC, 1974).

O aumento da densidade das caldas de pulverização pode levar à redução de deriva durante a aplicação, embora na prática esse processo não é facilmente obtido, principalmente devido à baixa concentração de agrotóxicos e adjuvantes em relação à água. Para se conseguir aumento de densidade, seria necessário aumentar muito a concentração (CUNHA; ALVES; REIS, 2010).

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a formação e persistência de espuma, estabilidade na formação de fases, potencial hidrogeniônico, tensão superficial e densidade em caldas dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e a mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento foi inteiramente casualizado, fatorial 3 x 3, três caldas de herbicida: glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹) e mistura em tanque de glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹) e 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹); e três condições de adjuvantes: ausente, fosfatidilcolina + ácido propiônico (Li700, 0,15% v v⁻¹) e óleo mineral (Nimbus, 0,5% v v⁻¹), totalizando nove tratamentos, com cinco repetições.

Nos ensaios de espuma, formação e persistência, e estabilidade da solução de pulverização na formação de fases, as caldas foram preparadas em balão volumétrico de 500 mL (taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹), vertidas em uma proveta (capacidade de 1 L) com tampa, e invertida 30 vezes, em 180° no sentido vertical em intervalos de 2 segundos, para agitação do líquido. Em seguida foi posicionada em local livre de trepidação e imersa em recipiente com água a 30°C (±1°C) (NBR 13451:

2002). Foi avaliada a altura do volume de espuma formado (escala graduada em milímetros) e verificada a ocorrência de sedimentação, floculação, e formação de fases nas soluções, aos 2,5, 5, 10, 20 e 40 minutos após o início do repouso.

A tensão superficial foi determinada pela medição da massa de um conjunto de 5 gotas (produzidas por uma bureta de 25 mL, posicionada na vertical) depositadas em um béquer (com óleo vegetal para evitar a evaporação das gotas) sobre uma balança analítica (precisão de 0,1 mg). Para todos os tratamentos, a ponta da bureta ficou a uma altura de 5 cm acima da superfície do líquido dentro do béquer, padronizando assim a interferência de perdas por evaporação durante a queda das gotas. Foi feito um tratamento adicional com água destilada e os dados de peso das gotas foram convertidos para tensão superficial, considerando como $0,0726 \text{ N m}^{-1}$ a tensão superficial da água destilada (OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012).

A densidade foi determinada pela massa de 1 L da solução em balão volumétrico sobre balança analítica (precisão de 0,1 mg), e o potencial hidrogeniônico das soluções foi mensurado utilizando um peagômetro (DIGIMED - Modelo DM-23) com precisão de 0,01%, calibrado em soluções tampão ácida e básica. Os ensaios de tensão superficial, densidade e potencial hidrogeniônico foram realizados em ambiente com temperatura de 28°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$).

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e a homogeneidade de variância pelo teste de Levene. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Fukey ($p < 0,05$). Os dados de formação e persistência de espuma foram comparados por medidas repetidas no tempo.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A formação e o tempo necessário à dissipação (persistência) da espuma em caldas de pulverização agrícola é determinado tanto pelas propriedades da formulação do herbicida, quanto dos adjuvantes adicionados à calda, pois houve interação entre os herbicidas, o uso de adjuvantes e o tempo de repouso da solução, sobre a formação e persistência de espuma em caldas de pulverização (Tabela 3.1).

Todas as soluções foram estáveis até os 40 min, pois não ocorreu sedimentação, floculação, ou formação de fases nas mesmas.

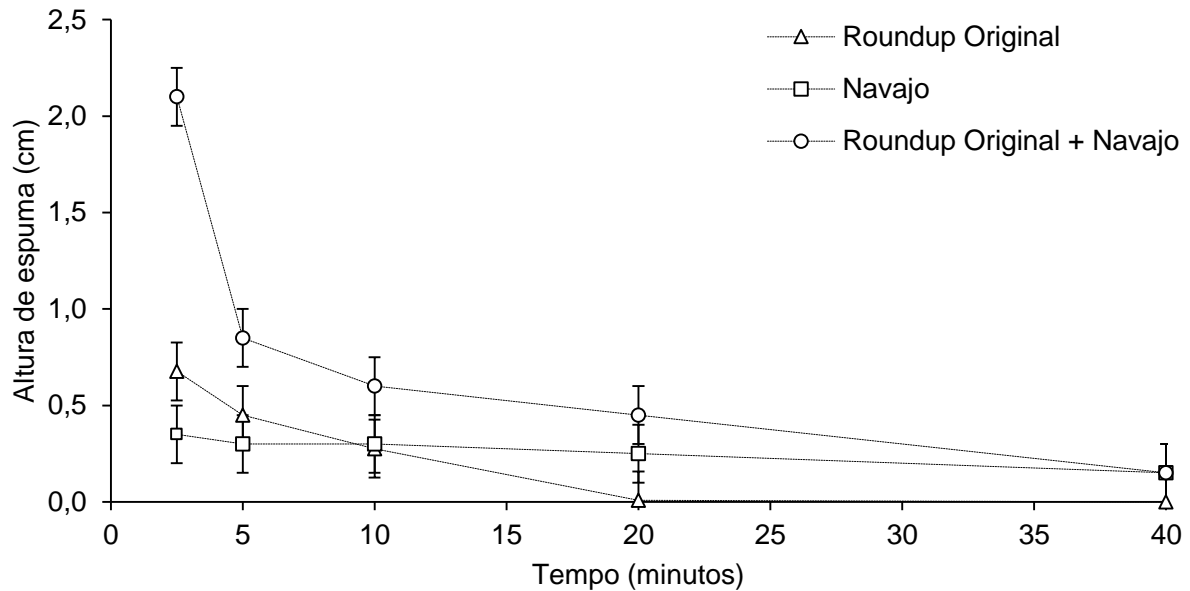
Tabela 3.1 Análise de variância dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre a formação de espuma em caldas de pulverização agrícola e sua persistência ao longo do tempo.

Fatores	SQ	QM	F	p-valor
Herbicida	193,90	96,95	1317,077*	0,0000
Adjuvante	431,10	215,55	2928,229*	0,0000
Herbicida*Adjuvante	191,13	47,78	649,109*	0,0000
Erro 1	1,99	0,07		
Tempo	291,84	72,96	2759,919*	0,0000
Tempo*Herbicida	105,35	13,17	498,151*	0,0000
Tempo*Adjuvante	92,84	11,60	438,978*	0,0000
Herbicida*Adjuvante*Tempo	79,74	4,98	188,517*	0,0000
Erro 2	2,86	0,03		
CV 1 (%)		11,16		
CV 2 (%)		6,69		

CV: coeficiente de variação; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; F: teste F. *significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

A mistura em tanque dos herbicidas Roundup Original e Navajo aumentou a formação de espuma em seis vezes em relação ao Navajo e em três vezes em relação ao Roundup Original, porém, não alterou sua persistência, pois após cinco minutos, na ausência de agitação, a calda contendo a misturas dos herbicidas apresentava quantidade de espuma semelhante às caldas dos herbicidas separadamente (Figura 3.1). Maciel et al. (2010) também constatou aumento na formação de espuma em mistura de glyphosate com chlorimuron-ethyl.

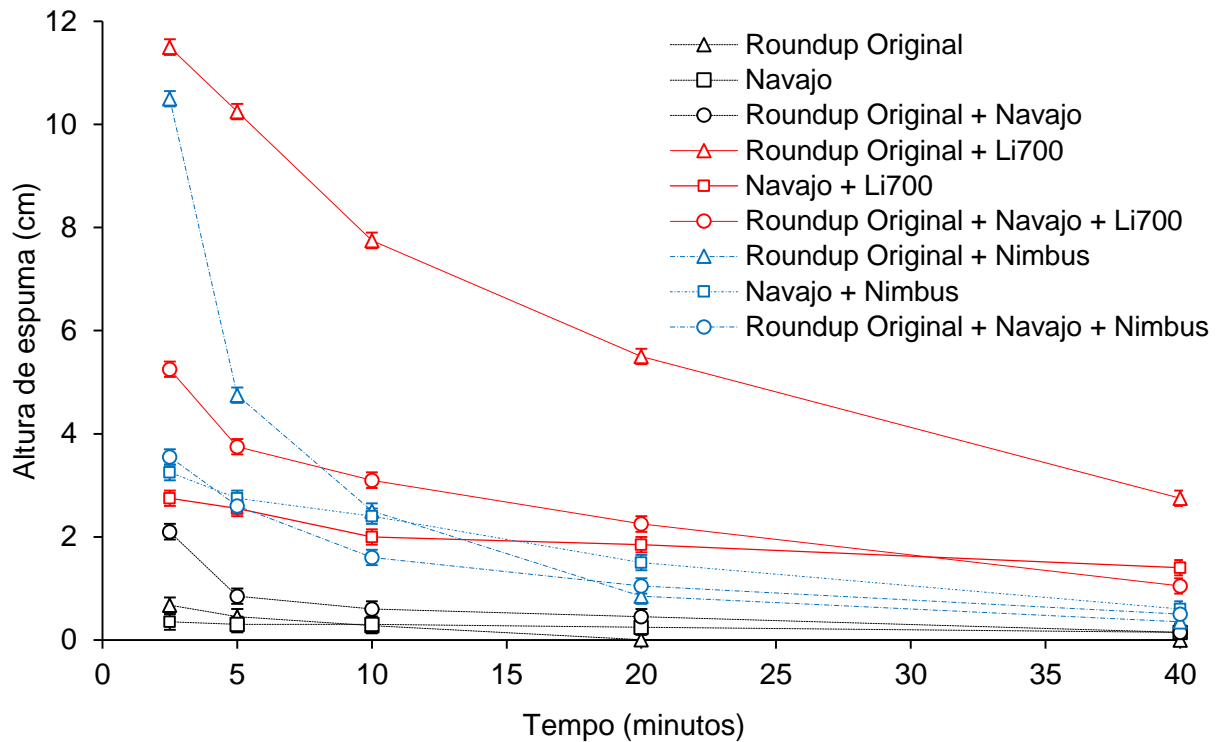
Figura 3.1 Formação de espuma em caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, e sua persistência ao longo do tempo.



Barras verticais: diferença mínima significativa (DMS = 0,31)

O herbicida Roundup Original foi mais propenso à formação de espuma que o Navajo, sem ou com o uso de adjuvantes. A adição dos adjuvantes Li700 ou Nimbus às caldas dos herbicidas aumentou a formação e a persistência da espuma (Figura 3.2), ocorrendo maior formação de espuma na mistura dos adjuvantes Li700 ou Nimbus ao Roundup Original do que ao Navajo. A altura do volume de espuma formada na mistura de Roundup Original e Li700 foi 4,2 vezes maior que na mistura de Navajo e Li700, e na mistura de Roundup Original e Nimbus foi 3,2 vezes maior que na mistura de Navajo e Nimbus.

Figura 3.2 Formação de espuma em caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) e sua persistência ao longo do tempo.



Barras verticais: diferença mínima significativa (DMS = 0,31)

A adição de Li700 aos herbicidas Roundup Original ou à mistura em tanque de Roundup Original e Navajo aumentaram a formação de espuma em proporções maiores que a adição de Nimbus. Já a adição de Li700 ao Navajo causou menor formação de espuma que o adjuvante Nimbus adicionado ao mesmo herbicida.

A adição dos adjuvantes Li700 ou Nimbus às caldas de herbicidas, além de aumentar a formação de espuma, dificultou a sua dissipação. Enquanto na ausência de adjuvantes, todas as caldas apresentaram baixos níveis de espuma após cinco minutos sem agitação, nas caldas contendo Li700 ou Nimbus, esses níveis foram alcançados somente aos 40 minutos sem agitação. A mistura de Roundup Original e Li700 foi a que ocasionou maior formação de espuma, e também a calda

em que houve maior tempo gasto em sua dissipação, apresentando níveis de espuma mais elevados que as demais caldas, mesmo aos 40 minutos sem agitação.

Diferentes formulações de glyphosate também alteram a formação e persistência da espuma (MACIEL et al., 2010). Em situações em que a espuma formada no preparo da calda de pulverização cause redução no rendimento operacional desta operação, devido ao tempo excessivo gasto com os abastecimentos aguardando a redução do volume de espuma, pode ser necessário o uso de antiespumantes.

Além disso, a formação excessiva de espuma pode causar problemas ao enxaguar o pulverizador, por dificultar a remoção do produto pulverizado (GREEN E BEESTMAN, 2007). Resíduos de herbicidas no sistema de pulverização podem causar fitotoxicidade em culturas sensíveis, quando o pulverizador é usado previamente no controle de plantas daninhas, em manejo de dessecação ou em culturas resistentes.

A tensão superficial de caldas de pulverização agrícola foi dependente tanto das propriedades da formulação do herbicida quanto dos adjuvantes adicionados à calda, pois houve interação entre os herbicidas e o uso de adjuvantes sobre a tensão superficial das soluções (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 Análise de variância dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre a tensão superficial de caldas de pulverização agrícola e sua persistência ao longo do tempo.

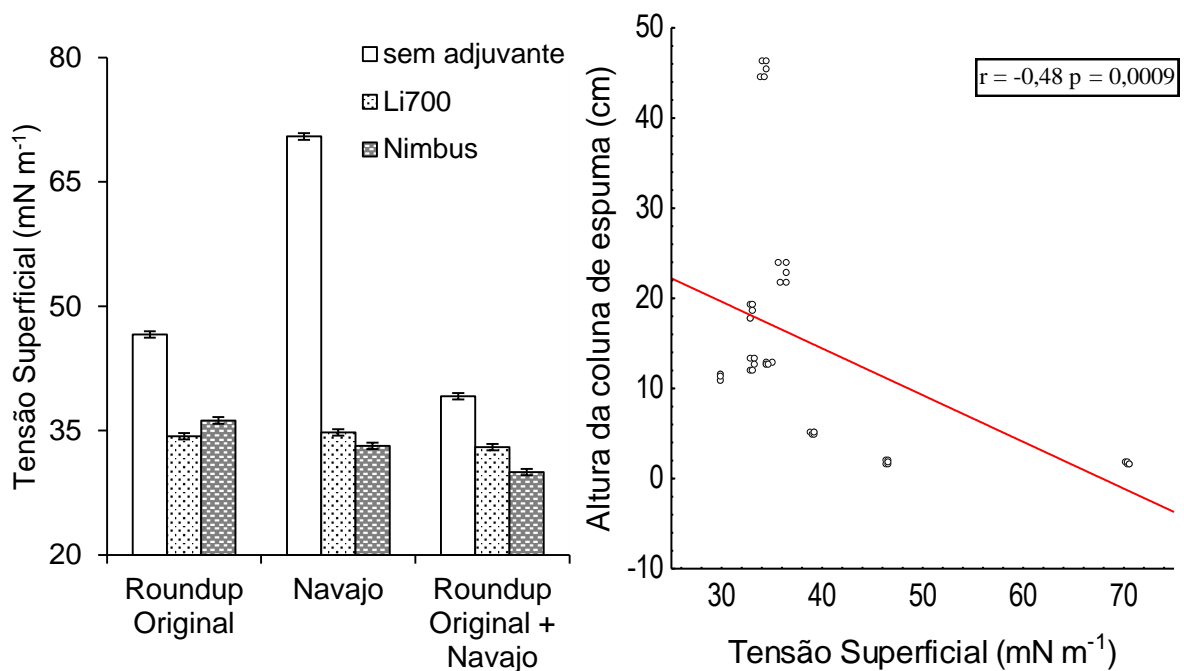
Fatores	SQ	QM	F	p-valor
Herbicida	11090,11	554,51	8547,88*	0,0000
Adjuvante	34248,30	1712,42	263974,22*	0,0000
Herbicida*Adjuvante	1679,62	419,91	6472,98*	0,0000
CV (%)		0,64		

CV: coeficiente de variação; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; F: teste F. *significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

A mistura dos herbicidas, Roundup Original e Navajo, e a adição dos adjuvantes, Li700 ou Nimbus, às soluções de herbicidas, reduziram a tensão

superficial das caldas, sendo essa redução proporcional à formação de espumas (Figura 3.3). Estabelecer relações entre as características químicas e físicas da calda e a formação de espumas é importante para prever o comportamento de misturas de tanque. A redução da tensão superficial das soluções explicou 48% da formação de espuma nas caldas de pulverização, mostrando que é preciso encontrar mais variáveis que estejam relacionadas a este fenômeno para compreendê-lo melhor.

Figura 3.3 Tensão superficial em de caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) e sua correlação com a formação de espuma.



Barras verticais: diferença mínima significativa (DMS=0,39)

O potencial hidrogeniônico e a densidade das caldas de pulverização agrícola foram determinados tanto pelas propriedades da formulação do herbicida, quanto dos adjuvantes adicionados à calda, pois houve interação entre os herbicidas e uso de adjuvantes tanto para o pH quanto para a densidade (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 Análise de variância dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre o potencial hidrogeniônico (pH) e densidade de caldas de pulverização.

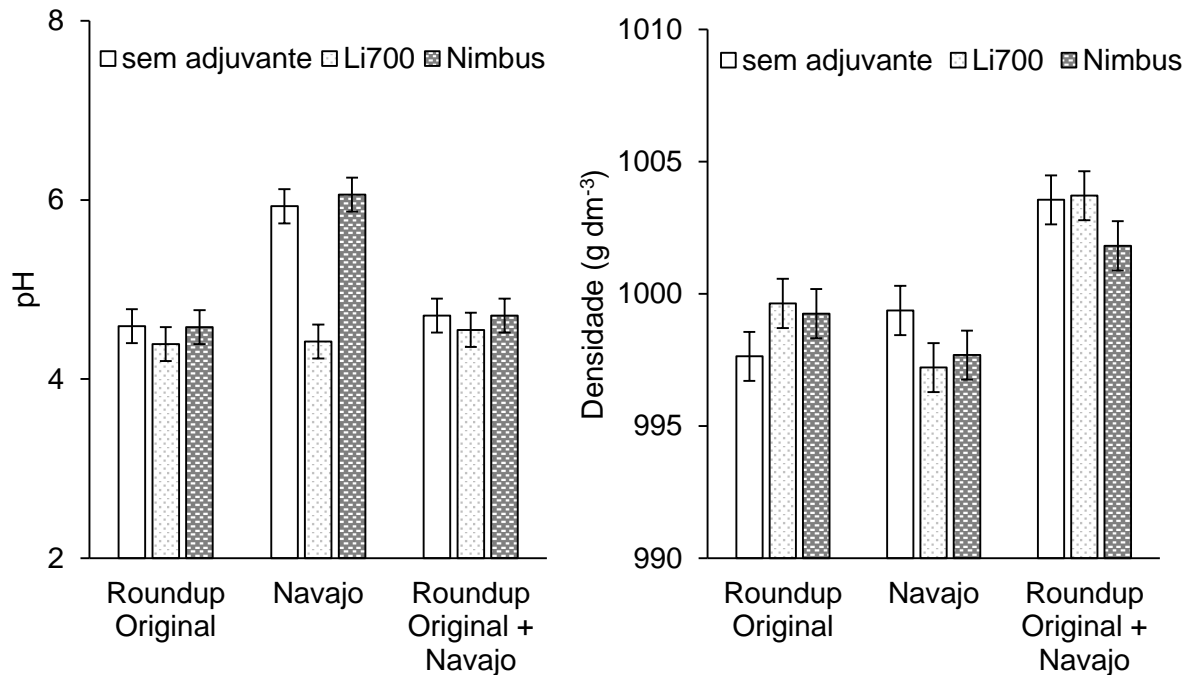
Fatores	SQ	QM	F	p-valor
pH				
Herbicida	3,17	1,58	79,13	0,0000
Adjuvante	1,66	0,83	41,51	0,0000
Herbicida*Adjuvante	1,75	0,44	21,86	0,0001
CV (%)	2,10			
Densidade				
Herbicida	85,02	42,51	94,95	0,0000
Adjuvante	1,45	0,72	1,62	0,2509
Herbicida*Adjuvante	12,62	3,16	7,05	0,0074
CV (%)	0,07			

CV: coeficiente de variação; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; F: teste F. *significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

A adição dos herbicidas e adjuvantes reduziu o pH inicial da água (7,0) para valores entre 4,5 e 5, com exceção do Navajo sem e com adjuvante Nimbus, cujo pH da calda ficou em torno de 6 (Figura 3.4). Alguns herbicidas têm sua eficiência elevada na planta com a redução do pH da água a valores próximos a 4,0. A máxima absorção e eficiência de herbicidas com caráter de ácido fraco ocorre em pH em que 50% das moléculas encontram-se dissociadas (pKa) (McCORMICK, 1990), e que a eficiência de grupamentos ácidos do 2,4-D e glyphosate, é dependente do pH da calda (WANAMARTA; PENNER, 1989).

No entanto, não foi observada alteração no controle de *Commelina benghalensis* em função da redução do pH 6 da calda de 2,4-D na ausência de adjuvantes quando se adicionou o Li700 (pH 4,4), sendo o controle da planta daninha pelo Navajo semelhante sem e com o uso de Li700 (dados mostrados no capítulo 5).

Figura 3.4 Densidade e potencial hidrogeniônico (pH) em caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).



Barras verticais: diferença mínima significativa ($DMS = 0,39 \rightarrow \text{pH}$; $DMS = 1,86 \rightarrow \text{densidade}$). Água destilada com pH 7,0 e densidade $998,46 \text{ g L}^{-1}$, antes da adição dos herbicidas e adjuvantes.

O uso de água com pH alto no preparo da solução pode interferir no resultado da aplicação por acelerar a degradação do herbicida por hidrólise alcalina, sendo que a constante de dissociação de muitas moléculas de herbicidas depende do pH, e a sua absorção pelos tecidos vegetais varia, dependendo da molécula ser íntegra ou dissociada em cátions e ânions (KISSMANN, 1997). Entretanto, o pH da água usado no preparo das caldas nesta pesquisa era neutro (7,0), o que pode ter contribuído para a ausência de diferença no controle de plantas daninhas nos diferentes pH das caldas.

Além disso, alguns herbicidas já tem em sua formulação adjuvantes que adequam o pH da calda, dispensando o uso de adjuvantes adicionais no tanque de pulverização para esta finalidade (GREEN; BEESTMAN, 2007).

A densidade das caldas variou de 997,3 a $1003,7 \text{ g dm}^{-3}$, sendo que a mistura dos herbicidas Roundup Original e Navajo aumentou a densidade da

calda (Figura 3.4). O efeito do uso de adjuvantes em caldas de herbicida sobre a densidade da solução depende da interação entre ambos. A adição de Li700 ao herbicida Roundup Original aumentou a densidade, enquanto sua adição ao herbicida Navajo causou redução. Já o adjuvante Nimbus reduziu a densidade da calda, quando adicionado à mistura dos herbicidas Roundup Original e Navajo.

Alterações na densidade da calda podem interferir no processo de deriva. Caldas menos densas tendem a gerar gotas mais leves, que são mais facilmente arrastadas pelo vento. Contudo, devido às quantidades de produtos e adjuvantes adicionados à água serem pequenas, a alteração do valor global da densidade da calda é quase sempre pequena, tornando-a desprezível para fins de deriva (DA CUNHA, 2008).

3.6 CONCLUSÕES

A mistura de Roundup Original e Navajo reduz a tensão superficial, aumenta a formação de espuma na calda, mas não altera sua persistência. A adição de Li700 ou Nimbus, às caldas de herbicidas, reduz a tensão superficial e aumenta a formação e persistência da espuma. A formação de espumas é inversamente proporcional à tensão superficial das caldas de pulverização.

Não há ocorrência de sedimentação, floculação e formação de fases nas soluções. A adição de Li700 ao herbicida Navajo reduz o pH da solução. A mistura de Roundup Original e Navajo e a adição de Li700 ao Roundup Original aumentam a densidade das caldas, enquanto a adição de Li700 ao Navajo e de Nimbus à mistura em tanque dos herbicidas Roundup Original e Navajo reduzem.

4 ESPALHAMENTO E EVAPORAÇÃO DE GOTAS DE GLYPHOSATE, 2,4-D E ADJUVANTES EM FOLHAS DE *Commelina benghalensis* EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

4.1 RESUMO

Misturas de herbicidas e adjuvantes e variações na temperatura e umidade relativa do ar podem interferir no espalhamento e evaporação de gotas de pulverização sobre o alvo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o espalhamento e o tempo de evaporação de gotas de Roundup Original, Navajo e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 ou Nimbus, depositadas em superfície adaxial de *Commelina benghalensis* sob duas condições de temperatura e umidade relativa do ar. O delineamento foi inteiramente casualizado, fatorial 3x3x2, três caldas de herbicidas: glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹) e mistura em tanque de glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹) e 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹); três condições de adjuvantes: ausente, fosfatidilcolina + ácido propiônico (Li700, 0,15% v v⁻¹) e óleo mineral (Nimbus, 0,5% v v⁻¹) e duas condições de temperatura e umidade: 22°C e 75%, e 33°C e 45%, cinco repetições. Foram avaliados o espalhamento e o tempo de evaporação de gotas de 500 µm depositadas em folhas de *C. benghalensis*. A elevação da temperatura e redução da umidade relativa do ar reduz o tempo de evaporação de gotas, reduz o espalhamento das gotas de Roundup Original + Navajo + Nimbus e aumenta o espalhamento das gotas de Navajo + Nimbus. A adição do Li700 ao Roundup Original aumenta o espalhamento das gotas. A adição do Nimbus ao Roundup Original + Navajo aumenta o espalhamento em ambas as condições de temperatura e umidade, e reduz o espalhamento do Navajo em temperatura de 22°C e umidade relativa de 75%. Em temperatura de 22°C e umidade relativa de 75%, a adição de Li700 ao Roundup Original aumenta o tempo de evaporação das gotas, e sua adição ao Roundup Original + Navajo reduz; a adição do Nimbus ao Roundup Original e à mistura Roundup Original + Navajo reduz o tempo de evaporação das gotas, e sua adição ao Navajo aumenta. Em temperatura de 33°C e umidade relativa de 45%, a adição de Nimbus ao Roundup Original aumenta o tempo de evaporação.

Palavras chave: Tecnologia de aplicação. Gotas de pulverização. Análise sequencial de imagens. Condições meteorológicas controladas.

4.2 ABSTRACT

Variations in temperature and relative humidity, as well as herbicide formulations and adjuvants may interfere with the spreading and evaporation of spray droplets on the target. The research aim was to evaluate the spreading and the time of evaporation of drops of Roundup Original, Navajo and Roundup Original + Navajo, with and without the use of Li700 or Nimbus adjuvants, deposited in adaxial surface of *Commelina benghalensis* under two conditions of temperature and relative humidity. The design was completely randomized, factorial 3x3x2, three herbicides: glyphosate (Roundup Original, 2.5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1.0 kg ha⁻¹), and 2,4-D + glyphosate; three adjuvants conditions: absent, fosfatidilcoline + propionic acid (Li700, 0.15% v v⁻¹) or mineral oil (Nimbus, 0.5% v v⁻¹) and two temperature and humidity conditions: 22°C and 75% and 33°C and 45%, five replicates. Spreading and evaporation time of 500 µm droplets deposited on adaxial surface of *C. benghalensis* was evaluated. The temperature elevation and air humidity reduction reduces evaporation time drops, reduces the spread of droplets of Roundup Original Navajo + + Nimbus herbicides and increases the spread of droplets of Navajo + Nimbus. The addition of Li700 to the Roundup Original increases the droplets spread. The addition of Nimbus to the Roundup Original + Navajo increases the spread, in both temperature and humidity conditions, and reduces the spread of Navajo at temperature of 22°C and relative humidity of 75%. At 22°C and relative humidity of 75%, to add Li700 to Roundup Original increases the evaporation time of the droplets and its addition to Roundup Original + Navajo reduces, and the addition of Nimbus to Roundup Original and to Roundup Original + Navajo reduces the evaporation time and its addition to Navajo increases. At a temperature of 33 ° C and relative humidity of 45%, to add Nimbus to Roundup Original increases the time of evaporation.

Keywords: Application technology. Spray droplets. Analysis of sequential images. Meteorological conditions controlled.

4.3 INTRODUÇÃO

A absorção e eficiência de herbicidas estão relacionadas diretamente ao espalhamento e evaporação das gotas aplicadas, e podem ser reduzidas se o ingrediente ativo não se espalhar de forma uniforme sobre o alvo (JOHNSTONE, 1973; XU et al., 2010).

Os adjuvantes presentes na formulação dos agrotóxicos ou adicionados no preparo da calda podem promover melhor molhamento, aderência, espalhamento e tempo de evaporação da gota, dispersão da calda de pulverização, redução de espuma, aumentar da absorção do ingrediente ativo, a retenção no alvo, havendo inclusive possibilidade de redução da concentração (STICKLER, 1992). Alguns adjuvantes dissolvem a camada de cera epicuticular das plantas (MENDONÇA, 2007) ou facilitar a penetração de agroquímicos, por modificar a distribuição e forma física do depósito de herbicida na superfície alvo, o que altera a sua partição, bem como o gradiente de concentração, modificando a permeabilidade do herbicida na cutícula (HESS e FOY, 2000).

Formulações distintas de herbicidas com mesmo princípio ativo apresentam comportamentos diferentes sobre o alvo devido aos componentes inertes. No caso do herbicida glyphosate, gotas da formulação de sal de isopropilamina e sal de amônia apresentam maior espalhamento sobre folhas de *Bidens pilosa* do que a formulação de sal potássico, já em folhas de *Cenchrus echinatus* as formulações sal de amônia, sal de isopropilamina e sal potássico apresentam espalhamentos decrescentes (OLIVEIRA et al., 2015).

Além disso, alterações nas condições de umidade também influenciam na distribuição dos resíduos de herbicidas sobre as plantas, sem e com o uso de adjuvantes, podendo melhorar a absorção do ingrediente ativo (HUNSCHE e NOGA, 2011). Como nem sempre é possível realizar a pulverização dentro dos limites de temperatura e umidade recomendados, é importante saber qual a influência desses fatores sobre o comportamento das gotas após sua deposição no alvo.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o espalhamento e tempo de evaporação de gotas de Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral), depositadas em

superfície adaxial de *Commelina benghalensis*, sob duas condições de temperatura e umidade relativa do ar.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3 x 2, sendo três caldas contendo os herbicidas: glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹), e mistura em tanque de glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹) e 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹); três condições de adjuvantes: ausente, fosfatidilcolina + ácido propiônico (Li700, 0,15% v v⁻¹) e óleo mineral (Nimbus, 0,5% v v⁻¹) e duas condições de temperatura e umidade no momento de deposição das gotas: 22°C e 75%, e 33°C e 45%, totalizando dezoito tratamentos, com cinco repetições.

As plantas usadas no ensaio foram retiradas com dois pares de folhas e sistema radicular, de área com infestação natural, e transplantadas em vasos (capacidade para 5 dm³) preenchidos com 4,5 dm³ de substrato (80 % de solo argiloso, 15% de areia média e 5% de matéria orgânica). As plantas não foram cultivadas a partir de sementes devido à baixa taxa de germinação destas e dificuldade em estabelecer plantas em estágio de desenvolvimento uniforme.

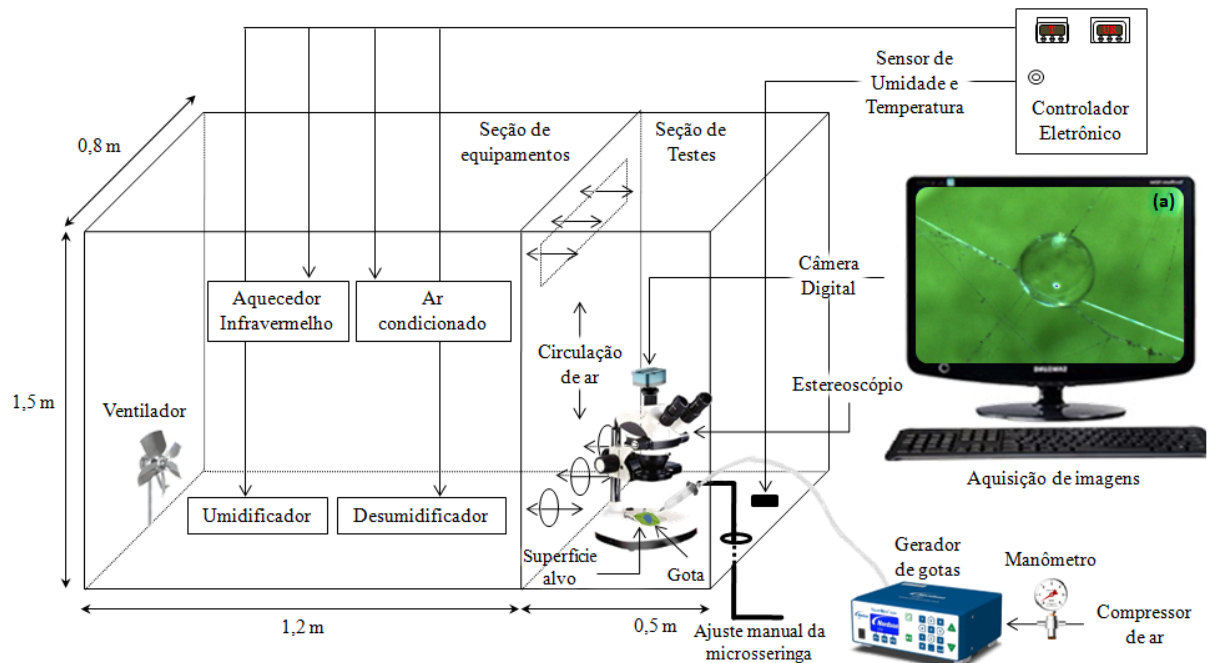
Durante o desenvolvimento, as plantas permaneceram em viveiro coberto com tela de ráfia, cor preta (50% de passagem de radiação solar), irrigadas diariamente até atingir a capacidade de campo.

As soluções foram preparadas em balões volumétricos de 1 L utilizando água destilada, de acordo com as dosagens dos herbicidas e/ou adjuvante, taxa de aplicação de 100 Lha⁻¹, imediatamente antes de sua utilização sendo agitadas sempre antes do uso em cada repetição.

Para controle da temperatura ($\pm 1^\circ\text{C}$) e umidade relativa do ar ($\pm 3\%$) foi usada uma câmara climática (Figura 4.1) com um umidificador, um desumidificador, um ar condicionado e um aquecedor infravermelho, conectados a um sensor de temperatura e umidade (sensível a variações $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,5\%$) posicionado na seção de testes da câmara climática que ao detectar variação em relação à temperatura e umidade relativa do ar estipuladas para o teste, aciona automaticamente os

equipamentos necessários à manutenção das condições climáticas constantes (OLIVEIRA et al., 2015). O ventilador tem função de homogeneização do ar entre as seções de equipamentos e testes, e permanece ligado durante todo o ensaio.

Figura 4.1 Câmara climática com controle de temperatura e umidade usada em experimentos de deposição de gotas sobre o alvo.



Fonte: Oliveira et al., 2015.

O sistema contém um compressor de ar conectado a um gerador de gotas (modelo Ultimus V, EFD Inc., East Providence, RI) ligado por um tubo flexível a uma seringa, 7,3 cm de comprimento e 1,1 cm de diâmetro interno, com uma capacidade de 9 mL. O gerador de gotas regula a quantidade de líquido expelido e assim permite alterações no tamanho da gota formada, por meio da pressão de ar (0 a 60 kPa), tempo de expulsão (0001 - 1000 s) e vácuo.

A seringa é posicionada inclinada a 45° em relação ao plano horizontal e a 1 mm de altura em relação à superfície alvo. Ela é fixada em um suporte com uma haste prolongada ao exterior da câmara climática, por meio de um orifício em sua base, que possibilita movimentar a seringa para deposição da gota sem abrir a porta na parte frontal da seção de testes, e assim, evitar oscilações das condições ambientais no momento de deposição da gota.

O tamanho da gota foi calibrado pela deposição de 10 gotas sobre um fio de teia de aranha (15 μm de espessura), onde assumem formato esférico, e posterior mensuração de seu diâmetro com auxílio de programas de análise de imagem (Figura 4.1a). O tamanho da gota foi considerado calibrado quando as todas as gotas do fio apresentavam variação menor que 10% em relação à média (500 μm de diâmetro).

Após a calibração, uma folha de *C. benghalensis* (4^o par de folha totalmente expandida - estágio vegetativo) foi destaca da planta e posicionada sobre a platina de observação do estereoscópio equipado com câmera digital para captura de imagens sequenciais em intervalos constantes com vista superior ao alvo. Após a estabilização da temperatura e umidade, uma gota, 500 μm , foi depositada sobre a superfície adaxial, na parte central da folha deslocada lateralmente em relação à nervura principal.

O espalhamento e a evaporação da gota foram visualizados e registrados por meio de imagens sequenciais capturadas em intervalos de 3 segundos por uma câmera digital acoplada ao estereoscópio com zoom de 7x de ampliações na faixa de 0,7 até 225x por meio de combinação de objetivas e oculares (Bel Engineering®).

A área máxima de espalhamento da gota foi mensurada delimitando a borda da gota com a função polígono do programa de análise e processamento de imagem, IS capture 2.2.1 (Scienon Technology Co. LTD). O programa foi calibrado com uma régua de 0,01 μm . O tempo de evaporação das gotas em superfície foi determinado pela mensuração do intervalo de tempo entre a deposição e extinção da gota. Os momentos iniciais e finais da evaporação foram registrados pelas imagens capturadas durante a evaporação. Dessa forma, o tempo de evaporação foi calculado pela subtração do horário da imagem final, correspondente ao final da evaporação, pelo horário da primeira imagem, referente ao momento que a gota foi depositada (Zhu et al., 2008).

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e a homogeneidade de variância pelo teste de Levene. Foi feita análise de variância pelo teste F e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento das gotas de pulverização após sua deposição sobre o alvo foi determinado pelas propriedades da formulação do herbicida e dos adjuvantes adicionados à calda e pelas condições de temperatura e umidade relativa do ar, pois houve interação entre os herbicidas, o uso de adjuvantes e as condições de temperatura e umidade relativa do ar no espalhamento e evaporação de gotas depositadas sobre superfície de *C. benghalensis* (Tabela 4.1).

Tabela 4 1 Análise de variância dos herbicidas (H) Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes (A) Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre o espalhamento e tempo de evaporação de gotas depositadas sobre superfície adaxial de *Commelina benghalensis*.

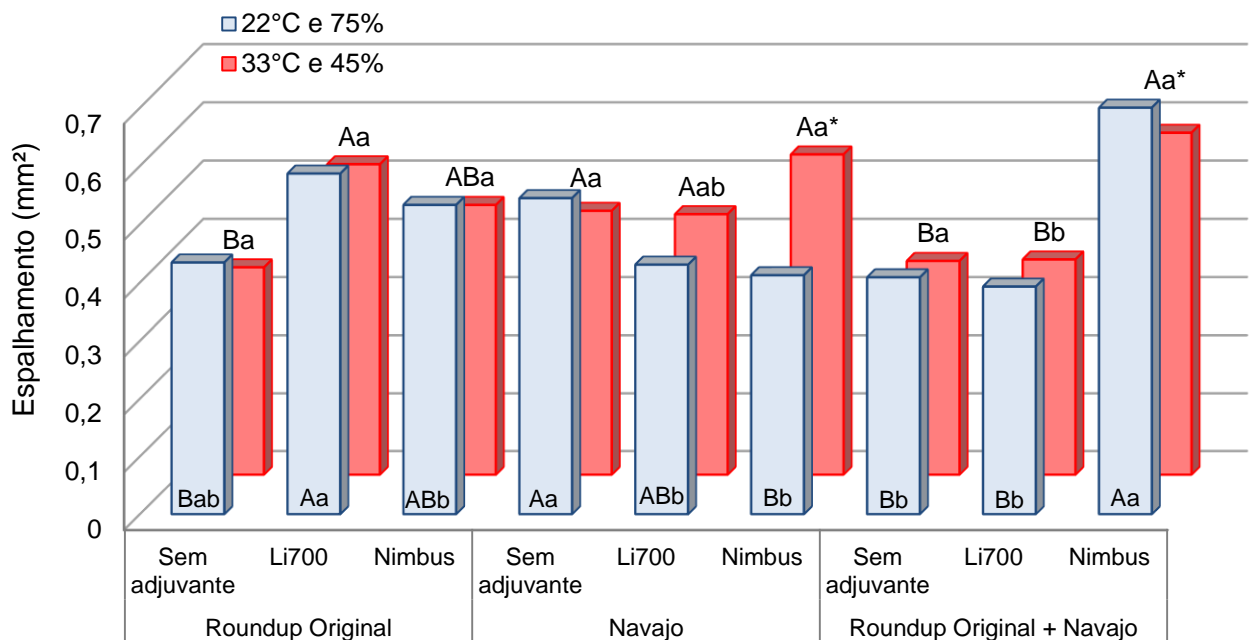
	Espalhamento				Tempo de evaporação			
	SQ	QM	F	p-valor	SQ	QM	F	p-valor
H	0,0020	0,0010	0,1500	0,8611	33328,80	16664,40	171,01*	0,0000
A	0,2272	0,1136	0,1687*	0,0000	1523,40	761,70	7,82*	0,0008
C	0,0313	0,0313	4,6490*	0,0344	291726,4	291726,4	2993,60*	0,0000
H*A	0,4354	0,1088	1,6169*	0,0000	34723,20	8680,80	89,08*	0,0000
H*C	0,0401	0,0201	2,9820	0,0570	13013,60	6506,80	66,77*	0,0000
A*C	0,0115	0,0057	0,8530	0,4304	8880,20	4440,10	45,56*	0,0000
H*A*C	0,0769	0,0192	2,8550*	0,0296	38152,00	9538,00	97,88*	0,0000
Erro	0,4847	0,0067			7016,40	97,45		
CV (%)		17,14				6,33		

CV: coeficiente de variação; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; F: teste F. *significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

As condições de temperatura e umidade relativa do ar podem alterar o espalhamento de gotas de pulverização depositadas sobre superfície adaxial de *C. benghalensis* dependendo dos herbicidas e adjuvantes usados na mistura de tanque (Figura 4.2). A maioria das caldas foi estável às variações na temperatura e umidade relativa do ar, sendo que apenas duas delas tiveram o espalhamento das gotas alterado pelas condições meteorológicas. A elevação da temperatura de 22 para 33°C, simultaneamente à redução da umidade de 75 para 45%, aumentou a área de espalhamento das gotas das caldas contendo Navajo + Nimbus e reduziu o

espalhamento das gotas de Roundup Original + Navajo + Nimbus. Nas demais caldas, o espalhamento foi semelhante em ambas as condições de temperatura e umidade relativa do ar.

Figura 4.2 Espalhamento máximo de gotas de 500 µm, contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral), depositadas sobre superfície adaxial de *Commelina benghalensis* em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.



*Indica diferença significativa das caldas nas diferentes condições de temperatura e umidade. Para cada condição de temperatura e umidade, médias seguidas de letras maiúsculas (para um mesmo herbicida) e minúsculas (para um mesmo adjuvante) não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na ausência de adjuvantes e em ambas as condições de temperatura e umidade relativa do ar, a calda do herbicida Navajo foi a que apresentou maior espalhamento das gotas, e sua mistura com Roundup Original reduziu o espalhamento.

Entretanto, diferentes formulações do herbicida glyphosate podem mudar o comportamento da gota sobre o alvo. Gotas de herbicidas com formulação sal de isopropilamina (Roundup Original, 2,0 L ha⁻¹) e sal de amônia (Roundup WG, at 1.0 kg ha⁻¹) apresentam maior espalhamento do que a de sal potássico (Zapp, 1.4 L ha⁻¹) sobre folhas de *Bidens pilosa*. Enquanto em folhas de *Cenchrus echinatus* as gotas de formulações de sal de amônia, de isopropilamina e potásico apresentaram espalhamento decrescente (OLIVEIRA et al., 2015). O que dificulta generalizações de recomendações com relação a misturas de tanques e uso de adjuvantes.

A adição de ambos os adjuvantes, Li700 ou Nimbus, alteraram o espalhamento das gotas quando adicionados à caldas de herbicidas, sendo essas alterações dependentes da interação entre herbicidas e adjuvantes.

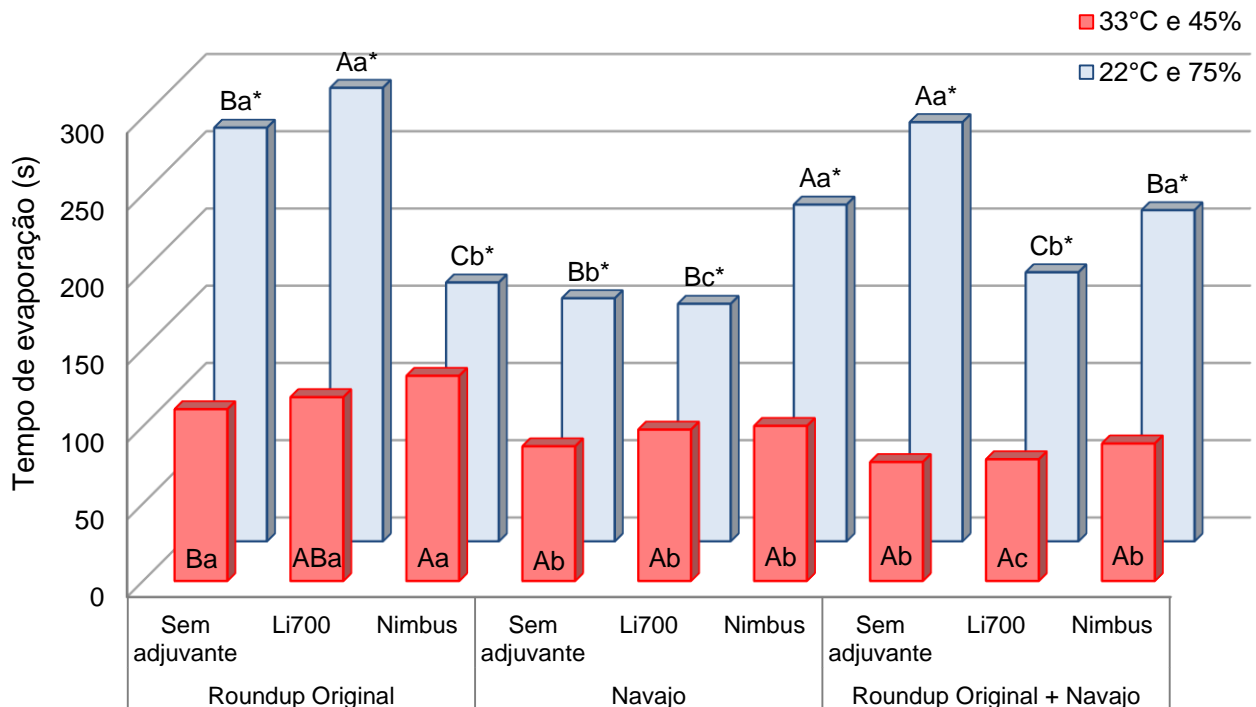
A adição do adjuvante Li700 à caldas de herbicida Roundup Original aumentou o espalhamento das gotas, Já sua adição ao herbicida Navajo e à mistura de Roundup Original + Navajo não alterou o espalhamento, em ambas as condições de temperatura e umidade relativa do ar. Pode-se dizer, portanto, que o comportamento do adjuvante Li700 foi estável às alterações na temperatura e umidade relativa, quando adicionado aos herbicidas Roundup Original, Navajo e mistura de ambos.

A adição do adjuvante Nimbus ao herbicida Roundup Original não alterou o espalhamento das gotas, já sua adição à mistura em tanque de Roundup Original + Navajo aumentou o espalhamento, em ambas as condições de temperatura e umidade. O comportamento da adição de Nimbus ao herbicida Navajo foi dependente das condições de temperatura e umidade. Em temperatura de 22°C e umidade relativa de 75%, a adição do adjuvante ao herbicida reduziu o espalhamento da gota, enquanto na temperatura de 33°C e umidade relativa de 45% a adição do adjuvante ao herbicida não alterou o espalhamento.

A elevação da temperatura de 22 para 33°C, simultaneamente à redução da umidade de 75 para 45%, reduziu o tempo de evaporação de gotas contendo os herbicidas Roundup Original, Navajo e Roundup Original + Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 ou Nimbus, depositadas sobre superfície adaxial de *C. benghalensis* (Figura 4.3). A elevação da umidade relativa do ar aumenta o tempo de evaporação de gotas de pulverização após sua deposição (YU et al., 2009). Porém, é importante também conhecer os efeitos de combinações de temperatura e

umidade relativa do ar, visto que as variações nessas condições atmosféricas ocorrem simultaneamente em condições naturais.

Figura 4.3 Tempo de evaporação de gotas de 500 μm , contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral), depositadas sobre superfície adaxial de *Commelina benghalensis* em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.



*Indica diferença significativa das caldas nas diferentes condições de temperatura e umidade. Para cada condição de temperatura e umidade, médias seguidas de letras maiúsculas (para um mesmo herbicida) e minúsculas (para um mesmo adjuvante) não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na ausência de adjuvantes a calda do herbicida Roundup Original foi a que apresentou maior tempo de evaporação das gotas, e sua mistura com Navajo não alterou o tempo de evaporação em temperatura de 22°C e umidade de 75%, mas reduziu o tempo de evaporação quando as gotas foram depositadas em ambiente com temperatura de 33°C e umidade de 45%.

A adição de ambos os adjuvantes, Li700 ou Nimbus às caldas de herbicidas alteraram o tempo de evaporação das gotas, sendo a alteração dependente da interação entre herbicidas e adjuvantes.

Em ambiente com temperatura de 22° e umidade de 75%, a adição do adjuvante Li700 às caldas de herbicida causou aumento no tempo de evaporação das gotas na calda de Roundup Original, não alterando o tempo de evaporação das gotas nas caldas de Navajo e reduziu o tempo de evaporação na mistura de Roundup Original + Navajo. Já a adição do adjuvante Nimbus às caldas de herbicida reduziu o tempo de evaporação das gotas na calda de Roundup Original e mistura em tanque de Roundup Original + Navajo, aumentando o tempo de evaporação na calda de Navajo.

Em ambiente à temperatura de 33° e umidade de 45%, a adição do Nimbus ao Roundup Original aumentou o tempo de evaporação das gotas. Nas demais misturas de adjuvantes aos herbicidas o tempo de evaporação não foi alterado quando comparado aos herbicidas sem adjuvantes.

A compreensão do efeito das variações na temperatura e umidade relativa do ar no comportamento das gotas de pulverização após sua deposição no alvo é importante para avaliar e compreender o efeito da mistura de herbicidas e uso de adjuvantes.

O efeito dos adjuvantes Li700 e Nimbus foi mais pronunciado em ambientes com baixa temperatura e alta umidade relativa do ar (Tabela 4.2). O uso de adjuvantes alterou o espalhamento em 50%, e o tempo de evaporação em 83% das misturas, quando a deposição das gotas ocorreu em ambiente com temperatura 22°C e umidade de 75%. A elevação da temperatura de 22 para 33°C e redução da umidade de 75 para 45% fez com que o efeito dos adjuvantes sobre o o espalhamento e tempo de evaporação das gotas fossem reduzido a 33% e 17% das misturas entre os herbicidas e adjuvantes.

Tabela 4 2 Efeito do uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) e Nimbus (óleo mineral) em caldas dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e Roundup Original + Navajo, sobre o espalhamento e tempo de evaporação de gotas de 500 µm depositadas sobre superfície adaxial de *Commelina*

benghalensis, em duas condições de temperatura e umidade relativa do ar em comparação às caldas de herbicida sem o uso de adjuvantes.

		Espalhamento		Tempo de Evaporação	
		Li700	Nimbus	Li700	Nimbus
22°C e 75%	Roundup Original	↑	=	↑	↓
	Navajo	=	↓	=	↑
	Roundup Original + Navajo	=	↑	↓↓	↓
33° C e 45%	Roundup Original	↑	=	=	↑
	Navajo	=	=	=	=
	Roundup Original + Navajo	=	↑	=	=

↑: aumento, ↓: redução, = : sem alteração.

A diversidade morfológica da superfície foliar entre espécies de plantas e presença de estruturas foliares, como tricomas, estômatos, cutícula e ceras, podem exercer grande influência na aderência e deposição das gotas de pulverização, assim como na absorção do herbicida (BREWER et al., 1991; SMITH et al., 2000). A maior quantidade de cera presente nas folhas superfície adaxial da espécie *C. echinatus* dificultou a molhabilidade em relação à *B. pilosa* (OLIVEIRA et al., 2015).

No caso de *C. benghalensis*, durante a realização do experimento, algumas das gotas caíram sobre os tricomas presentes na superfície da folha, mantendo-a suspensa. Quando isso ocorria, a gota ficava em formato praticamente esférico, o que reduzia drasticamente sua área de contato com o alvo. Gotas depositadas nessa condição foram descartadas da análise a fim de homogeneizar as variações. No entanto, em condições de campo, a realização de pulverizações sobre plantas daninhas com alta densidade de tricomas pode reduzir a ação do ingrediente ativo.

A dificuldade de molhamento da superfície foliar e a não aderência das gotas sobre o alvo são considerados sérios obstáculos na retenção das gotas e consequentemente na eficácia das pulverizações (Maciel et al, 2001).

4.5 CONCLUSÕES

A elevação da temperatura de 22 para 33°C, simultaneamente à redução da umidade de 75 para 45%, reduz o tempo de evaporação de gotas contendo os herbicidas Roundup Original, Navajo e mistura em tanque de Roundup

Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 ou Nimbus depositadas sobre superfície adaxial de *Commelina benghalensis*.

A elevação da temperatura de 22 para 33°C, simultaneamente à redução da umidade de 75 para 45% reduz o espalhamento nas gotas da mistura em tanque de Roundup Original e Navajo + Nimbus e aumenta o espalhamento das gotas contendo Navajo + Nimbus depositadas sobre superfície adaxial de *C. benghalensis*.

A adição do Li700 ao Roundup Original e de Nimbus à mistura de tanque de Roundup Original e Navajo aumenta o espalhamento das gotas. A adição de Nimbus ao Navajo, em temperatura de 22°C e umidade relativa de 75%, reduz o espalhamento das gotas.

Em temperatura de 22°C e umidade relativa de 75%, a adição de Li700 ao Roundup Original aumenta o tempo de evaporação das gotas, e sua adição à mistura em tanque de Roundup Original e Navajo reduz. A adição do Nimbus ao Roundup Original e à mistura de tanque de Roundup Original e Navajo reduz o tempo de evaporação das gotas, e sua adição ao Navajo aumenta.

Em temperatura de 33°C e umidade relativa de 45%, a adição de Nimbus ao Roundup Original aumenta o tempo de evaporação das gotas.

5 GLYPHOSATE, 2,4-D E ADJUVANTES NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO E CONTROLE DE *Commelina benghalensis*

5.1 RESUMO

Misturas de herbicidas e uso de adjuvantes influenciam na qualidade da aplicação e no controle de plantas daninhas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o depósito e a cobertura em aplicação dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre o controle de *Commelina benghalensis*. O delineamento foi inteiramente casualizado, fatorial 3 x 3 + 1, três herbicidas: glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹) e mistura em tanque de glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹) e 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹) e três condições de adjuvantes: ausente, fosfatidilcolina + ácido propiônico (Li700, 0,15% v v⁻¹) e óleo mineral (Nimbus, 0,5% v v⁻¹) + testemunha (sem aplicação), quatro repetições. A aplicação foi realizada com um simulador de pulverização, em laboratório, sobre *C. benghalensis* com seis pares de folhas. Foi avaliado o depósito e cobertura da aplicação, nos estratos superior e inferior da planta daninha, o nível de controle aos 3, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a aplicação e a biomassa aos 42 dias após a aplicação. O depósito em *C. benghalensis* é semelhante em todas as caldas dos herbicidas, sem e com os adjuvantes, sendo a cobertura maior no estrato superior que no inferior da planta daninha. A adição de Li700 ou Nimbus ao herbicida Navajo aumenta cobertura das folhas *C. benghalensis* pelas gotas de pulverização. Os herbicidas Navajo, sem e com o adjuvante Nimbus e a mistura em tanque dos herbicidas Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 ou Nimbus são eficazes no controle de *C. benghalensis*, sendo que o uso desses adjuvantes acelera a morte das plantas.

Palavras chave: Tecnologia de aplicação. Controle de plantas daninhas. Cobertura e depósito.

5.2 ABSTRACT

Mixtures of herbicides and use of adjuvants influence the spray application quality and weed control efficiency. The research aim was to evaluate the deposit and coverage in application of Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) and tank mix of Roundup Original and Navajo herbicides, with and without Li700 (fosfatidilcoline + propionic acid) or Nimbus (mineral oil) adjuvants in *Commelina benghalensis* control. The design was completely randomized, factorial 3x3+1, three herbicides: glyphosate (Roundup Original, 2.5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1.0 kg ha⁻¹), and tank mix of glyphosate (Roundup Original, 2.5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1.0 kg ha⁻¹) and three adjuvants conditions: absent, fosfatidilcoline + propionic acid (Li700, 0.15% v v⁻¹) and mineral oil (Nimbus, 0.5% v v⁻¹), + control test (no application), four replications. At laboratory, the spray simulator made the application on *C. benghalensis* with six leaves pairs. Deposit and coverage of the application in upper and lower stratum canopy of weed, weed control at 3, 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days after application and weed biomass at 42 days after application were the variables analyzed. Deposit on *C. benghalensis* is similar in all herbicides spray solutions, with and without Li700 or Nimbus adjuvants, with greater coverage in the upper than lower weed stratum. The addition of Li700 or Nimbus in Navajo herbicide increases the coverage of *C. benghalensis* leaves by spray droplets. Navajo herbicide, with and without Nimbus adjuvant and the mixture of Roundup Original and Navajo herbicides, without and with Li700 or Nimbus adjuvants are effective in *C. benghalensis* controlling, and the use of these adjuvants accelerates the death of the plants. The dry biomass of weed plants remaining after the application is inversely proportional to the control.

Keywords: Application technology. Weed control. Coverage and deposit.

5.3 INTRODUÇÃO

O glyphosate é um herbicida altamente eficiente que controla um largo espectro de plantas daninhas de folha larga e gramíneas anuais e perenes (CULPEPPER e YORK, 1998; FRANZ et al 1997; WILCUT et al., 1996). A adoção de

sistemas de produção à base de dessa molécula tem sido uma das mais importantes revoluções na história da agricultura (OWEN, 2008). No entanto, existem algumas espécies que não são adequadamente controladas pelo glyphosate. *Commelina benghalensis* L. é uma planta daninha suculenta, trepadeira de crescimento prostrado que apresenta ciclo perene em áreas tropicais como África tropical, Índia, Brasil e Sudeste Asiático, mas também pode se desenvolver como anual na Austrália e em alguns outros países de clima temperado (HOLM et al., 1977) e apresenta problemas em áreas onde o glyphosate é usado isoladamente no controle de plantas daninhas (WEBSTER et al., 2010; WEBSTER et al., 2006; CULPEPPER et al., 2004).

Essa planta daninha possui dimorfismo floral e polimorfismo de sementes (MAHESHWARI e SINGH, 1934; MAHESHWARI e MAHESHWARI, 1955), com flores aéreas casmógamas, lilás ou azul, que produzem uma semente grande e quatro pequenas, e flores cleistógamas subterrâneas, que formam uma semente grande e duas pequenas produzidas a partir de rizomas. Pequenas sementes aéreas representam 73 a 79% do total de sementes produzidas, grandes sementes aéreas 19 a 22%, e sementes subterrâneas 1-3% (WALKER e EVERSON, 1985a). A germinação de sementes varia de 0 a 3% para as pequenas sementes aéreas, 20 a 35% para as grandes sementes aéreas, e de 33% para pequenas sementes a 90% para as grandes sementes subterrâneas (WALKER e EVERSON, 1985b). Plantas oriundas de sementes subterrâneas chegam a produzir 8000 sementes m⁻², enquanto aquelas oriundas de sementes aéreas, 12.000 sementes m⁻². (WALKER e EVERSON, 1985a). Além disso, estacas de caules cortados são capazes de enraizar e se reestabelecer após o cultivo (BUDD et al. 1979).

A tolerância é a capacidade inata de algumas espécies de sobreviver a doses de herbicidas que controlam outras espécies de plantas daninhas no mesmo agro ecossistema (ZELAYA e OWEN 2005). Plantas daninhas podem sobreviver após aplicação de herbicidas devido à reduzida absorção, redução da translocação a partir do local de absorção para o sítio de ação, desintoxicação metabólica, ou alteração no sítio de ação do herbicida na planta (KOGER e REDDY, 2004). Espécies como *Ipomoea purpurea* (L.) Roth, *Hydrocotyle* sp., *C. benghalensis*, *C. communis*, e *Abutilon theophrasti* são relatadas como tolerantes ao glyphosate em comparação com outras espécies de plantas daninhas (CULPEPPER et al., 2004; JORDAN et al., 1997; OWEN e ZELAYA, 2005; SPADER e VIDAL, 2000; FAWCETT, 2012).

Em *C. benghalensis*, a tolerância ao glyphosate é associada à composição das ceras epicuticulares, que contêm componentes lipofílicos em concentrações mais elevadas do que outras espécies de plantas, resultando na redução da penetração do herbicida (MONQUERO et al., 2004) e também à capacidade de se recuperar de aplicações de glyphosate devido às grandes reservas de amido em as folhas (TUFFI-SANTOS, 2004), sendo que pequenas doses de glyphosate (1,8 a 36 g ha⁻¹) estimulam seu crescimento (VELINI et al., 2008).

A tolerância ao glyphosate, associada à alta prolificidade desta planta daninha, altera a composição de espécies em áreas de cultivo agrícola tornando-a predominante (CULPEPPER et al., 2004; OWEN, 2008), além de aumentar os custos de produção (MUELLER et al., 2005).

A associação e utilização de herbicidas com mecanismos de ação diferentes são preconizadas no manejo de plantas daninhas tolerantes ou resistentes ao glyphosate (SHANER, 2000; JOHNSON e GIBSON, 2006). Para aumentar a eficiência pode-se utilizar glyphosate misturado com outros herbicidas, tais como formulados à base de 2,4-D, terbutilazina, simazina, alaclor e diuron (DE GOES MACIEL et al., 2013, RAMOS e DURIGAN, 1998).

O uso de adjuvantes, adicionados ao herbicida, também pode ser uma estratégia para melhorar o controle de algumas espécies de plantas daninhas (ROGGENBUCK et al., 1990), como por exemplo, *Panicum maximum* (DURIGAN, 1992), *Oryza sativa* (FOLONI et al., 1997), *Digitaria insularis*; *C. benghalensis*; *Triticum aestivum* e de plantas voluntárias de milho (DE GOES MACIEL et al., 2013).

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o depósito e a cobertura de aplicação dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre o controle de *Commelina benghalensis*.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento foi inteiramente casualizado, fatorial 3 x 3 + 1, sendo três caldas contendo os herbicidas: glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D

(Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹), e a mistura em tanque de glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹) e 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹); três condições de adjuvantes: ausente, fosfatidilcolina + ácido propiônico (Li700, 0,15% v v⁻¹) e óleo mineral (Nimbus, 0,5% v v⁻¹) + testemunha (sem aplicação), totalizando dez tratamentos, com quatro repetições.

As plantas usadas no ensaio foram retiradas com dois pares de folhas e sistema radicular, de área de infestação natural, e transplantadas em vasos (capacidade para 5 dm³) preenchidos com 4,5 dm³ de substrato (80 % de solo argiloso, 15% de areia média e 5% de matéria orgânica). As plantas não foram cultivadas a partir de sementes devido à baixa taxa de germinação destas e dificuldade em estabelecer plantas em estágio de desenvolvimento uniforme.

Durante o desenvolvimento, as plantas permaneceram em viveiro coberto com tela de ráfia, cor preta (50% de passagem de radiação solar), irrigadas diariamente até atingir a capacidade de campo. Foram cultivadas 230 plantas considerando uma taxa de perdas de 10%, por mortes ou estágio de desenvolvimento desuniforme, para obtenção de 216 plantas viáveis a utilização no ensaio.

Em cada unidade experimental foram usadas 6 plantas com 6 pares de folhas totalmente expandidas (estádio vegetativo), dispostas em duas linhas de três plantas, espaçadas 0,15 m entre si, na parte central de um simulador de pulverização de 15 m de comprimento e 3 m de largura que se desloca sobre trilhos a 2,4 m de altura.

O sistema hidráulico do simulador é composto por um controlador de pressão manual e bomba hidráulica de três pistões, movida por um motor elétrico de 1,5 kW, equipado com uma barra de pulverização de 2 m de comprimento, com quatro pontas de pulverização espaçadas 0,5 m entre si, e posicionada a 0,5 m de altura do alvo. A ponta de pulverização usada foi a TT 110 015 com pressão de 300 kPa e velocidade de deslocamento da barra de 7 km h⁻¹, resultando na taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹.

Imediatamente antes da aplicação, foram preparados 20 litros de cada calda, considerando as doses dos agrotóxicos e adjuvantes, acrescidas dos marcadores Azul Brilhante FD&C-1 (0,9 % m v⁻¹) e Amarelo Fluorescente (0,6% m v⁻¹), em galões com capacidade de 22 L, e mantidas em sistema de agitação pelo retorno do sistema de pulverização durante sua utilização.

Durante a pulverização, a média de temperatura foi de 29,05 °C (\pm 2,45) e de umidade relativa do ar foi de 66% (\pm 8), mensuradas a cada repetição com um termo higrômetro. Após a pulverização, duas das plantas foram usadas nas avaliações de cobertura e depósito e as outras quatro foram colocadas novamente no viveiro para avaliação do nível de controle e ao fim das avaliações de controle, quarenta e dois dias após a aplicação as plantas foram retiradas dos vasos para avaliação de matéria seca de parte aérea e de raiz.

Na avaliação de cobertura quatro folhas de cada estrato do dossel da planta (superior e inferior) foram destacadas e acondicionadas em saco de papel (10 x 20 cm), e avaliada a percentagem de cobertura das gotas sobre as folhas, em análise visual, pela visualização do traçador fluorescente, em ambiente escuro iluminado com luz ultravioleta (BL 15 BLB), comparando as folhas individualmente com uma escala diagramática pré-estabelecida. Para determinação da escala de cobertura usada na avaliação, foram coletadas 50 folhas de 15 plantas, pulverizadas separadamente nas mesmas condições usadas no ensaio, das quais foram selecionadas 10 folhas com níveis de cobertura ascendentes entre a mínima e a máxima cobertura obtida com a tecnologia de pulverização adotada. A escala final apresentava notas entre 10 a 100, em intervalos de 10%.

Na avaliação de depósito quatro folhas de cada estrato do dossel da planta (superior e inferior) foram destacadas e acondicionadas em saco de plástico (20 x 30 cm). Em seguida, em cada saco plástico contendo as folhas, foi adicionado 25 mL de água destilada e agitado 20 vezes, alternando entre movimentos horizontais e verticais, para extração do marcador azul brilhante. O líquido resultante da agitação foi vertido em outro recipiente plástico descartável (5 cm de diâmetro e 4 cm de altura) e feita a mensuração da absorvância em espectrofotômetro (630 nm). Em seguida, as folhas foram retiradas do saco plástico, dispostas sobre superfície branca com escala graduada em milímetros e fotografadas (vista superior) com uma câmera digital originando imagens do tipo jpg com resolução de 180 dpi e dimensões de 4320 x 3240 pixels. A área das folhas foi mensurada, em cm², usando o software AreaMed[®] delimitando os limites externos do bordo da folha. A calibração do software foi feita usando a escala graduada em milímetros das imagens. Através da curva de calibração das caldas, os dados de absorvância foram convertidos em concentração de corante por volume, mg L⁻¹, e em seguida convertidos em concentração de corante por área

foliar, mg cm^{-2} , considerando a área das folhas e a curva de calibração da concentração das caldas em função da absorvância.

O nível de controle foi avaliado por meio da porcentagem de controle e da biomassa seca da parte aérea e de raiz. A porcentagem de controle foi avaliada visualmente, aos 3, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a aplicação, atribuindo notas entre 0 e 100% às plantas pulverizadas, em que 0% indica ausência de controle e 100% a morte da planta daninha. Após a última avaliação de controle, a parte aérea das plantas foi seccionada rente ao solo, e em seguida, o solo foi colocado em peneira com fios de aço, para separação das raízes, que foram posteriormente lavadas para retirada de resquícios de solo remanescente. A parte aérea e a raiz foram colocadas separadamente em sacos de papel (20 x 30 cm) e a biomassa seca foi obtida após a secagem em estufa com ventilação forçada de ar a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ (± 2) até obtenção de peso constante.

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e a homogeneidade de variância pelo teste de Levene. Os dados de matéria seca de raiz foram transformados por $(x + 0,5)^{0,5}$. Foi realizada análise de variância pelo teste F e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Os dados de nível de controle foram comparados por medidas repetidas no tempo.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve alteração no depósito para as diferentes condições avaliadas (Tabela 5.1), desse modo nem a mistura dos dois herbicidas, ou o uso dos adjuvantes, alterou a quantidade de calda pulverizada sobre a planta, e a pulverização foi distribuída de maneira uniforme nos estratos superior e inferior das plantas de *C. benghalensis*. Entretanto, houve interação entre os herbicidas e o uso de adjuvantes, e entre os herbicidas e os estratos do dossel de *C. benghalensis* na cobertura das plantas pela aplicação. Portanto, a cobertura da planta daninha pela pulverização foi influenciada pelas propriedades da formulação do herbicida e dos adjuvantes adicionados à calda, e diferente nos estratos superior e inferior do dossel de *C. benghalensis*, dependendo do herbicida usado na pulverização.

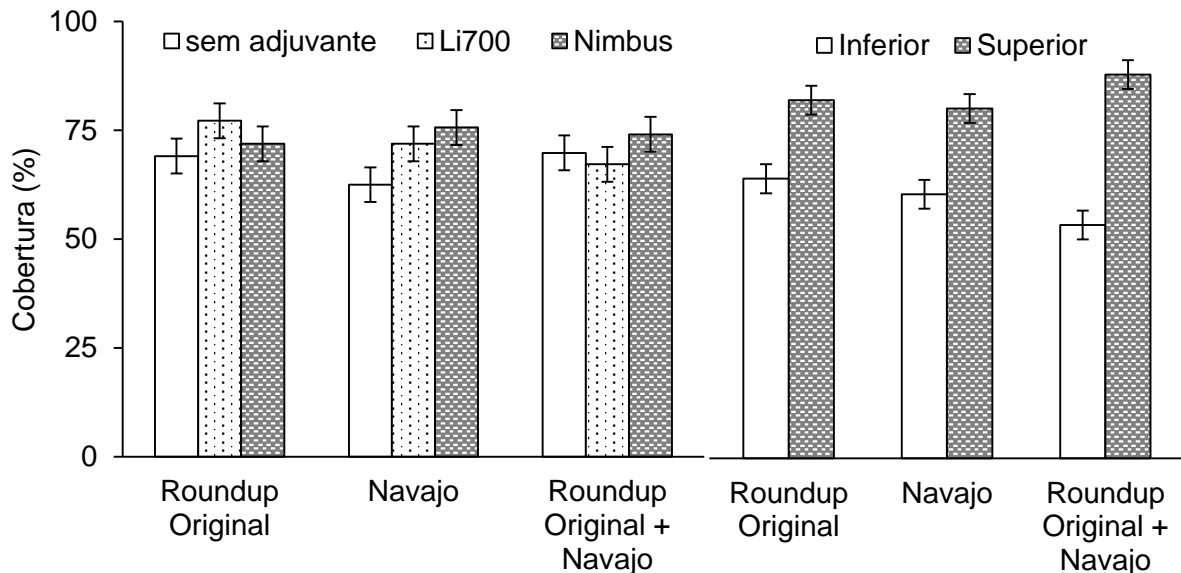
Tabela 5.1 Análise de variância dos herbicidas (H) Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes (A) Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre as variáveis cobertura e depósito da aplicação nos diferentes estratos (E) do dossel, superior e inferior de *Commelina benghalensis*.

	Cobertura				Depósito			
	SQ	QM	F	p-valor	SQ	QM	F	p-valor
H	150,69	75,35	1,66	0,2000	35,18	17,59	2,880	0,0648
A	782,47	391,23	8,61	0,0006	0,57	0,28	0,046	0,9548
E	10878,13	10878,13	239,46*	0,0000	1,07	1,07	0,175	0,6774
H*A	485,24	121,31	2,67*	0,0417	49,15	12,29	2,012	0,1058
H*E	1233,33	616,67	13,58*	0,0000	9,07	4,53	0,742	0,4807
E*A	67,19	33,59	0,74	0,4821	5,73	2,86	0,469	0,6282
H*A*E	402,60	100,65	2,22	0,0794	28,07	7,02	1,149	0,3435
Erro	2453,13	45,43			329,77	6,11		
CV (%)		9,53				19,39		

CV: coeficiente de variação; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; F: teste F. *significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

A mistura dos herbicidas Roundup Original e Navajo, na ausência de adjuvantes, não alterou a cobertura sobre a *C. benghalensis*. A adição dos adjuvantes Li700 e Nimbus à calda do herbicida Navajo aumentou a cobertura das plantas pela pulverização. Nas demais caldas de herbicida, Roundup Original e mistura em tanque de Roundup Original + Navajo, a cobertura não foi alterada pela adição dos adjuvantes (Figura 5.1). A cobertura foi sempre maior no estrato superior do dossel de *C. benghalensis* que no inferior e a mistura dos herbicidas Roundup Original + Navajo aumentou a cobertura no estrato superior em comparação à calda de Navajo, e reduziu a cobertura no estrato inferior em comparação aos dois herbicidas sem adjuvantes.

Figura 5.1 Cobertura nos estratos superior e inferior de *Commelina benghalensis* pulverizadas com os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).



Barras verticais: diferença mínima significativa (DMS = 8,1 → adjuvante x herbicida / DMS = 6,6 → terço x herbicida).

A estratificação da cobertura e depósito já é comum em pesquisas relacionados à tecnologia de aplicação quando o alvo é uma cultura anual ou perene, sendo que o número de partes em que planta é subdividida depende do seu estágio de desenvolvimento, do porte da planta, do tipo e modo de ação do produto aplicado, entre outros. Na cultura da soja, por exemplo, é comum a divisão da planta em três partes, por planos paralelos ao solo (DOS REIS, DE QUEIROZ, DA CUNHA, 2012; HOLTZ, et al., 2014; ZAIDAN et al., 2012). Na cultura do café a planta é dividida em dois planos horizontais e em seguida subdividido em quadrantes por planos verticais (DA COSTA FERREIRA, LEITE, LASMAR, 2013). Essa estratificação permite melhorar a avaliação da distribuição do depósito e cobertura da pulverização e adequar técnicas de acordo com a localização do agente de dano no dossel da cultura.

No entanto, em avaliação de depósito e cobertura de aplicações de herbicidas em plantas daninhas, como *Euphorbia heterophylla*, *Alternanthera tenella*, *Malvastrum coromandelianum*, *Commelina benghalensis*, *Panicum maximum*, *Brachiaria brizantha*, *Raphanus raphanistrum*, *Ipomoea nil*, *Emilia fosbergii*,

Acanthospermum hispidum, *Ageratum conyzoides*, *Amaranthus deflexus*, *Chamaesyce hirta* e *Brachiaria plantaginea* (BUENO et al., 2014; BUENO et al., 2013; RODRIGUES-COSTA et al., 2012; SOUZA, DA CUNHA, PAVANIN, 2012; TERRA et al., 2014) as folhas são amostradas aleatoriamente no dossel da planta.

Embora a estratificação do depósito e cobertura de herbicidas em plantas daninhas não seja comum, pode ser importante para compreender melhor a influência da técnicas de aplicação no nível de controle. Em plantas de *C. benghalensis*, cultivada em vasos como foi o caso desta pesquisa, foi possível observar diferenças da distribuição do depósito nos estratos superior e inferior da planta daninha com seis pares de folhas, mas houve alteração da cobertura das plantas pela pulverização nos dois estratos.

Em condições naturais, onde a população de plantas daninhas é diversificada, e em alguns casos, atinge o porte de culturas anuais, provavelmente a estratificação da cobertura e do depósito possibilitará compreender melhor a distribuição do herbicida e o controle de plantas daninhas.

O nível de controle de *C. benghalensis* foi influenciado pelas propriedades da formulação do herbicida e dos adjuvantes adicionados à calda, e pelo tempo após a aplicação dos produtos, pois houve interação entre os herbicidas e o uso de adjuvantes, ao longo do tempo no controle da planta daninha (Tabela 5.2).

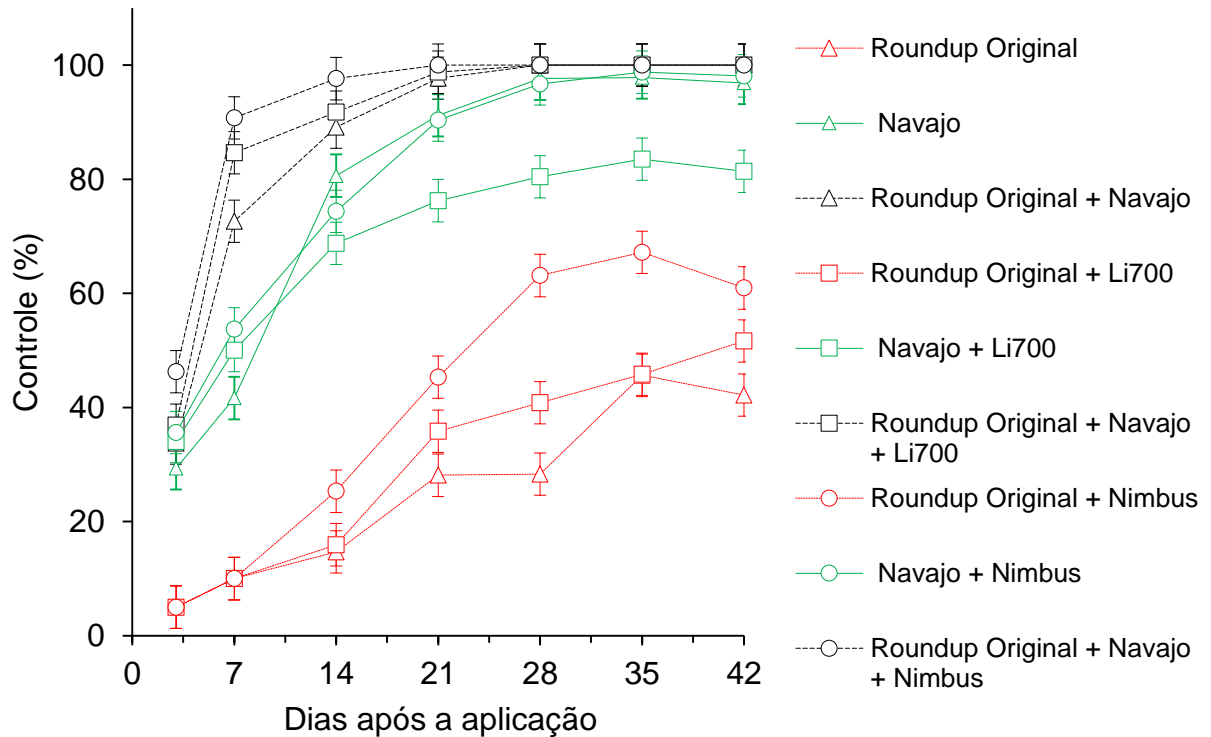
Tabela 5.2 Análise de variância dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre o nível de controle de *Commelina benghalensis* aos 3, 7, 14, 28, 35 e 42 dias após a aplicação.

Fatores	SQ	QM	F	p-valor
Herbicida	146329,63	73164,81	1660,09*	0,0000
Adjuvante	3559,63	1779,82	40,38*	0,0000
Herbicida*Adjuvante	2066,97	516,74	11,73*	0,0000
Erro 1	1189,96	44,07		
Tempo	95823,38	15970,56	1291,39*	0,0000
Tempo*Herbicida	9291,49	774,29	62,61*	0,0000
Tempo*Adjuvante	761,98	63,50	5,14*	0,0000
Herbicida*Adjuvante*Tempo	3540,77	147,53	11,93*	0,0000
Erro 2	2003,45	12,37		
CV 1 (%)		10,30		
CV 2 (%)		5,46		

CV: coeficiente de variação; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; F: teste F. *significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Devido à tolerância de *C. benghalensis* (CULPEPPER et al., 2004), a aplicação de Roundup Original não controlou satisfatoriamente a planta daninha, causando apenas supressão no desenvolvimento da planta até os 35 dias após a aplicação, quando o nível de controle foi de 46%. Após esse período a planta daninha iniciou sua recuperação, causando queda no nível de controle aos 42 dias após a aplicação em relação à avaliação anterior (Figura 5.2).

Figura 5.2 Nível de controle de *Commelina benghalensis* pulverizadas com os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral), aos 3, 7, 14, 28, 35 e 42 dias após a aplicação.



Barras verticais: diferença mínima significativa (DMS:7,42).

A adição dos adjuvantes, Li700 e Nimbus, ao herbicida Roundup Original aumentou o nível de controle de *C. benghalensis*, porém não em níveis satisfatórios. O máximo nível de controle proporcionado pela calda de Roundup Original + Li700 foi de 52%, e ocorreu aos 42 dias após a aplicação, enquanto que para a calda de Roundup Original + Nimbus o máximo controle foi de 67%, aos 35 dias após a aplicação. Nesta última calda, aos 42 dias após a aplicação, o nível de controle caiu para 61%, mas ainda se manteve maior que a calda de Roundup Original + Li700 no mesmo período.

Mediante a tolerância de *C. benghalensis* ao glyphosate, o herbicida Navajo mostrou-se uma alternativa viável no controle desta planta daninha, sem o uso de adjuvante ou acrescido de Nimbus. A adição de Li700 ao herbicida Navajo

prejudicou o controle de *C. benghalensis*, reduzindo o nível de controle desta planta daninha em comparação ao herbicida sem o uso de adjuvante.

Nas aplicações com a calda de Navajo + Li700 observou-se alguns pontos de apodrecimento do caule de *C. benghalensis* na avaliação aos 14 dias após a aplicação. Nesses pontos de apodrecimento, a parte superior se desligou da planta, e ao cair no solo, em algumas destas, houve desenvolvimento de raízes adventícias, dando origem a uma nova planta; enquanto que na parte inferior ao ponto de apodrecimento houve rebrota, reduzindo os níveis de controle deste tratamento em relação à calda contendo Navajo sem adjuvante, após os 14 dias aplicação em diante (Figura 5.3). Essa planta possui grandes reservas de amido em as folhas (TUFFI-SANTOS, 2004), o que pode ter facilitado o reestabelecimento da planta a partir da parte aérea em contato com o solo.

Figura 5.3 Pontos de apodrecimento do caule de *Commelina benghalensis* pulverizadas com Navajo (2,4-D) + Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) aos 14 dias após a aplicação (à esquerda) e rebrota com emissão de raízes adventícias a partir da parte aérea abortada, aos 28 dias após a aplicação (à direita).



A mistura em tanque dos herbicidas Roundup Original e Navajo e o uso de adjuvantes, com exceção da calda de Navajo + Li700, aumentaram a velocidade de controle da planta daninha e podem ser uma estratégia eficiente quando necessita-se de agilidade no controle de *C. benghalensis*.

O controle inicial rápido de *C. benghalensis* pode causar redução na translocação do produto e impedir o herbicida de atingir parte das sementes subterrâneas em formação, que se desligam precocemente da planta mãe, e resultar em reestabelecimento da planta daninha (SANTOS et al., 2001). No entanto, esse fato não foi observado nesta pesquisa.

A adição dos adjuvantes Li700 e Nimbus aos herbicidas ocasionaram níveis 90% de controle de *C. benghalensis* sete dias após a aplicação. A adição de

Li700 à calda de Roundup Original + Navajo também ocasionou pontos de apodrecimento no caule das plantas, porém neste caso não houve rebrota nem emissão de raízes adventícias pela parte aérea abortada pela planta.

A biomassa remanescente *C. benghalensis* foi influenciada pelas propriedades da formulação do herbicida e dos adjuvantes adicionados à calda, pois houve interação entre os herbicidas e o uso de adjuvantes sobre a biomassa seca de parte aérea e de raiz da planta daninha (Tabela 5.3).

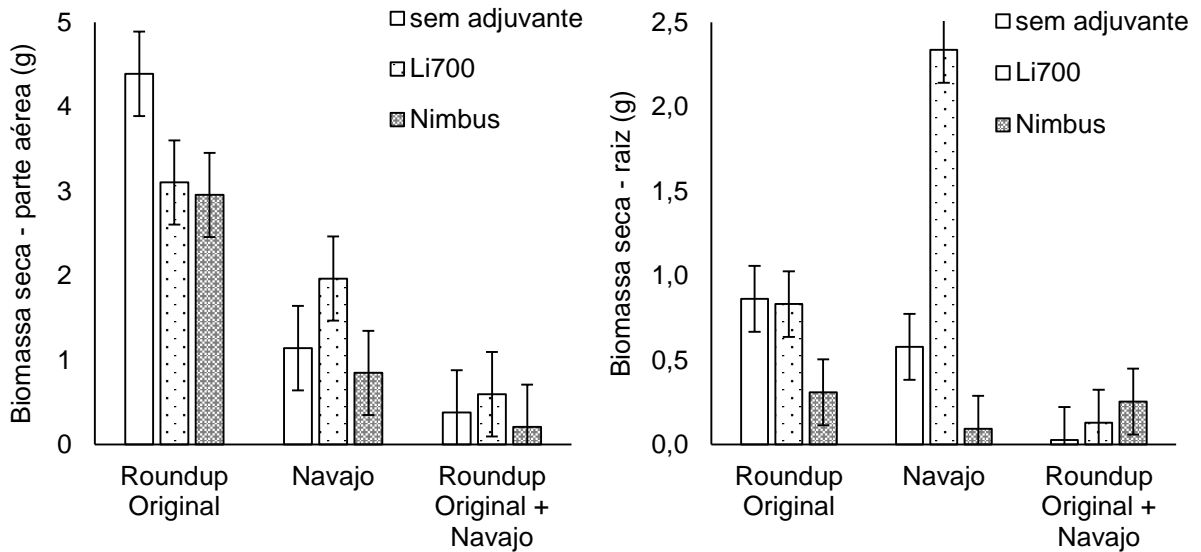
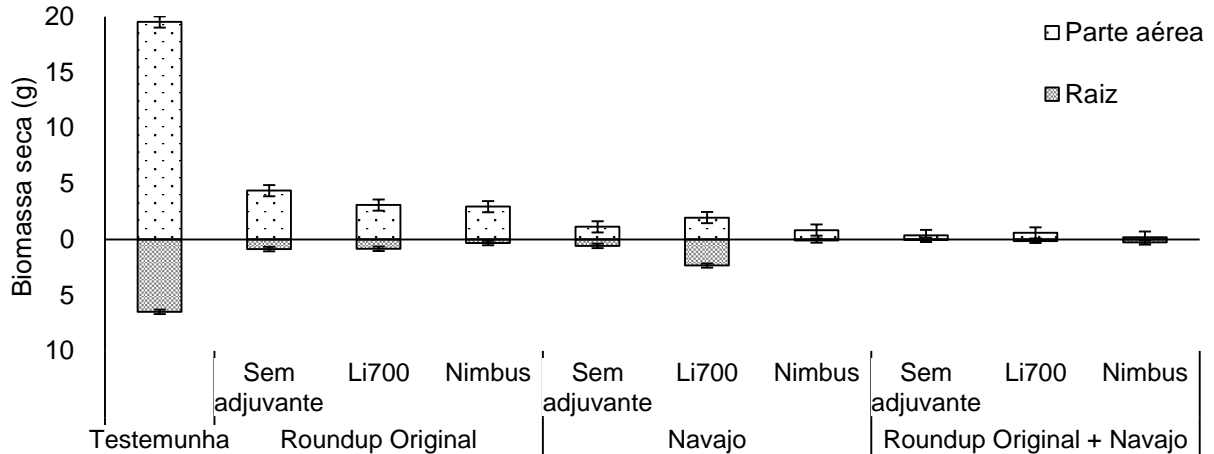
Tabela 5.3 Análise de variância dos herbicidas (H) Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes (A) Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) sobre a matéria seca de parte aérea e de raiz de *Commelina benghalensis*.

	Parte aérea				Raiz			
	SQ	QM	F	p-valor	SQ	QM	F	p-valor
H	60,31	60,31	90,97*	0,0000	0,67	0,33	6,72*	0,0043
A	2,85	1,42	4,29*	0,0240	0,56	0,28	5,68*	0,0087
H*A	5,12	1,28	3,87*	0,0131	0,82	0,21	4,15*	0,0095
Erro	8,95	0,33			1,34	0,05		
CV (%)	33,24				22,72			

CV: coeficiente de variação; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; F: teste F. *significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Todas as caldas pulverizadas reduziram a biomassa seca de parte aérea e raiz em comparação à testemunha (Figura 5.4). Dentre as plantas que receberam a aplicação de herbicida, os maiores valores de biomassa seca remanescente de *C. benghalensis* foram obtidos nas plantas pulverizadas com Roundup Original (sem e com os adjuvantes Li700 e Nimbus), que tiveram a maior quantidade de biomassa remanescente de parte aérea, e aquelas pulverizadas com Navajo + Li700, que tiveram a maior quantidade de biomassa de raiz. A maior quantidade de biomassa de raiz nas plantas pulverizadas com o herbicida Navajo + Li700, pode ser resultado dos pontos de contração no caule, que possivelmente reduziram a quantidade de herbicida transcolado para o sistema radicular de *C. benghalensis*.

Figura 5.4 Biomassa seca de parte aérea e de raiz de plantas de *Commelina benghalensis*, 42 dias após aplicação dos herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).



Barras verticais: diferença mínima significativa (DMS = 1,00 → parte aérea / DMS = 0,39 → raiz).

5.6 CONCLUSÃO

O depósito em *Commelina benghalensis* é semelhante em pulverização dos herbicidas Roundup Original, Navajo e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 ou Nimbus, sendo a cobertura sempre maior no estrato superior da planta daninha. A adição de Li700 ou

Nimbus ao herbicida Navajo aumenta cobertura das folhas *C. benghalensis* pelas gotas de pulverização.

Os herbicidas Navajo, sem e com o adjuvante Nimbus e a mistura dos herbicidas Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 ou Nimbus foram eficazes no controle de *C. benghalensis*, sendo que o uso desses adjuvantes acelera a morte das plantas. A maior quantidade de biomassa seca remanescente das plantas daninhas após a aplicação está associada a baixos níveis de controle.

6 ANÁLISE MULTIVARIADA DE PARÂMETROS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS NA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS

6.1 RESUMO

Esta pesquisa aplicou a análise de componentes principais para agrupar caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original, Navajo e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li7000 ou Nimbus, com base nas características físicas e químicas, quantitativas e qualitativas relacionados ao processo de aplicação de agrotóxicos e à eficiência no controle de *Commelina benghalensis*. O delineamento foi inteiramente casualizado, fatorial 3 x 3, três caldas de herbicida: glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹) e mistura em tanque de glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹) e 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹); três condições de adjuvantes: ausente, fosfatidilcolina + ácido propiônico (Li700, 0,15% v v⁻¹) e óleo mineral (Nimbus, 0,5% v v⁻¹), quatro repetições. Foram avaliadas características físicas e químicas da calda de pulverização (tensão superficial, densidade e formação de espuma) e parâmetros quantitativos e qualitativos (espalhamento e tempo de evaporação de gotas após sua deposição no alvo, cobertura e depósito de pulverização, eficiência de controle e biomassa seca de *C. benghalensis*). O nível de controle e a biomassa seca de plantas daninhas são variáveis importantes em pesquisas de aplicação de herbicidas e estão inversamente correlacionadas. A redução da tensão superficial em caldas de pulverização favorece a formação de espuma no tanque de pulverização. A densidade da calda, a cobertura no estrato superior de *C. benghalensis* e o espalhamento das gotas de pulverização sobre o alvo são variáveis primordiais na compreensão do processo de aplicação e controle de plantas daninhas. As caldas de Navajo, sem e com o adjuvante Nimbus, e a mistura em tanque de Roundup Original + Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 ou Nimbus são caracterizadas pela eficácia no controle de *C. benghalensis* associadas a redução da biomassa seca desta planta daninha. As caldas de Roundup Original, sem e com Li700 ou Nimbus, são associadas a altos níveis de depósito e cobertura no estrato inferior da planta daninha. E também à alta formação de espuma, ineficácia no controle de *C. benghalensis*, e grande quantidade de biomassa seca desta planta daninha após a aplicação.

Palavras chave: Tecnologia de aplicação. Análise de componentes principais. Gotas de pulverização. glyphosate. 2,4-D. Adjuvantes.

6.2 ABSTRACT

This research apply the principal components analysis to cluster agricultural spray solutions of pesticides containing Roundup Original, Navajo and tank mix of Roundup Original and Navajo herbicides, with and without Li7000 or Nimbus adjuvants, based on the physical and chemical characteristics, quantitative and qualitative related to pesticide application process and control efficiency of *Commelina benghalensis*. The design was completely randomized, factorial 3 x 3, three herbicides: glyphosate (Roundup Original, 2.5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1.0 kg ha⁻¹) and tank mix of glyphosate (Roundup Original, 2.5 L ha⁻¹) e 2,4-D (Navajo, 1.0 kg ha⁻¹); three conditions adjuvants: absent, fosfatidilcoline + propionic acid (Li700, 0.15% v v⁻¹) and mineral oil (Nimbus, 0.5% v v⁻¹), four replications. Physical and chemical characteristics of the spray solution were evaluated (surface tension, density and foaming) quantitative and qualitative parameters (scattering and evaporation time drops after their deposition on the target, covering and spray deposit, control efficiency and dry biomass of *C. benghalensis*. The reduced of surface tension of spray solution favors the formation of foam in spray tank. Density of the syrup, coverage in the upper stratum of *C. benghalensis* and spreading of spray droplets on the target are key variables to understand the application and weed control process. Navajo, with and without Nimbus adjuvant, and Roundup Original + Navajo tank mix, with and without Li700 or Nimbus adjuvants are characterized by efficacy in control of *C. benghalensis* associated with reduced dry biomass of this weed. Roundup Original, with and without Li700 or Nimbus, are associated with high levels of deposit and coverage in the lower canopy weed stratum. Also by high foaming, ineffective in *C. benghalensis* control, and large amount of dry biomass of this weed after application.

Key words: Application technology. Principal component analysis. Spray droplets. glyphosate. 2,4-D. Adjuvants.

6.3 INTRODUÇÃO

O glyphosate e o 2,4-D são herbicidas amplamente usados no controle de plantas daninhas (CULPEPPER e YORK, 1998; FRANZ et al 1997; WILCUT et al., 1996) e a adoção de sistemas de produção à base de dessa molécula tem sido uma das mais importantes revoluções na história da agricultura (OWEN, 2008). A associação e utilização de herbicidas com mecanismos de ação diferentes são preconizadas no manejo de plantas daninhas para aumentar a eficiência de controle ou reduzir o número de aplicações (SHANER, 2000; JOHNSON e GIBSON, 2006).

Além disso, o uso de adjuvantes adicionados ao herbicida também pode ser usado como estratégia para melhorar o controle de algumas espécies de plantas daninhas (ROGGENBUCK et al., 1990), como por exemplo, *Panicum maximum* (DURIGAN, 1992), *Oryza sativa* (FOLONI et al., 1997), *Digitaria insularis*; *Commelina benghalensis*; *Triticum aestivum* e de plantas voluntárias de milho (DE GOES MACIEL et al., 2013). Porém, vale ressaltar que existem outros fatores, além do ingrediente ativo, que também interferem no controle de agentes de danos, como por exemplo, tecnologia de aplicação.

Em aplicações agrícolas geralmente é dada muita importância aos agrotóxicos e pouca à técnica de aplicação (BALAN, et al., 2008). Desse modo, as aplicações podem, muitas vezes, produzir o efeito desejado, porém de forma ineficiente, pela não utilização da técnica ou equipamento mais adequado (Ferreira, et al., 2011). A tecnologia de aplicação busca estabelecer parâmetros de qualidade para compreender melhor a aplicação de agrotóxicos, reduzir as perdas e melhorar a eficiência. No entanto, a extração de informações dos resultados de uma pesquisa envolve normalmente um grande número de variáveis. Muitas vezes, um pequeno número destas contém as informações mais relevantes, enquanto a maioria adiciona pouco ou nada à interpretação dos resultados.

A decisão sobre quais variáveis são importantes é feita, geralmente, com base na intuição ou na experiência, ou seja, baseado em critérios que são mais subjetivos que objetivos. A redução de variáveis através de critérios objetivos, permitindo a construção de gráficos bidimensionais contendo maior informação

estatística, pode ser conseguida através da análise de componentes principais (NETO, MOITA, 1998).

Esta pesquisa teve como objetivo usar a análise de componentes principais para agrupar caldas de pulverização agrícola contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com o uso dos adjuvantes Li7000 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) quanto às suas semelhanças, com base nas características físicas e químicas, quantitativas e qualitativas relacionados ao processo de aplicação de agrotóxicos e à eficiência no controle de *Commelina benghalensis*.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas características físicas e químicas da calda de pulverização (tensão superficial, densidade e formação de espuma), assim como parâmetros quantitativos e qualitativos (espalhamento e tempo de evaporação de gotas após sua deposição no alvo, cobertura e depósito de pulverização, eficiência de controle e biomassa seca da planta daninha) relacionados à eficiência de controle de *C. benghalensis*.

O delineamento foi inteiramente casualizado, fatorial 3 x 3, três caldas de herbicida: glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹) e mistura em tanque de glyphosate (Roundup Original, 2,5 L ha⁻¹), 2,4-D (Navajo, 1,0 Kg ha⁻¹); três condições de adjuvantes: ausente, fosfatidilcoline + ácido propiônico (Li700, 0,15% v v⁻¹) e óleo mineral (Nimbus, 0,5% v v⁻¹), totalizando nove tratamentos, com quatro repetições.

Nos ensaios de espuma, formação e persistência, e estabilidade da solução de pulverização na formação de fases, as caldas foram preparadas em balão volumétrico de 500 mL (taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹), vertidas em uma proveta (capacidade de 1 L) com tampa, e invertida 30 vezes, em 180° no sentido vertical em intervalos de 2 segundos, para agitação do líquido. Em seguida foi posicionada em local livre de trepidação e imersa em recipiente com água a 30°C (±1°C) (NBR 13451: 2002). Foi avaliada a altura do volume de espuma formado (escala graduada em

milímetros) e verificada a ocorrência de sedimentação, floculação, e formação de fases nas soluções, aos 2,5, 5, 10, 20 e 40 minutos após o início do repouso.

A tensão superficial foi determinada pela medição da massa de um conjunto de 5 gotas (produzidas por uma bureta de 25 mL, posicionada na vertical) depositadas em um béquer (com óleo vegetal para evitar a evaporação das gotas) sobre uma balança analítica (precisão de 0,1 mg). Para todos os tratamentos, a ponta da bureta ficou a uma altura de 5 cm acima da superfície do líquido dentro do béquer, padronizando assim a interferência de perdas por evaporação durante a queda das gotas. Foi feito um tratamento adicional com água destilada e os dados de peso das gotas foram convertidos para tensão superficial, considerando como $0,0726 \text{ N m}^{-1}$ a tensão superficial da água destilada (OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012). A densidade foi determinada pela massa de 1 L da solução em balão volumétrico sobre balança analítica (precisão de 0,1 mg), e o potencial hidrogeniônico das soluções foi mensurado utilizando um peagâmetro (DIGIMED - Modelo DM-23) com precisão de 0,01%, calibrado em soluções tampão ácida e básica. Os ensaios de tensão superficial, densidade e potencial hidrogeniônico foram realizados em ambiente com temperatura de 28°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$).

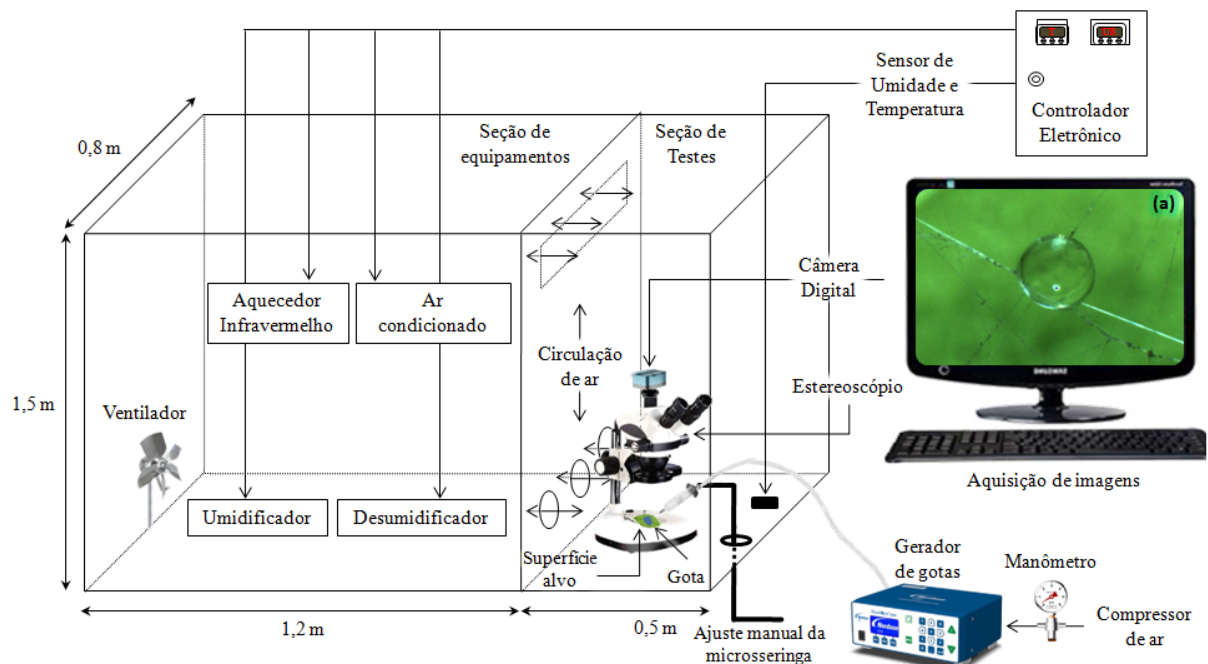
Para os ensaios de espalhamento e evaporação das gotas sobre o alvo, depósito e cobertura da pulverização, e nível de controle e biomassa seca foram usadas plantas retiradas de área com 100 m^2 com dois pares de folhas e sistema radicular, e transplantadas em vasos (capacidade para 5 dm^3) preenchidos com $4,5 \text{ dm}^3$ de substrato (80 % de solo argiloso, 15% de areia média e 5% de matéria orgânica). As plantas não foram cultivadas a partir de sementes devido à baixa taxa de germinação destas e dificuldade em estabelecer plantas em estágio de desenvolvimento uniforme. Durante o desenvolvimento, as plantas permaneceram em viveiro coberto com tela de ráfia, cor preta (50% de passagem de radiação solar), irrigadas diariamente até atingir a capacidade de campo.

O ensaio de espalhamento e evaporação de gotas foi realizado em duas condições de temperatura e umidade no momento de deposição das gotas: 22°C e 75%, e 33°C e 45%. As soluções foram preparadas em balões volumétricos de 1 L de água destilada, de acordo com as dosagens dos herbicidas e/ou adjuvante, imediatamente antes de sua utilização sendo agitadas sempre antes do uso em cada

repetição. Em cada unidade experimental foi usado uma folha (4º par de folha totalmente expandida - estágio vegetativo) para deposição da gota.

Para controlar de temperatura ($\pm 1^\circ\text{C}$) e umidade relativa do ar ($\pm 3\%$) foi usada uma câmara climática (Figura 6.1) com um umidificador, um desumidificador, um ar condicionado e um aquecedor infravermelho, conectados a um sensor de temperatura e umidade (sensível a variações $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,5\%$) posicionado na seção de testes da câmara climática que ao detectar variação em relação à temperatura e umidade relativa do ar estipuladas para o teste, que aciona automaticamente os equipamentos necessários à para manutenção das condições climáticas constantes. O ventilador tem função de homogeneização do ar entre as seções de equipamentos e testes, e permanece ligado durante toda a realização dos testes.

Figura 6.1 Câmara climática com controle de temperatura e umidade usada em experimentos de deposição de gotas sobre o alvo.



Fonte: Oliveira et al., 2013

O sistema contém um compressor de ar conectado a um gerador de gotas (modelo Ultimus V, EFD Inc., East Providence, RI) ligado por a um tubo flexível a uma seringa, 7,3 cm de comprimento e 1,1 cm de diâmetro interno, com uma capacidade de 9 mL. O gerador de gotas regulada a quantidade de líquido expelido e

assim permite alterações no tamanho da gota formada, por meio da pressão de ar (0 a 60 kPa), tempo de expulsão (0001 - 1000 s) e vácuo no sistema.

A seringa foi posicionada inclinada a 45° do plano horizontal e a 1 mm de altura em relação à superfície alvo, fixada em um suporte com uma haste prolongada ao exterior da câmara climática por meio de um orifício em sua base para possibilitar um movimento semicircular da seringa na seção de testes e ajuste manual do local desejado de deposição da gota, sem abertura da porta existente na parte frontal da seção de testes, e assim evitar oscilações das condições ambientais no momento de deposição da gota.

O tamanho da gota depositada foi calibrado pela deposição de 10 gotas sobre um fio de teia de aranha (15 µm de espessura), onde assumem formato esférico, e posterior mensuração de seu diâmetro com auxílio de programas de análise de imagem (Figura 6.1a). O tamanho da gota foi considerado calibrado quando as todas as gotas do fio apresentavam variação menor que 10% em relação à média (500 µm de diâmetro)

Após a calibração uma folha de *C. benghalensis* (com a face adaxial voltada para cima) foi posicionada sobre a platina de observação de um estereoscópio equipado com câmera digital para captura de imagens sequenciais em intervalos constantes com vista superior ao alvo localizado dentro da câmara de controle climático. Depois de estabilização da temperatura e umidade, uma gota, 500 µm, foi depositada a superfície adaxial, na parte central da folha deslocada lateralmente em relação à nervura principal.

O espalhamento e a evaporação da gota foram visualizados e registrados por meio de imagens sequenciais capturadas em intervalos de 3 segundos por uma câmera digital acoplada a um estereoscópio com zoom de 7x de ampliações na faixa de 0,7 até 225x por meio de combinação de objetivas e oculares (Bel Engineering®).

A área de espalhamento da gota ao longo do tempo de evaporação foi mensurada delimitando a borda da gota (máximo espalhamento) com a função polígono do programa de análise e processamento de imagem, IS capture 2.2.1 (Scienon Technology Co. LTD). O programa foi calibrado por uma régua de 0,01 µm. O tempo de evaporação das gotas em superfície foi determinado pela mensuração do intervalo de tempo entre a deposição e extinção da gota. Os momentos iniciais e finais

da evaporação foram registrados pelas imagens que foram capturadas durante a evaporação. Dessa forma, o tempo de evaporação foi calculado pela subtração do horário da imagem final, correspondente ao final da evaporação, pelo horário da primeira imagem, referente ao momento que a gota foi depositada (Zhu et al., 2008).

Nos ensaios de cobertura, depósito, nível de controle e biomassa seca, em cada unidade experimental foram usadas 6 plantas com 6 pares de folhas totalmente expandidas (estádio vegetativo), dispostas em duas linhas de três plantas, espaçadas 15 cm entre si, na parte central de um simulador de pulverização de 15 m de comprimento e 3 m de largura que se desloca sobre trilhos a 2,4 m de altura.

O sistema hidráulico do simulador é composto por um controlador de pressão manual e bomba hidráulica de três pistões, movida por um motor elétrico de 1,5 kW, equipado com barra de pulverização de 2 m de comprimento, com quatro pontas de pulverização espaçadas em 0,5 m entre si, e posicionado a 0,5 m de altura do alvo. A ponta usada foi a TT 110 015 a uma pressão de 300 kPa e velocidade de deslocamento da barra 7 km h^{-1} , resultando em uma taxa de aplicação de 100 L ha^{-1} .

Imediatamente antes da aplicação, foram preparadas 20 litros de cada calda considerando as doses dos agrotóxicos e adjuvantes, acrescidas dos marcadores Azul Brilhante FD&C-1 ($0,9 \% \text{ m v}^{-1}$) e Amarelo Fluorescente ($0,6 \% \text{ m v}^{-1}$), em galões com capacidade de 22 litros, e mantidas em sistema de agitação pelo retorno do sistema de pulverização durante sua utilização.

Durante a pulverização, a média de temperatura foi de $29,05 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 2,45$) e de umidade relativa do ar foi de 66% (± 8), mensuradas a cada repetição com um termo higrômetro. Após a pulverização, duas das plantas foram usadas nas avaliações de cobertura e depósito e as outras quatro foram colocadas novamente no viveiro para avaliação do nível de controle e ao fim das avaliações de controle, 42 dias após a aplicação, as plantas foram retiradas dos vasos para avaliação de matéria seca de parte aérea.

Na avaliação de cobertura quatro folhas de cada estrato do dossel da planta (superior e inferior) foram destacadas e acondicionadas em saco de papel (10 x 20 cm), e avaliada a percentagem de cobertura das gotas sobre as folhas, em análise visual, pela visualização do traçador fluorescente, em ambiente escuro iluminado com luz ultravioleta (BL 15 BLB), comparando as folhas individualmente com uma escala diagramática pré-estabelecida. Para determinação da escala de

cobertura usada na avaliação, foram coletadas 50 folhas de 15 plantas, pulverizadas separadamente nas mesmas condições usadas no ensaio, das quais foram selecionadas 10 folhas com níveis de cobertura ascendentes entre a mínima e a máxima cobertura obtida com a tecnologia de pulverização adotada. A escala final apresentava notas entre 10 a 100%, com intervalos de 10%.

Na avaliação de depósito quatro folhas de cada estrato do dossel da planta (superior e inferior) foram destacadas e acondicionadas em saco de plástico (20 x 30 cm) devidamente identificado. Em seguida, em cada saco plástico, contendo as folhas, foram adicionados 25 mL de água destilada e agitado 20 vezes, alternando entre movimentos horizontais e verticais, para extração do marcador azul brilhante. O líquido resultante da agitação foi vertido em outro recipiente plástico descartável (5 cm de diâmetro e 4 cm de altura) e feita a mensuração da absorvância em espectrofotômetro (630 nm). Em seguida, as folhas foram retiradas do saco plástico, dispostas sobre superfície branca com escala graduada em milímetros e fotografadas (vista superior) com uma câmera digital originando imagens do tipo jpg com resolução de 180 dpi e dimensões de 4320 x 3240 pixels. A área das folhas foi mensurada, em cm², usando o software AreaMed[®] delimitando os limites externos do bordo da folha. A calibração do software foi feita usando a escala graduada em milímetros das imagens. Através de curva de calibração das caldas, os dados de absorvância foram convertidos em concentração de corante por volume, mg L⁻¹, e em seguida convertidos em concentração de corante por área foliar, mg cm⁻², considerando a área das folhas e a curva de calibração da concentração das caldas em função da absorvância.

O nível de controle foi avaliado por meio da porcentagem de controle e da biomassa seca da parte aérea. A porcentagem de controle foi avaliada visualmente, aos 3, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a aplicação, atribuindo notas entre 0 e 100% às plantas pulverizadas, em que 0% indica ausência de controle e 100% morte da planta daninha. Após a última avaliação de controle, a parte aérea das plantas foi seccionada rente ao solo, e em seguida o solo foi colocado em peneira com fios de aço para separação das raízes, que foram posteriormente lavadas para retirada de resquícios de solo remanescente. A parte aérea da planta foi colocada em sacos de papel (20 x 30 cm) e a biomassa seca foi obtida após a secagem em estufa com ventilação forçada de ar a 65 °C (±2) até obtenção de peso constante. Na análise de componentes principais (JOLLIFFE, 2002) foram utilizadas as médias das variáveis (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 Caldas de pulverização contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral) e médias das características físicas e químicas, quantitativas e qualitativas relacionados à eficiência de controle de *Commelina benghalensis* utilizadas na análise dos componentes principais.

Herbicidas	Adjuvante	Roundup Original			Navajo			Roundup Original + Navajo		
		Sem adjuvante	Li700	Nimbus	Sem adjuvante	Li700	Nimbus	Sem adjuvante	Li700	Nimbus
Tratamento		T1	T4	T7	T2	T5	T8	T3	T6	T9
Tensão Superficial	mN m ⁻¹	46,58	34,32	36,22	70,48	34,78	33,16	39,13	33,01	29,97
Densidade	g dm ⁻³	997,64	999,64	999,25	999,37	997,21	997,68	1003,56	1003,71	1001,82
ESPU 2,5 min		0,68	11,50	10,50	0,35	2,75	3,25	2,10	5,25	3,55
ESPU 5 min		0,45	10,25	4,75	0,30	2,55	2,75	0,85	3,75	2,60
ESPU 10 min	cm	0,28	7,75	2,50	0,30	2,00	2,40	0,60	3,10	1,60
ESPU 20 min		0,08	5,50	0,85	0,25	1,85	1,50	0,45	2,25	1,05
ESPU 40 min		0,00	2,75	0,35	0,15	1,40	0,60	0,15	1,05	0,50
ESPA_T1	mm ²	0,48	0,43	0,41	0,43	0,59	0,53	0,41	0,39	0,73
TE_T1	s	153,00	153,60	217,80	268,00	294,00	167,40	271,20	174,00	214,20
ESPA_T2	mm ²	0,45	0,45	0,55	0,36	0,53	0,46	0,37	0,37	0,59
TE_T2	s	88,00	97,80	100,20	111,00	118,80	132,60	76,80	78,60	88,80
Cobertura (inferior)	%	58,75	71,88	60,63	56,25	59,38	65,00	45,00	45,63	57,50
Cobertura (superior)		79,38	82,50	83,13	68,75	84,38	86,25	83,13	88,75	90,63
Depósito (inferior)	µg cm ⁻²	14,80	12,95	11,43	10,75	11,32	13,06	11,11	13,00	14,34
Depósito (superior)		15,18	13,98	13,20	10,74	13,16	12,24	13,25	12,03	12,02
CON 3daa		5,00	5,00	5,00	29,31	34,06	35,63	33,75	36,88	46,88
CON 7daa		10,00	10,00	10,00	43,75	50,00	56,25	72,63	84,56	92,88
CON 14daa		14,69	15,94	25,31	80,63	68,75	74,38	89,13	90,88	97,63
CON 21daa	%	28,13	35,83	45,31	91,19	76,25	90,38	97,69	98,75	100,00
CON 28daa		28,33	40,83	63,13	97,63	80,44	96,69	100,00	100,00	100,00
CON 35daa		45,63	45,83	67,19	97,81	83,50	98,75	100,00	100,00	100,00
CON 42daa		42,19	51,67	60,94	96,88	81,38	98,13	100,00	100,00	100,00
Biomassa seca (parte aérea)	G	4,39	3,10	2,96	1,14	1,97	0,85	0,38	0,60	0,21

ESPU: formação de espuma; ESPA: espalhamento da gota; TE: tempo de evaporação; T1: 22°C de temperatura e 75% de umidade relativa do ar; T2: 33°C de temperatura e 45% de umidade relativa do ar; CON: nível de controle.

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes principais, F1 e F2 obtidas das demais variáveis analisadas, explicaram 65,79% do total de variação dos dados. A variável nível de controle das plantas de *C. benghalensis* foi a que apresentou maior peso sobre o componente F1, seguida pela biomassa seca das plantas daninhas (Tabela 6.2). A avaliação do nível de controle do agente de dano é essencial à compreensão e recomendação de técnicas adequadas à aplicação de agrotóxicos, visto que juntamente com os riscos de contaminação ambiental, elencam atualmente os dois principais pilares das pesquisas relacionadas à tecnologia de aplicação.

Entretanto, vale ressaltar que o percentual de variação elucidado pelos componentes F1 e F2 foi pequeno em termos estatísticos. É comum que mais de 80% da variação nos dados seja explicada pelos dois componentes principais (DE RESENDE, 2007). Isso evidencia a complexidade do processo de aplicação de agrotóxicos, e mostra que é necessário estabelecer variáveis mais representativas na interpretação de pesquisas nesta área, ou avaliação de um número maior de parâmetros a fim de melhorar a representatividade da análise.

Tabela 6.2 Escores dos fatores 1 e 2 da análise dos componentes principais para as caldas de pulverização contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).

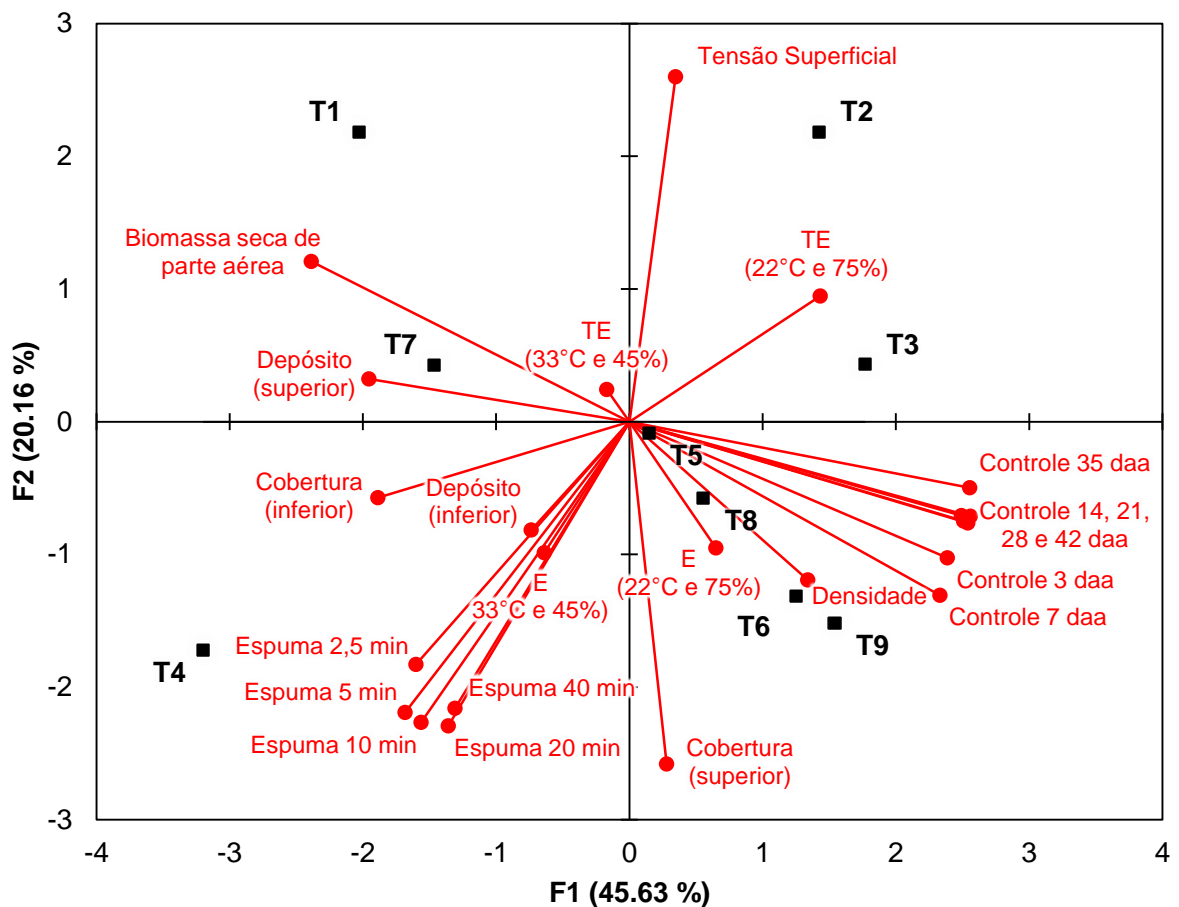
Variável	F1 (45,63%)	F2 (20,16%)
Tensão Superficial	0,131	0,803
Densidade	0,508	-0,369
Espuma 2,5 min	-0,607	-0,565
Espuma 5 min	-0,638	-0,677
Espuma 10 min	-0,592	-0,700
Espuma 20 min	-0,515	-0,708
Espuma 40 min	-0,496	-0,667
Espalhamento (22°C e 75%)	0,246	-0,294
Tempo de evaporação (22°C e 75%)	0,543	0,293
Espalhamento (33°C e 45%)	-0,241	-0,305
Tempo de evaporação (33°C e 45%)	-0,065	0,075
Cobertura (estrato inferior)	-0,715	-0,177
Cobertura (estrato superior)	0,106	-0,797
Depósito (estrato inferior)	-0,279	-0,252
Depósito (estrato superior)	-0,741	0,100
Controle aos 3 dias após a aplicação	0,905	-0,317
Controle aos 7 dias após a aplicação	0,883	-0,404
Controle aos 14 dias após a aplicação	0,969	-0,220
Controle aos 21 dias após a aplicação	0,962	-0,236
Controle aos 28 dias após a aplicação	0,945	-0,219
Controle aos 35 dias após a aplicação	0,968	-0,154
Controle aos 42 dias após a aplicação	0,950	-0,232
Biomassa seca de parte aérea	-0,905	0,373

O nível de controle de *C. benghalensis* ao longo do tempo foi uma variável inversamente correlacionada à biomassa remanescente após a aplicação (Figura 6.3). No caso particular de *C. benghalensis*, estacas de caules cortados são capazes de enraizar e se reestabelecer após o cultivo (BUDD et al. 1979). Sendo assim, a biomassa seca é uma variável primordial na avaliação, pois está associada à capacidade de reestabelecimento da planta após a aplicação, devido à propagação vegetativa desta espécie.

A mistura dos herbicidas Roundup Original + Navajo sem (T3) e com o adjuvante Nimbus (T9) foram as que mais positivamente se relacionaram com o componente F1, estando diretamente relacionada ao controle de *C. benghalensis*. As caldas de Navajo sem (T2) e com o adjuvante Nimbus (T8), e a calda de Roundup

Original + Navajo + Li700 (T6) também apresentaram alta correlação com o componente F1. Essas misturas de tanque de herbicidas e adjuvantes foram eficazes no controle de *C. benghalensis*.

Figura 6.2 Análise dos componentes principais para caldas de pulverização contendo os herbicidas Roundup Original (glyphosate), Navajo (2,4-D) e mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 (fosfatidilcoline + ácido propiônico) ou Nimbus (óleo mineral).



T1: Roundup Original

T2: Navajo

T3: Roundup Original + Navajo

T4: Roundup Original +Li700

T5: Navajo + Li700

T6: Roundup Original + Navajo + Li700

T7: Roundup Original +Nimbus

T8: Navajo + Nimbus

T9: Roundup Original + Navajo + Nimbus

E: espalhamento de gotas; TE: Tempo de evaporação

O herbicida Roundup Original, sem e com os adjuvantes Li700 ou Nimbus, e o herbicida Navajo com o adjuvante Li7000 não foram eficazes no controle de *C. benghalensis*, estando essas misturas relacionadas a baixos níveis de controle e

maiores quantidades de biomassa da planta daninha após a aplicação que as demais caldas de pulverização contendo herbicidas e/ou adjuvantes.

A tensão superficial, a formação de espuma durante o preparo da calda e a cobertura no estrato superior de *C. benghalensis* foram as três variáveis com maior peso sobre a componente F2. A tensão superficial das caldas foi inversamente proporcional à formação de espuma durante seu preparo, e à cobertura no estrato superior das plantas de *C. benghalensis*. O uso dos adjuvantes Li700 ou Nimbus nas caldas dos herbicidas foi associado positivamente à cobertura no estrato superior da planta daninha, porém, também à formação de espuma durante o preparo da calda, com exceção do adjuvante Nimbus com o herbicidas Roundup Original. A calda de Roundup Original + Li700 aquela onde houve maior quantidade de espuma.

No caso de *C. benghalensis* as caldas do herbicidas Roundup não foi eficaz no controle da planta daninha, mas em casos em que esta mistura seja eficaz é recomendável o uso de agentes antiespumantes para minimizar o problema. A recomendação do uso de adjuvantes em pulverizações agrícolas deve ser feita de maneira muito criteriosa, com base nas características de cada produto e necessidades agrônômicas bem definidas, visto que recomendações aleatórias podem ser prejudiciais ao tratamento fitossanitário.

A cobertura das gotas de pulverização nos estratos inferior e superior tiveram peso significativo sobre os componentes principais na aplicação dos herbicidas Roundup Original e Navajo, sendo diferentes nesses dois estratos. HUNSCHE e NOGA (2011) afirmam que melhorar a distribuição do herbicida no alvo pode melhorar o controle do agente de dano mesmo quando o herbicida é sistêmico.

O depósito da aplicação no estrato superior das folhas de *C. benghalensis* desfavoreceu o nível de controle da planta daninha. Embora incoerente à primeira vista, maiores níveis de depósito no estrato superior da planta daninha implicam em menor quantidade de ingrediente ativo no terço inferior, o que pode causar queda no controle. O depósito no estrato inferior por sua vez foi inversamente proporcional à tensão superficial da calda.

O espalhamento das gotas de pulverização sobre as folhas de *C. benghalensis*, em temperatura de 22°C e umidade relativa do ar de 75%, e a densidade das caldas, tiveram correlação positiva com o controle da planta daninha. O espalhamento das gotas de pulverização sobre o alvo melhora a distribuição do

produto sobre a planta, e contribui com a melhoria da cobertura do alvo (XU et al., 2010; ZHU et al., 2008).

A análise multivariada de componentes principais de parâmetros relacionados tecnologia de aplicação de agrotóxicos permitiu compreender quais variáveis são mais significativas à compreensão do processo de aplicação de herbicidas no controle de plantas daninhas.

6.6 CONCLUSÕES

O nível de controle e a biomassa seca de plantas daninhas são variáveis inversamente correlacionadas. A redução tensão superficial em caldas de pulverização favorece a formação de espuma no tanque de pulverização. A densidade da calda, a cobertura no estrato superior de *Commelina benghalensis* e o espalhamento das gotas de pulverização sobre o alvo.

As caldas de Navajo, sem e com o adjuvante Nimbus, e a mistura em tanque de Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 ou Nimbus são caracterizadas pela eficácia no controle de *Commelina benghalensis* associadas a redução da biomassa seca desta planta daninha, sendo que a mistura dos herbicidas e o uso de adjuvantes melhoram a eficiência.

As caldas de Roundup Original, sem e com Li700 ou Nimbus, são associadas a altos níveis de depósito e cobertura no estrato inferior da planta daninha. Porém são caracterizadas também pela alta formação de espuma no preparo da calda, pela ineficácia no controle de *Commelina benghalensis*, e grande quantidade de biomassa seca desta planta daninha após a aplicação.

Devido à complexidade da aplicação de agrotóxicos, e do grande número de fatores envolvidos, a análise multivariada de componentes principais possibilita compreender o processo de maneira abrangente e priorizar os estudos de parâmetros mais significativos à compreensão do fenômeno.

7 CONCLUSÃO GERAL

A aplicação de agrotóxicos é um processo complexo que envolve diversas etapas, que vão desde o preparo da calda à ação do ingrediente ativo no alvo. A ocorrência de falhas em qualquer dessas fases pode comprometer o objetivo final, que é controlar o agente de dano com o máximo de eficiência e o mínimo de contaminação ambiental. Desse modo, compreender cada uma das etapas é fundamental para estabelecer técnicas adequadas à aplicação com base em suas especificidades.

A mistura de agrotóxicos e o uso de adjuvantes é uma prática necessária em aplicações agrícolas, porém deve ser avaliada com bastante cuidado antes de ser recomendada. Deve-se conhecer sua relação de custo benefício, levando em consideração não somente a eficiência como as consequências ambientais, e decidir a real necessidade de uso, pois essa prática pode ser tanto benéfica como prejudicial.

Devido à complexidade da aplicação de agrotóxicos, e do grande número de fatores envolvidos, a análise multivariada de componentes principais possibilita compreender o processo de maneira abrangente e priorizar os estudos de parâmetros mais significativos à compreensão do fenômeno.

O herbicida Navajo sem e com o adjuvante Nimbus, e a mistura em tanque dos herbicidas Roundup Original e Navajo, sem e com os adjuvantes Li700 ou Nimbus são eficazes no controle de *Commelina benghalensis* e não há incompatibilidades na mistura de tanque desses produtos.

REFERÊNCIAS

ADAMSON, A. W.; GAST, A. P. **Physical Chemistry of Surfaces**, 6th ed., WileyInterscience: New York, 1997, cap. 2.

ANTUNIASSI, U.R.; CAMARGO, T.V.; BONELLI, M.A.P.O.; ROMAGNOLE, E.W.C. Avaliação da cobertura de folhas em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3, 2004. Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004. p. 48-51. 1 CD-Rom.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13451: Agrotóxico: determinação de espuma persistente. Rio de Janeiro, 2002.

AVEN, M.; SCHMIDT, F. Crop protection concentrate containing defoaming agents. US Patent 6,444,618. 2002.

BALAN, M.G.; ABI SAAB, O.J. G.; FONSECA, I.C.B.; SILVA, C.G.; SASAKI, E.H. Pulverização em alvos artificiais: avaliação com o software conta-gotas. **Ciência Rural.**, v.35, n.4, p.916- 919, 2005.

BASU, S.; LUTHRA, J.; NIGAM, K.D.P. The effects of surfactants on adhesion, spreading, and retention of herbicide droplet on the surface of the leaves and seeds. **Journal Environmental Science Health**, v. 37, n.4, p. 331-344, 2002.

BERTOLA, V. Some applications of controlled drop deposition on solid surfaces. **Recent Patents on Mechanical Engineering**, v. 1, n. 3 p. 167–174, 2008.

BOUKHALFA, H.H.; MASSINON, M.; BELHAMRA, M.; LEBEAU, F. Contribution of spray droplet pinning fragmentation to canopy retention. **Crop Protection**, v. 56, p. 91-97, 2014.

BREWER, C.A.; SMITH, W.K.; VOGELMANN, T.C. Functional interaction between leaf trichomes, leaf wettability and the optical properties of water droplets. **Plant, Cell & Environment**, v. 14, n. 9, p. 955-962, 1991.

BUDD G.D.; THOMAS P.E.L.; ALLISON J.C.S. Vegetative regeneration, depth of germination and seed dormancy in *Commelina benghalensis* L. Rhodesian. **Journal of Agricultural Research**, v. 17, p. 151-153, 1979.

BUENO, M. R.; ALVES, G. S.; PAULA, A. D. M.; DA 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.

BUENO, M.R.; CUNHA, J.P.A.R.; NAVES, M.G.; TAVARES, R.M. Deposição de calda e controle de plantas daninhas empregando pulverizador de barra convencional e com barra auxiliar, em volumes de calda reduzidos. **Planta daninha**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 447-454, 2014.

CARVALHO, W. P. A. **Estudo Comparativo entre Métodos de Amostragem de Gotas para Determinação de Faixa de Deposição nas Aplicações de Produtos Líquidos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” (UNESP). Botucatu, 2005.

CHAIM, A. Manual de tecnologia de aplicação de agrotóxicos. Embrapa Informação Tecnológica; Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2009.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; TRENTIN, R., TOCCHETTO, S.; MAROCHI, A.; GALLI, A.J.B.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M. Alternative herbicides to manage italian ryegrass (*Lolium multiflorum* lam) resistant to glyphosate at different phenological stage. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 40, n. 1, p. 59-67, 2005.

CHUNG, B.J., KWON, Y.W. Relationship between surfactant properties and wettability of rice leaf surfaces for several nonionic surfactants. In: FOY, C.L., **Adjuvants for agrochemicals**. Florida: CRC Press, 1992. p. 37-58.

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**. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2009.

CULPEPPER, A.S., FLANDERS, J.T., YORK, A.C., WEBSTER, T.M. Tropical spiderwort (*Commelina benghalensis*) control in glyphosate-resistant. **Weed Technology**, v. 18, n. 2, p. 432–436, 2004.

CULPEPPER, A.S.; YORK, A.C. Weed management in glyphosate tolerant cotton. **Journal of Cotton Science**, v. 2, n. 4, p. 174–185, 1998.

CUNHA, JPAR; ALVES, G. S.; REIS, E. F. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 665-672, 2010.

DA COSTA FERREIRA, M.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, 2013.

DA CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e agrotecologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, set./out., 2008

DA CUNHA, J.P.A.R.; DA SILVA, L.L.; BOLLER, W.; RODRIGUES, J.F. Aplicação aérea e terrestre de fungicida para o controle de doenças do milho. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 3, p.366-372, 2010.

DA SILVA TEIXEIRA, E.; OSIPE, J. B.; GANDOLFO, U. D.; OLIVEIRA, J. F.; GANDOLFO, M. A.; OSIPE, R. Uso de baixo volume oleoso e assistência de ar no controle de plantas daninhas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, sup. 1, p. 1229-1234, 2011.

DE AMARANTE JUNIOR, O.P.; DOS SANTOS, T.C.R.; BRITO, N.M.; RIBEIRO, M. L. Glyphosate: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.

DE GOES MACIEL, C. D., DE OLIVEIRA NETO, A. M., DA SILVA, A. A. P., KARPINSKI, R. A. K., BARBOSA, A. P., SILVA, A. F. M., MENDES, M. A., HELVIG, E. O. Eficiência e qualidade da aplicação de glyphosate+ carfentrazone no controle de *Commelina diffusa* em função da ponta de pulverização e do adjuvante Triunfo Flex™. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 2, p. 156-162, 2014.

DE GOES MACIEL, C. D., MORAES, D. W., BALAN, M. G. Associação de adjuvantes com herbicidas na dessecação e no controle em pós-emergência de plantas daninhas na cultura do trigo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 243-256, 2012.

DE GOES MACIEL, C. D., ZOBIOLE, L. H. S., DE SOUZA, J. I., HIROOKA, E., DE LIMA, L. G. N. V., SOARES, C. R. B., PIVATTO, R. A. D, FUCHS, G. M., HELVIG, E. O. Eficácia do herbicida haloxyfop R (GR-142) isolado e associado ao 2,4-D no controle de híbridos de milho RR[®] voluntário. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 112-123, 2013.

DE GOES MACIEL, C.D.; ZOBIOLE, L.H.S.; DE SOUZA, J.I.; HIROOKA, E.; DE LIMA; L.G.N.V.; SOARES, C.R.B.; HELVIG, E.O. Eficácia do herbicida haloxyfop R (GR-142) isolado e associado ao 2,4-D no controle de híbridos de milho RR[®] voluntário. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 112-123, 2013.

DE GOES MACIEL, C.D; MORAES, D.W.; BALAN, M.G. Associação de adjuvantes com herbicidas na dessecação e no controle em pós-emergência de plantas daninhas na cultura do trigo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 243-256, 2012.

DE RESENDE, Marcos Deon Vilela. Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. **Embrapa Florestas, Colombo**, v. 362, 2007.

DE SOUZA, R. T., DE CASTRO, R. D., & PALLADINI, L. A. Depósito de pulverização com diferentes padrões de gotas em aplicações na cultura do algodoeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n. esp., p.75-82, 2007.

DEEGAN R. D.; BAKAJIN, O; DUPONT T. F; HUBER, G, NAGEL, S. R; WITTEN, T. A. Capillary flow as the cause of ring stains from dried liquid drops. **Nature**, v. 389, n. 6653, p. 827-829, 1997.

DILL, G. M.; CAJACOB, C. A.; PADGETTE, S. R. Glyphosate-resistant crops: adoption, use and future considerations. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 326-331, 2008.

DOS REIS, E. F., DE QUEIROZ, D. M., DA CUNHA, J. P. A. R. Dependência espacial da deposição de calda promovida por uma aplicação aérea na cultura da soja. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 3, p. 79-85, 2012.

DUARTE, C.S.; FAQUIN, W.; SALGADO, A.R., Eficiência do Ethrel (ácido 2-cloroetil fosfônico) na maturação de café, sob diferentes formas de aplicação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 5.,1977, Guarapari. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1977. p.149-151.

DURIGAN, J.C. Efeito de adjuvantes na calda e do estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colonião (*Panicum maximum*) com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 10, n. 1/2, p. 39-44, 1992.

DURIGAN, J.C. **Efeitos de adjuvantes na aplicação e eficácia dos herbicidas**. Jaboticabal: Funep, 1993. 43 p.

DURIGAN, J.C.; GALLI, A.J.B.; LEITE, G.J. Avaliação da eficiência da mistura de glyphosate e 2,4-D para o controle de plantas daninhas em citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 17, 1988, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: SBEHD, 1988. p. 303-304.

FAERS, M. A.; TSANGARIS, K.; PONTZEN, R.; BISMARCK, A. Studies on leaf deposit microstructures through changes in colloidal and surface forces. In: **Proceedings 9th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals**. ISAA 2010. p. 13–17 August, Freising-Weihenstephan, Germany.

FAWCETT, J. A. Glyphosate tolerant asiatic dayflower (*Commelina communis*) control in no-till soybeans. Thesis (Master of Science in Agronomy Weed science) - Iowa State University. Iowa, 2012.

FERREIRA, M. C., LOHMANN, T. R., CAMPOS, A. P., VIEL, S. R., FIGUEIREDO, A. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Planta daninha**, v. 29, n. 3, p. 697-705, 2011.

FIGUEREDO, R. C. R.; RIBEIRO, F. A. L.; SABADINI, E. Ciência de espumas: aplicação na extinção de incêndios. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 126-130, 1999.

FOLEY, J.A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K.A.; CASSIDY, E.S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; ZAKS, D. P. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.

FOLONI, L.L.; RODRIGUES, J.D.; ONO, E.O. Controle do arroz vermelho através do herbicida sulfosate isolado e em mistura com adjuvantes. **Planta Daninha**, v. 15, n. 1, p. 39, 1997.

FRANZ, J. E., M. K. MAO, AND J. A. SIKORSKI. Toxicology and environmental properties of glyphosate. In **Glyphosate: A Unique Global Herbicide**. American Chemical Society Monograph. 189. Washington, D.C.: American Chemical Society. 1997. p. 103–141.

GALLI, A.J.B. Avaliação da eficiência de glyphosate em mistura com diversos produtos, no controle de *Commelina virginica* (trapoeraba) em citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 18, 1991, Brasília. **Resumos...** Brasília: SBHED, 1991. p.104-105.

GANDOLFO, M.A.; MORAES, E.D.; GANDOLFO, U.D.; OSIPE, J.B.; RODRIGUES, E.B.; OSIPE, R. Potencial de deriva da mistura de 2,4-D com glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, n. 3, p. 332-338, 2012.

GARCÍA, O., ISARAIN-CHÁVEZ, E., EL-GHENYMY, A., BRILLAS, E., PERALTA-HERNÁNDEZ, J. M. Degradation of 2,4-D herbicide in a recirculation flow plant with a Pt/air-diffusion and a BDD/BDD cell by electrochemical oxidation and electro-Fenton process. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 728, p. 1-9, 2014.

GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta daninha**, v. 33, n. 1, Mar. 2015.

GAZZIERO, D.L.P., MACIEL, C.D.G., SOUZA, R.T., VELINI, E.D., PRETE, C.E.C.; OLIVEIRA NETO, W. Deposição de glyphosate aplicado para controle de plantas daninhas em soja transgênica. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 173-181, 2006.

GEIGER, D. R.; FUCHS, M. A. Inhibitors of aromatic amino acid biosynthesis (glyphosate). In: BÖGER, P.; WAKABAYASHI, K.; HIRAI, K. (Ed.). **Herbicide classes in development**. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p. 59-85.

GERARD A. J. M.; AXELSEN, J. A.; KJÆR, C. Towards predicting pesticide deposition from plant phenology; a study in spring barley. *Pesticide science*, v. 53, n. 3, p. 252-262, 1998.

GODDARD, E.D., PADMANABHAN, K.P.A. A mechanistic study of the wetting, spreading, and solution properties of organosilicone surfactants. In: FOY, C. L. **Adjuvants for agrochemicals**. Florida: CRC Press, 1992. p. 373-83.

GREEN, J. M.; BEESTMAN, G. B. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 320-327, 2007.

GREENE, D.W.; BUKOVAC, M. Stomatal penetration: effect of surfactants and role in foliar absorption. **American Journal of Botany**, Columbus, v.61, n.1, p.100-106, 1974.

GUBELMANN-BONNEAU, I.; CAVEZZAN, J. Solid silicone-based antifoaming composition, a phytopathological formulation containing it, and preparations thereof. US Patent Application 0,049,279, 2002.

GUO, Z.G.; LIU, M. Biomimic from the superhydrophobic plant leaves in nature: Binary structure and unitary structure. **Plant Science**, v. 172, n. 6, p. 1103-1112, 2007.

HEINRICHS, F. L. Wax dispersions and progressive adjuvants to support pesticide activity. In: **Agricultural Adjuvants: Current Status and Prospects**. SCI, London, UK. 2002.

HESS, F.D.; FOY, C.L. Interaction of Surfactants with Plant Cuticles¹. **Weed Technology**. v. 14, p. 807–813, 2000.

HOLDER, C. D. Leaf water repellency of species in Guatemala and Colorado (USA) and its significance to forest hydrology studies. **Journal of Hydrology**, v. 336, n. 1, p. 147-154, 2007.

HOLLOWAY, P.J. Physicochemical factors influencing the adjuvants - Enhance spray deposition and coverage of foliage-applied agrochemicals. In: HOLLOWAY, P.J.; REES, R.T.; STOCK., D. **Interactions between adjuvants, agrochemicals and target organisms**. Berlin: Springer-Verlag, 1994. p. 83-106.

HOLLOWAY, P.J. Physicochemical factors influencing the adjuvants - Enhance spray deposition and coverage of foliage-applied agrochemicals. In: HOLLOWAY, P.J.; REES, R.T.; STOCK, D. (Ed.). **Interactions between adjuvants, agrochemicals and target organisms**. Berlin: SpringerVerlag, 1994. p.83-106.

HOLM L.G.; PLUCKNETT D.L.; PANCHO J.V.; HERBERGER J.P. **The World's Worst Weeds—Distribution and Biology**. University Press of Hawaii, Honolulu, 1977.

HOLTZ, V.; COUTO, R. F.; OLIVEIRA, D. G. DE; REIS, E. F. DOS. Deposição de calda de pulverização e produtividade da soja cultivada em diferentes arranjos espaciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 8, p. 1371-1376, 2014.

HOOGLAN, J.; COLSON, A.; RENAULD, F., L'HOSTIS, J.; SAWICKI, G.; STASSEN, S. Silicone foam control agent. US Patent 6,521,586. 2003.

HU, H.; LARSON, R. G. Marangoni effect reverses coffeeering depositions. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 110, n. 14, p. 7090–7094, 2006.

HUNSCHE, M.; NOGA, G. Effect of relative humidity and substrate on the spatial association between glyphosate and ethoxylated seed oil adjuvants in dried deposits of sessile droplets. **Pest Management Science**, v. 68, n. 2. P. 231–239, 2011.

HUNSCHE, M.; NOGA, G. Effects of relative humidity and substrate on the spatial association between glyphosate and ethoxylated seed oil adjuvants in the dried deposits of sessile droplets. **Pest Management Science**, v. 68, p. 231–239, 2012.

JOHNSON, W.G.; GIBSON, K.D. Glyphosate-resistant weeds and resistance management strategies: an Indiana grower perspective. **Weed Technology**, v.20, n. 3, p.768-772, 2006.

JOHNSTONE, D. R. Spreading and retention of agricultural sprays on foliage. In: DEKKER, M. **Pesticide formulations**. New York: Edição do autor, 481 p, 1973.

JOLLIFFE, I.T. Principal component analysis. 2.ed. New York, Springer-Verlag, 2002. 502p.

JORDAN, D.L.; YORK, A.C.; GRIFFIN, J.L.; CLAY, P.A., VIDRINE, P.R.; REYNOLDS, D.B. Influence of application variables on efficacy of glyphosate. **Weed Technology**, v.11, n. 2, p. 354–362, 1997.

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. **Palestras e mesas redondas...** Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997. p. 61-77.

KOGER, C.H.; POSTON, D.H.; HAYES, R. M.; MONTGOMERY, R. F. Glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) in Mississippi. **Weed Technology**, v. 18, n. 3 p. 820–825, 2004.

KRAEMER, T.; HUNSCHE, M.; NOGA, G. Surfactant-induced deposit structures in relation to the biological efficacy of glyphosate on easy- and difficult-to-wet weed species. **Pesticide Management Science**. v. 65, n. 8, p. 844-850, 2009.

LEAPER, C; HOLLOWAY, P. J. Adjuvants and glyphosate activity. **Pest management Science**, v. 56, n. 4, p. 313-319, 2000.

LEE, L. J.; NGIM, J. A first report of glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica*) in Malaysia. **Pest Management Science**. v. 56, p. 336-339, 2000.

LICH, J.M.; RENNER K.A.; PENNER, D. Interaction of glyphosate with post emergence soybean (*Glycine max*) herbicides. **Weed Science**, v.45, p.12- 21, 1997.

LIU, Z. Q. Characterization of glyphosate uptake into grass species. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 54, n. 9, p. 877–884, 2003.

MACIEL, C.D.G.; GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A.M.; POLETINE, J.P.I; BASTOS, S.L.W.; DIAS, N.M.S. Tensão superficial estática de misturas em tanque de glyphosate + chlorimuron-ethyl isoladas ou associadas com adjuvantes. **Planta daninha**, v. 28, n. 3, p. 673-685, 2010.

MACIEL, C.D.G.; SOUZA, R.T.; SILVA, R.H.; VELINI, E.; LEMOS, L.B. Deposição e distribuição de calda de pulverização em plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) e

capim-brachiaria (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, v. 19, n. 1, p. 103-110, 2001.

MACIEL, C.D.G.; SOUZA, R.T.; SILVA, R.H.; VELINI, E.D.; LEMOS, L.B. Deposição e distribuição de calda de pulverização em plantas de feijoeiro (*phaseolus vulgaris*) e capim-braquiária (*brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, Viçosa, v.19, n.1, p.103-110, 2001.

MAHESHWARI P.; MAHESHWARI J.K. Floral dimorphism in *Commelina forskalaei* Vahl. and *C. benghalensis* L. **Phytomorphology**, v. 5, n. 4, p. 413-422, 1955.

MAHESHWARI P.; SINGH B. A preliminary note on the morphology of the aerial and underground flowers of *Commelina benghalensis* Linn. **Current Science**, v. 3, p. 158-160, 1934.

MAO, T.; KUHN, D.C.S.; TRAN, H. Spread and rebound of liquid droplets upon impact on flat surfaces. **American Institute of Chemical Engineers Journal**., v. 43, p. 2169–2179, 1997.

MARTINS, D.; CARBONARI, C.A.; TERRA, M.A.; MARCHI, S.R. Ação de adjuvantes na absorção e translocação de glyphosate em plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*). **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v.27, n.1, p.155-163, 2009.

MATUO, T. Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.

McCORMICK, R. W. Effects of CO₂, N₂, air and nitrogen salts on spray solution pH. **Weed Technology**, v. 4, n. 4, p. 910-912, 1990.

MEIER, I.K.; LASSILA, K.R.; SLONE, C.S. Low foam n-alkyltartarimide and n-alkylmalimide wetting agents. US Patent 6,437,009. 2002.

MENDONÇA, C. G. de; RAETANO, C. G.; MENDONÇA, C. G. Volume de espuma e estabilidade de emulsões aquosas com óleos minerais e óleos vegetais. In: III SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 2004, Botucatu. **Anais... III SINTAG**. Botucatu: FEPAF, 2004. v. 1. p. 264-267.

MENDONÇA, C. G., RAETANO, C. G., MENDONÇA, C. G. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n. esp., p.16-23, 2007.

MENDONÇA, C.G. de; RAETANO, C.G.; MENDONÇA, C.G. de. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. spe, p. 16-23, 2007.

MENDONÇA, C.G.; VELINI, E.D.; MARTINS, D.; MENDONÇA, C.G. Efeitos de surfactantes sobre a tensão superficial e a área de molhamento de soluções de glyphosate sobre folhas de tiririca. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.13, n.3, p.355-365, 1999.

MERVOSH, T.L.; BALKE, N.E. Effects of calcium, magnesium and phosphate on glyphosate absorption by cultured plant cells. **Weed Science**, v. 39, n. 3, p. 347-353, 1991.

MONQUERO, P.A.; CHISTOFFOLETI, P.J.; MATAS, J.A.; HEREDIA, A. Leaf surface characterization and epicuticular wax composition in *Commelina benghalensis*, *Ipomoea grandifolia* and *Amaranthus hybridus*. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 203–210, 2004.

MUELLER, T.C.; MITCHELL, P.D.; YOUNG, B.G.; CULPEPPER, A.S. Proactive Versus Reactive Management of Glyphosate-Resistant or-Tolerant Weeds 1. **Weed Technology**, v. 19, n. 4, p. 924-933, 2005.

NALEJAWA, J. D.; MATYSIAK, R. Optimizing adjuvants to overcome glyphosate antagonistic salts. **Weed Science**, v. 7, n. 2, p. 299-324, 1993.

NALEWAJA, J. D.; WOZNICA, Z.; MATYSIAK, R. 2,4- D amine antagonism by salts. **Weed Technology**, v. 5, n. 4, p. 873-880, 1991.

NASCIMENTO. A. B. **Determinação do tamanho da amostra de papéis hidrossensíveis em experimentos ligados à tecnologia de aplicação**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR, 2011.

NETO, José Machado Moita; MOITA, Graziella Ciaramella. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998.

OLIVEIRA, R. B., DARIO, G., ALVES, K. A., GANDOLFO, M. A. INFLUENCE OF THE GLYPHOSATE FORMULATIONS ON WETTABILITY AND EVAPORATION TIME OF DROPLETS ON DIFFERENT TARGETS. **Planta daninha**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 599-606, 2015.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. Caracterização física e química e potencial de deriva de caldas contendo surfatantes em pulverizações agrícolas. **Energia na Agricultura**, v. 27, n. 1, 2012.

OWEN, M.D.K.; ZELAYA, I. A. Herbicide-resistant crops and weed resistance to herbicides. **Pest Management Science**, v. 61, n. 3, p. 301-311, 2005.

OWEN, M.D.K. Weed species shifts in glyphosate-resistant crops. **Pest management science**, v. 64, n. 4, p. 377-387, 2008.

OZEKI, Y.; KUNZ, R. P. Tecnologia de aplicação aérea – aspectos práticos. In: **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias**, 2., 1998. Santa Maria. Departamento de Defesa Fitossanitária, Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p. 65-78.

PEREZ, A.; KOGAN, M. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. **Weed Research**, v. 43, n. 1, p. 12-19, 2003.

PEREZ-JONES, A.; PARK, K.; MALLORY-SMITH, C. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Oregon. **Western Society of Weed Science**, p. 5727, 2004.

PETTER, F. A.; SEGATE, D.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A.; ALCÂNTARA NETO, F. Incompatibilidade física de misturas entre herbicidas e inseticidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 449-457, 2012.

PICKNETT, R. G.; BEXON R. The Evaporation of Sessile or Pendant Drops in Still Air. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 61. n. 2, September, 1977.

POWLES, S. B. et al. Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. **Weed Science**, v. 46, p. 604-607, 1998.

RAI, D., KITTRICH, J. A. Mineral equilibrium and the soil system. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. **Mineral in soil environments**. 2. ed. Madison: SSSA, 1989. cap. 4. p. 161-198.

RAMOS, H. H.; DURIGAN, J. C. Efeitos da qualidade da água de pulverização sobre a eficácia de herbicidas aplicados em pós-emergência. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 313-324, 1998.

RAMOS, H. H.; PIO, L. C. Conceitos básicos de aplicação de agrotóxico. In: ZAMBOLINI, L.; CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de agrotóxico**. Viçosa, 2008. p. 155-157.

RAMOS, HAMILTON H.; DURIGAN, JULIO C. Avaliação da eficiência da mistura pronta de glyphosate+ 2, 4-D no controle da *Commelina virginica* L. em citros. **Planta Daninha**, v. 14, n. 1, p. 33-41, 1996.

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

RODRIGUES-COSTA, A.C.P.; MARTINS, D.; COSTA, N.V.; PEREIRA, M.R.R. Aspectos quantitativos da deposição de gotas de pulverização em plantas de amendoim e *Brachiaria plantaginea*. **Planta daninha**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 201-209, 2012.

ROGGENBUCK, F. C., ROWE, L., PENNER, D., PETROF, L., BUROW, R. Increasing postemergence herbicide efficacy and rainfastness with silicone adjuvants. **Weed Technology**, v.4, n.3, p.576-80, 1990.

ROMÁN, R.A.A.; CORTEZ, J.W.; DA COSTA FERREIRA, M., OLIVEIRA, D.; GUIMARÃES, J.R. Cobertura da cultura da soja pela calda fungicida em função de pontas de pulverização e volumes de aplicação. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.3, p.223-232, 2009.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Controle químico de trapoerabas (*Commelina spp.*) em lavouras de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA

DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p. 347.

SANCHOTENE, D. M., DORNELLES, S. H. B., DEBORTOLI, M. P., CAPITANIO, J. R., MEZZOMO, R. F., GONÇALVES, R. A.. Influência de sais e do pH da água na eficiência de imazethapyr+ imazapic no controle de arroz-vermelho. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 415-419, 2007.

SANTOS, I.C.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; MIRANDA, G.V.; PINHEIRO, R.A.N. Eficiência de glyphosate no controle de *Commelina benghalensis* e *Commelina diffusa*. **Planta daninha**, Viçosa , v. 19, n. 1, p. 135-143, Apr. 2001.

SCHNEIDER, J. L., DE OLIVEIRA, G. M., BALAN, R. E., CANTERI, M. G.; SAAB, O. J. G. A. Cobertura de gotas de pulverização obtida com diferentes pontas e taxas de aplicação na parte aérea da cana-de-açúcar. **Ciência Rural.**, Santa Maria , v. 43, n. 5, p. 797-802, May 2013.

SELLERS, B. A.; POLLARD, J. M.; SMEDA, R. J. Two common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) biotypes differ in biology and response to glyphosate. **Southern Weed Science Society**, v. 45, p. 156, 2005.

SHABAN, S. A., SOLIMAN, S. E., NASSAR, A. N. M. E., & EL-ATTAR, M. H. Improving the Efficiency of Some Herbicides in Weed Control and Yield Components of Wheat by Some Adjuvants. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, v. 15, n. 6, p. 997-1003, 2015.

SHANER, D.L. The impact of glyphosate-tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management. **Pest Management Science**, v.56, n. 4, p.320-326, 2000.

SIMARMATA, M.; KAUFMANN, J. E.; PENNER, D. Potential basis of glyphosate resistance in California rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). **Weed Science**, v. 51, p. 678-682, 2003.

SIMÕES, R., TEIXEIRA, M., FARONI, L.. Determinação da uniformidade de distribuição de agrotóxicos em grãos de trigo utilizando a técnica da

espectrofotometria do uv/visível. **Bioscience Journal**, América do Norte, v. 25, n. 4, ago. 2009.

SMITH, D. B., ASKEW, S. D., MORRIS, W. H., SHAW, D. R., BOYETTE, M. Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition. **Transactions of the ASABE**. v. 43. n.2, p. 255-259, 2000.

SOUZA, I.; CHAVES, L. H. G., BARROS Jr, G. Uso de agrotóxicos impactando a saúde de horticultores familiares na região de Lagoa Seca – Paraíba. **Engenharia Ambiental.**, Espírito Santo do Pinhal., v. 8, n. 1, p. 232-245, jan./mar. 2011.

SOUZA, L. A. de; CUNHA, J.P.A.R, PAVANIN, L. A. Deposição do herbicida 2,4-D Amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 78-85, 2012.

SOUZA, R. T. **Efeito da eletrização de gotas sobre a variabilidade dos depósitos de pulverização e eficácia do glyphosate no controle de plantas daninhas na cultura da soja**. 2002. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2002.

SOUZA, R.T.; VELINI, E.D.; PALLADINI, L.A. Aspectos metodológicos para análise de depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 195-202, 2007.

SPADER, V.; VIDAL., R.A. Response curve of *Commelina benghalensis* to EPSPS enzyme inhibitory herbicides. **Pesticidas Revista Técnico Científica** v. 10, p. 125-135, 2000.

SPANOGHE, P.; SCHAMPHELEIRE, M.D.; MEEREN, P.V.D.; STEURBAUT, W. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pesticide Management Science**. v. 63, p. 4-16, 2007.

STICKLER, W.E. The importance of adjuvants to the agricultural chemical industry In: FOY, C. L. (ed) **Adjuvants for agrochemicals chapter**. 1992. 22. p. 247-249

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

TEIXEIRA, M.M. **Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica**. 1997. 310 f. Tese (Doutorado em Engenharia Rural) - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1997.

TERRA, M. A.; MARTINS, D.; DA COSTA, N. V.; DE MARCHI, S. R. Avaliação de pontas e taxas de aplicação na deposição de calda no milho e em plantas daninhas. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, 2014.

THEISEN, G.; RUEDELL, J. **Tecnologia de aplicação de herbicidas: teoria e prática**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2004. 90 p.

TRAN, M. et al. Characterization of glyphosate resistant *Eleusine indica* biotypes from Malaysia. In: ASIAN-PACIFIC WEED SCIENCE SOCIETY SOCIETY CONFERENCE, 17., 1999, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: Asian-Pacific Weed Science Society, 1999. p. 527-536.

TUFFI-SANTOS, L.D., MEIRA, R.M.S.A.; SANTOS, I. C. Effect of glyphosate on the morpho-anatomy of leaves and stems of *C. diffusa* and *C. benghalensis*. **Planta Daninha**, v. 22, p. 101–107, 2004

URBANO, J. M.; BORREGO, A.; TORRES, V.; LEON, J. M; JIMENEZ, C.; DINELLI, G.; BARNES, J. Glyphosate-resistant hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) in Spain. **Weed Technology**, v. 21, n. 2, p. 396-401, April,2007

VANGESSEL, M. J. Glyphosate resistant horseweed from Delaware. **Weed Science**, v. 49, p. 703-705, 2001.

VARGAS, L.; SILVA, A.A.; BORÉM, A.; REZENDE, S.T.; FERREIRA, F.A.; SEDIYAMA, T. Características da resistência de acordo com o mecanismo de ação herbicida. In: VARGAS, L.; SILVA, A.A.; BORÉM, A.; REZENDE, S.T.; FERREIRA, F.A.; SEDIYAMA, T. (Eds.) **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Viçosa: UFV, 1999. p.16-34.

VELINI, E. D.; TRINDADE, M. L. B. Comportamento de herbicidas na planta. Épocas de aplicação de herbicidas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO

INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu/SP. **Anais...** Botucatu: UNESP, 1992. p. 65-86.

VELINI, E.D., ALVES, E., GODOY, M.C., MESCHEDE, D.K., SOUZA, R.T., DUKE, S.O. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.

VIEIRA, E. M., PRADO, A. D., LANDGRAF, M. D., REZENDE, M. D. O. Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2, 4 diclorofenoxiacético (2, 4-D) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 305-308, 1999.

VIEIRA, E., GUERRA, N., DE OLIVEIRA NETO, A. M. Efeito da adição de adjuvantes a mistura de glyphosate+ chlorimuron-ethyl no controle de buva. **Campo Digital**, v. 10, n. 1, 2015.

WAGNER, N.; REICHENBECHER, W.; TEICHMANN, H.; TAPPESER, B.; LÖTTERS, S. Questions concerning the potential impact of glyphosate-based herbicides on amphibians. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 32, n. 8, p. 1688-1700, 2013.

WALKER, S. R.; EVENSON, J. P. Biology of *Commelina benghalensis* L. in south-eastern Queensland. 1. Growth, development and seed production. **Weed research**, v. 25, n. 4, p. 239-244, 1985a.

WALKER, S. R.; EVENSON, J. P. Biology of *Commelina benghalensis* L. in south-eastern Queensland. 2. Seed dormancy, germination and emergence. **Weed research**, v. 25, n. 4, p. 245-250, 1985b.

WANAMARTA, G., PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. **Weed Science**, Champaign, v. 4, n. 1, p. 215-232, 1989.

WEBSTER, T.M.; BURTON, M.G.; CULPEPPER, A.S., FLANDERS, J.T.; GREY, T.L.; YORK, A.C. Tropical spiderwort (*Commelina benghalensis*) control and emergence patterns in preemergence herbicide systems. **Journal Cotton Science**, v. 10, p. 68-75, 2006.

WEBSTER, T.M.; SOSNOSKIE, L.M. Loss of glyphosate efficacy: a changing weed spectrum in Georgia cotton. **Weed Science**, v. 58, n. 1, p. 73-79, 2010.

WILCUT, J.W.; COBLE, H. D.; YORK, A. C.; MONKS, D. W. The niche for herbicide-resistant crops in U.S. agriculture. In: DUKE, S. O. ed. **Herbicide-Resistant Crops: Agricultural., Environmental., Economic, Regulatory, and Technical Aspects.** Boca Raton, FL: CRC. 1996. p. 213–230.

WIRTH, W.; STORP, S.; JACOBSEN, W. Mechanisms controlling leaf retention of agricultural spray solutions. **Pesticide. Science.**, v. 33, p. 411-420, 1991.

WOMAC, A,R.; MAYNARD, R,A.; KIRK, I.W. Measurement variations in reference sprays for nozzle classification. **Transactions of the ASAE**, v.42, n. 3 p.609-616, 1999

WOZNICA, Z., MESSERSMITH, C., NALEWAJA, J. High-pH oil based adjuvant blend for postemergence herbicidal spray composition. US Patent Application 0,992,475. 2003.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; BAGLEY, W. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. **Transactions of ASABE**, v. 53, n. 1, p. 13-20, 2010.

YARIN, A. L. Droplet impact dynamics: splashing, spreading, receding, bouncing. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 38, p. 159–192, 2006.

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

ZABKIEWICZ, J. A. Adjuvants and herbicidal efficacy-present status and future prospects. **Weed Research Oxford**, v. 40, n. 1, p. 139-149, 2000.

ZAIDAN, S. E.; GADANHA J. R; CASIMIRO D.; GANDOLFO, M. A., PONTELLI, C. O.; MOSQUINI, W. W. Performance of spray nozzles in land applications with high speed. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal , v. 32,n. 6,p. 1126-1132, 2012.

ZELAYA, I. A. AND M.D.K. OWEN. 2005. Differential response of *Amarantus tuberculatus* (Moq ex DC) JD Sauer to glyphosate. **Pest Managenement. Science**, v. 61, p. 936–950, 2005.

ZHU, H.; YU, Y.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Influence of spray additives on droplet evaporation and residual patterns on wax and wax-free surfaces. **Transactions of the ASABE**(doi:10.13031/2013.24680) Paper No. 083752: American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI 49085, USA. 2008.