

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ARTHUR DUARTE RODRIGUES NETO

**INTERFERÊNCIA DE CLASSES DE GOTA E VOLUMES DE APLICAÇÃO
NO DESEMPENHO DA MISTURA DE ATRAZINE COM NICOSULFURON
NO MANEJO DA MATOCOMPETIÇÃO NO CONSÓRCIO
MILHO-BRAQUIÁRIA**

Ilha Solteira

2023

ARTHUR DUARTE RODRIGUES NETO

**INTERFERÊNCIA DE CLASSES DE GOTA E VOLUMES DE APLICAÇÃO
NO DESEMPENHO DA MISTURA DE ATRAZINE COM NICOSULFURON
NO MANEJO DA MATOCOMPETIÇÃO NO CONSÓRCIO
MILHO-BRAQUIÁRIA**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP, Câmpus de Ilha
Solteira, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. Dr. Evandro Pereira Prado
Orientador

Prof. Dr. Leandro Tropaldi
Coorientador

Ilha Solteira

2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R696i Rodrigues Neto, Arthur Duarte.
Interferência de classes de gota e volumes de aplicação no desempenho da mistura de atrazine com nicosulfuron no manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária / Arthur Duarte Rodrigues Neto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
88 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Evandro Pereira Prado
Coorientador: Leandro Tropaldi
Inclui bibliografia

1. Tecnologia de aplicação. 2. *Urochloa ruziziensis*. 3. Mistura de herbicidas. 4. Deriva. 5. Espectro de gotas.


Rajane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/3 - 999

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

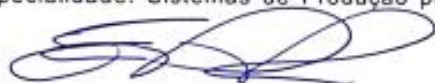
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Interferência dos parâmetros classe de gotas e volume de aplicação no desempenho da mistura de atrazine com nicosulfuron no manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária

AUTOR: ARTHUR DUARTE RODRIGUES NETO

ORIENTADOR: EVANDRO PEREIRA PRADO

COORIENTADOR: LEANDRO TROPALDI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia,
especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. EVANDRO PEREIRA PRADO (Participação Virtual)
Produção Vegetal / FCAT / UNESP - Dracena

Prof. Dr. JOAO ANTONIO DA COSTA ANDRADE (Participação Virtual)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Pesquisador Dr. FERNANDO KASSIS CARVALHO (Participação Virtual)
/ AgroEfetiva Serviços Ltda.

Ilha Solteira, 24 de fevereiro de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Márcia, por sempre me apoiar e amar incondicionalmente em todos os momentos.

À minha namorada Thaís, pelo amor, ajuda e companheirismo constantes.

Ao Professor Evandro Pereira Prado por sua orientação, paciência e amizade durante todo o processo. Ao Professor Leandro Tropaldi pela coorientação essencial para a minha pesquisa. Aos técnicos de campo da FCAT, Alan Roger e Adriano Crudo, pela ajuda preciosa em campo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa de estudos concedida (Processo 2020/07059-4).

Às empresas Agroefetiva, pela disponibilização de equipamentos, infraestrutura e suporte, Teejet e Magnojet pelo fornecimento de pontas de pulverização, ao Grupo Gasparim e à Morgan Sementes pelo fornecimento de sementes.

Por fim, agradeço a todos os amigos que fiz até hoje, que me apoiaram e estiveram ao meu lado em momentos bons e ruins. Sou grato por tudo que aprendi com vocês.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Obrigado!

RESUMO

O rendimento do consórcio milho-braquiária pode ser otimizado pelo manejo da matocompetição com a aplicação de herbicidas seletivos à cultura do milho. Objetivando verificar a interferência de classes de gota e volumes de aplicação no desempenho da mistura dos herbicidas atrazine (ACLAMADOBR - SC) e nicosulfuron (NICO - OD) nesse manejo, foram realizados cinco experimentos: Experimento 1: dose-resposta dos herbicidas atrazine e nicosulfuron em *Urochloa ruziziensis* aplicados de modo isolado e em mistura, objetivando verificar seus efeitos e uma dose de trabalho para os demais experimentos; Experimento 2: deposição, cobertura e densidade de gotas das classes de gota fina, média, grossa e muito grossa nos volumes de aplicação de 77 L.ha⁻¹ e 144 L.ha⁻¹; Experimento 3: características dos espectros de gotas dos tratamentos pelo método de análise de gotas por imagem; Experimento 4: potencial de deriva dos tratamentos em túnel de vento e Experimento 5: interferência de classes de gota e volumes de aplicação no manejo da matocompetição do consórcio milho-braquiária, realizado no campo, em duplicata. A dose de trabalho da mistura dos herbicidas atrazine e nicosulfuron, definida a partir da análise das curvas de dose-resposta, foi de 2500 + 15 g i.a. ha⁻¹ (Experimento 1). Os dados das variáveis respostas dos experimentos 2, 3, 4 e 5 foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste Scott-Knott a 5%. A deposição dos tratamentos do volume de 77 L.ha⁻¹ foi mais uniforme e a cobertura foi maior nos tratamentos com volume de 144 L.ha⁻¹ (Experimento 2). As características dos espectros de gotas e as correlações entre as variáveis de aplicação variaram de acordo com a interação entre a ponta, a classe de gotas e o volume de aplicação (Experimentos 3 e 4). O rendimento de massa seca de parte aérea de braquiária e grãos do consórcio em cenários de baixa densidade de plantas daninhas não foi afetado pelos tratamentos. No cenário de maior densidade de plantas daninhas, o volume de 144 L.ha⁻¹ ofereceu melhor controle, refletindo positivamente no rendimento de grãos do consórcio (Experimento 5). O manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária pode ser realizado com baixo risco de deriva utilizando a classe de gota muito grossa.

Palavras-chave: tecnologia de aplicação; *Urochloa ruziziensis*; deriva; espectro de gotas.

ABSTRACT

The yield of the corn-brachiaria intercropping can be optimized by managing weed competition with the application of herbicides selective to corn cultivation. To investigate the interference of droplet classes and application volumes on the performance of the herbicide mixture of atrazine (ACLAMADOBR - SC) and nicosulfuron (NICO - OD) in the management of weed competition in the corn-brachiaria intercropping, five experiments were conducted: Experiment 1: Dose-response of the herbicides atrazine and nicosulfuron on *Urochloa ruziziensis* when applied separately and in combination, aiming to determine their effects and establish a working dose for subsequent experiments; Experiment 2: Deposition, coverage, and droplet density of treatments with fine, medium, coarse, and very coarse droplet classes at application volumes of 77 L.ha⁻¹ and 144 L.ha⁻¹; Experiment 3: Characteristics of droplet spectra of treatments using the image drop analysis method; Experiment 4: Drift potential of treatments in a wind tunnel; Experiment 5: Interference of droplet classes and application volumes in managing weed competition in the corn-brachiaria intercropping, conducted in the field, in duplicate. The working dose of the herbicide mixture of atrazine and nicosulfuron, determined from the analysis of the dose-response curves, was 2500 + 15 g a.i. ha⁻¹ (Experiment 1). The data from the response variables of experiments 2, 3, 4, and 5 were subjected to variance analysis and compared using the Scott-Knott test at 5%. The deposition of treatments with a volume of 77 L.ha⁻¹ was more uniform, and the coverage was greater in treatments with a volume of 144 L.ha⁻¹ (Experiment 2). The characteristics of the droplet spectra and the correlations between application variables varied according to the interaction between the nozzle, droplet class, and application volume (Experiments 3 and 4). The dry mass yield of the aerial part of brachiaria and the grain yield of the intercrop in low weed density scenarios were not affected by the treatments. In a scenario with higher weed density, the volume of 144 L.ha⁻¹ provided better control, reflecting positively on the grain yield of the intercrop (Experiment 5). The management of weed competition in the corn-brachiaria intercropping can be conducted with a low risk of drift using the very coarse droplet class.

Keywords: application technology; *Urochloa ruziziensis*; drift; droplet spectrum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Representação visual dos cinco experimentos realizados.....	27
Figura 2	– Dados meteorológicos quinzenais do período de condução do experimento de campo na área “Saфра”, obtidos pela estação meteorológica <i>Campbell Scientific CR10X</i>	29
Figura 3	– Dados meteorológicos quinzenais do período de condução do experimento de campo na área “Safrinha”, obtidos pela estação meteorológica <i>Campbell Scientific CR10X</i>	30
Figura 4	– Aplicação tratamentos pelo pulverizador estacionário (a) e exemplo de planta de <i>U. ruziziensis</i> após a aplicação (b).....	31
Figura 5	– Efeito fitotóxico observado em <i>U. ruziziensis</i> 21 DAA de misturas dos herbicidas atrazine e nicosulfuron em diferentes concentrações da dose recomendada.....	32
Figura 6	– Aplicação dos tratamentos em placas de Petri (a); placa pós-aplicação (b); solução obtida pela lavagem de uma placa (c); representação da etapa de lavagem das placas (d).....	34
Figura 7	– Relação entre concentração e absorbância das caldas utilizadas na aplicação dos volumes de 77(a) e 144 (b) L.ha ⁻¹	35
Figura 8	– Exemplos de imagens obtidas pelo escaneamento de cartões hidrossensíveis expostos à aplicação dos tratamentos Fina (F), Média (M), Grossa (G) e Muito Grossa (MG), nos volumes de aplicação de 77 e 144 L.ha ⁻¹	36
Figura 9	– Analisador de partículas por imagem modelo VisiSize (a) e <i>print screen</i> do software <i>VisiSize Particle Sizing 6.0</i>	37
Figura 10	– Foto (a) e representação esquemática (b) de um túnel de vento de circuito aberto evidenciando o suporte (seta) contendo os alvos artificiais (fios de nylon).....	38
Figura 11	– Representação esquemática de uma área experimental com parcela em destaque.....	40

Figura 12	Localização geográfica do experimento – Dracena/SP (a) localização das áreas experimentais (b) e área experimental com o experimento instalado (c).....	41
Figura 13	Exemplos de quadros amostrais nas áreas experimentais “Safrá” (a) e “Safrinha” (b) no 20.º DAE do milho.....	43
Figura 14	Vista geral das áreas experimentais “Safrá” (a) e “Safrinha” (b), 20 DAE.....	43
Figura 15	Aplicação da calda contendo a mistura dos herbicidas atrazine e nicosulfuron, no 25.º DAE do milho, utilizando um pulverizador costal pressurizado por CO ₂	45
Figura 16	Área de coleta da parte aérea de <i>U. ruziziensis</i> pré (a) e pós-coleta (b).	45
Figura 17	Processo de secagem em estufa (a) e medição do peso (b) da MSPA da braquiária.....	46
Figura 18	Área experimental 115 DAE (a) e amostra de espigas colhidas em uma parcela (b).....	46
Figura 19	Curvas de dose-resposta dos herbicidas atrazine, nicosulfuron e da mistura de atrazine e nicosulfuron em plantas de <i>U. ruziziensis</i> no 21.º DAA, baseadas na MSPA (a) e Fitotoxicidade visual (b).....	49
Figura 20	Frequência acumulada dos depósitos de pulverização (L.ha ⁻¹), das classes de gota Fina, Média, Grossa e Muito Grossa, nos volumes de aplicação de 77 e 144 L.ha ⁻¹ , a partir do ajuste dos dados pelo modelo logístico.....	53
Figura 21	Comparação entre as classes de gota Fina, Média, Grossa e Muito Grossa, nos volumes de 77 e 144 L.ha ⁻¹ nas variáveis Cobertura (a) e Densidade de gotas (b) a partir da leitura de cartões hidrossensíveis, por meio de <i>boxplots</i>	57
Figura 22	Matrizes de correlação (<i>r</i>) entre as variáveis DMV (Diâmetro Mediano Volumétrico); AR (Amplitude Relativa); V100 (% de gotas < 100 µm); Deriva, Cobertura, Densidade de gotas e Deposição (diagonal), das classes de gota Fina, (a) e Média (b), nos volumes de aplicação de 77 L.ha ⁻¹ (abaixo da diagonal) e 144 L.ha ⁻¹ (acima da diagonal). aplicação de 77 L.ha ⁻¹ (inferior) e 144 L.ha ⁻¹ (superior).....	66

Figura 23 – Matrizes de correlação (r) entre as variáveis DMV (Diâmetro Mediano Volumétrico); AR (Amplitude Relativa); V100 (% de gotas < 100 μm); Deriva, Cobertura, Densidade de gotas e Deposição (diagonal), das classes de gota Grossa, (a) e Muito Grossa (b), nos volumes de aplicação de 77 L.ha⁻¹ (abaixo da diagonal) e 144 L.ha⁻¹ (acima da diagonal)..... 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Dose(s), espécie(s) forrageira(s) e época(s) de aplicação ou estágio fenológico da forrageira, encontradas em estudos relacionados ao manejo da matocompetição pela utilização da mistura de atrazine com nicosulfuron no consórcio milho-braquiária.....	23
Tabela 2	– Classificação do tamanho de gota por intervalos de Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV).....	26
Tabela 3	– Tratamentos utilizados nos experimentos (exceto testemunhas).....	28
Tabela 4	– Principais características dos herbicidas utilizados.....	28
Tabela 5	– Condições meteorológicas do momento das aplicações nos tratamentos.....	29
Tabela 6	– Escala de notas utilizada para a avaliação visual de fitotoxicidade.....	32
Tabela 7	– Atributos químicos do solo, na camada 0-20 cm, das áreas experimentais “Safra” e “Safrinha”.....	42
Tabela 8	– Parâmetros de regressão ($\pm$ EP) do modelo log-logístico para a MSPA e fitotoxicidade visual de plantas de <i>U. ruziziensis</i> , pela aplicação dos herbicidas atrazine e nicosulfuron de forma isolada e em mistura, 21 DAA.....	47
Tabela 9	– Análise de variância, com valores de <i>Fcalc</i> , para a variável Deposição.....	50
Tabela 10	– Comparação de médias entre os tratamentos para a variável Deposição.....	50
Tabela 11	– Análise de variância, com valores de <i>Fcalc</i> , para as variáveis Densidade de gotas e Cobertura.....	54
Tabela 12	– Comparação de médias entre os tratamentos para as variáveis Densidade de gotas e Cobertura.....	54
Tabela 13	– Análise de variância, com valores de <i>Fcalc</i> , para Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV), Amplitude Relativa (AR), % de gotas menores que 100 μ m (V100) e Deriva.....	58

Tabela 14	– Comparação de médias entre os tratamentos para as variáveis Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV), Amplitude Relativa (AR), % de gotas menores que 100 µm (V100) e % de deriva (Deriva).....	59
Tabela 15	– Análise de variância, com valores de <i>F_{calc}</i> , para a massa seca da parte aérea (MSPA) da braquiária, controle de plantas daninhas (Controle), diâmetro do colmo do milho (DC), Altura de planta de milho (AP) e Produtividade de grãos (PROD) dos tratamentos, das testemunhas, da interação entre tratamentos e testemunhas, para a área experimental “Safrinha”.....	68
Tabela 16	– Comparação de médias entre tratamentos, tratamentos e testemunhas, e entre testemunhas, para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) da braquiária, diâmetro do colmo do milho (DC), altura da planta de milho (AP), controle de plantas daninhas (Controle) e produtividade de grãos (PROD) da área experimental “Safrinha”.....	69
Tabela 17	– Levantamento fitossociológico de espécies de plantas daninhas 20 DAE do milho, na área experimental “Safrinha”.....	71
Tabela 18	– Análise de variância, com valores de <i>F_{calc}</i> , para a Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) da braquiária, controle de plantas daninhas (Controle), diâmetro do colmo do milho (DC), altura de planta de milho (AP) e produtividade de grãos (PROD) dos tratamentos, das testemunhas, e da interação entre tratamentos e testemunhas, para a área experimental “Safrinha”.....	72
Tabela 19	– Comparação de médias entre tratamentos, tratamentos e testemunhas, e entre testemunhas, para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) da braquiária, diâmetro do colmo do milho (DC), altura da planta de milho (AP), controle de plantas daninhas (Controle) aos 21 DAA e produtividade de grãos (PROD) da área experimental “Safrinha”.....	73
Tabela 20	– Levantamento fitossociológico de espécies de plantas daninhas 20 DAE do milho, na área experimental “Safrinha”.....	75

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

Altura de planta de milho, AP

Amplitude Relativa, AR

Capacidade de troca catiônica, CTC

Diâmetro do colmo do milho, DC

Diâmetro Mediano Volumétrico, DMV

Dias após emergência, DAE

Dias após semeadura, DAS

Dispersão de óleo, OD

Gramas por decímetro cúbico, g.dm⁻³

Gramas de ingrediente ativo por hectare, g i.a. ha⁻¹

Gramas de ingrediente ativo por litro de produto comercial, g i.a. L⁻¹ p.c.

Litros por hectare, L.ha⁻¹

Massa seca da parte aérea, MSPA

Matéria Orgânica no Solo, MOS

Micrômetro, μ

Miligramas por decímetro cúbico, mg.dm⁻³

Milimol-carga por decímetro cúbico, mmol_c.dm⁻³

Particle/Droplet Image Analysis, PDIA

Quilogramas por hectare, kg.ha⁻¹

Saturação por bases, V

Sistema de Plantio Direto, SPD

Suspensão concentrada, SC

Volume de gotas menores que 100 micrômetros, V100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	O consórcio milho-braquiária.....	18
2.2	Manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária.....	20
2.3	Tecnologia de aplicação de herbicidas.....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1	Descrição geral dos experimentos.....	27
3.2	Etapa laboratorial.....	30
3.2.1	<i>Experimento 1: Dose-resposta de U. ruziziensis aos herbicidas atrazine e nicosulfuron.....</i>	<i>30</i>
3.2.2	<i>Experimento 2: Avaliação da capacidade de deposição e cobertura dos tratamentos.....</i>	<i>33</i>
3.2.3	<i>Experimentos 3 e 4: Análise das características dos espectros de gotas e avaliação do potencial de deriva dos tratamentos em túnel de vento.....</i>	<i>37</i>
3.3	Etapa de campo.....	40
3.3.1	<i>Experimento 5: Interferência de classes de gota e volume de aplicação no efeito da mistura de atrazine com nicosulfuron no manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária.....</i>	<i>40</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1	Experimento 1: Dose-resposta de U. ruziziensis aos herbicidas atrazine e nicosulfuron.....	47
4.2	Experimento 2: Avaliação da capacidade de deposição e cobertura dos tratamentos.....	50
4.2.1	<i>Deposição.....</i>	<i>50</i>
4.2.2	<i>Cobertura e Densidade de gotas.....</i>	<i>54</i>
4.3	Experimentos 3 e 4: Análise das características dos espectros de gotas e avaliação do potencial de deriva em túnel de vento.....	58
4.4	Análise das correlações entre as variáveis de aplicação.....	62

4.5	Experimento 5: Interferência da classe de gota e volume de aplicação no efeito da mistura de atrazine com nicosulfuron no manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária.....	68
5	CONCLUSÕES.....	78
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto, cerca de 33 milhões de hectares são cultivados sob a modalidade conservacionista (FEBRAPDP, 2021). Essa técnica de cultivo envolve a eliminação ou redução de operações de preparo de solo, a rotação ou a sucessão de culturas e a manutenção da cobertura do solo com material vegetal, favorecendo a conservação da umidade e a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo. Além disso, o sistema ainda proporciona diversos benefícios econômicos e ambientais (BLANCO-CANQUI; WORTMANN, 2020).

Há décadas, sistemas de produção consorciada têm sido estudados, especialmente envolvendo culturas graníferas como o milho (*Zea mays* L.), o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e a soja (*Glycine max* (L.) Merr.), em associação com forrageiras tropicais do gênero *Urochloa* spp. (braquiárias), em áreas sob o SPD, visando a produção simultânea de grãos, forragem para a entressafra e palhada para a manutenção da cobertura do solo (PARIZ *et al.* 2017; BARZAN *et al.* 2021). Com o aumento da adoção de sistemas de produção consorciada com braquiárias em áreas sob o SPD, a questão da matocompetição tem sido cada vez mais estudada como um fator limitante para a produtividade desses sistemas.

A matocompetição é um importante fator limitante da produtividade de grãos e o sucesso econômico de sistemas consorciados, especialmente com braquiárias, depende de algumas estratégias de manejo do crescimento da forrageira, sendo a aplicação de herbicidas em subdoses, umas das principais alternativas (DAN *et al.*, 2012; IKEDA, 2013; FREITAS *et al.* 2018; MARTINS *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2019). Nesse sentido, é fundamental que as aplicações de herbicidas em subdoses sejam realizadas de forma precisa e eficiente, utilizando tecnologias de aplicação modernas e adequadas ao sistema consorciado de produção, visando minimizar os riscos de deriva e maximizar os benefícios econômicos e ambientais.

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários é fundamental para garantir a eficácia do controle de pragas e doenças nas culturas agrícolas, bem como para minimizar os riscos ambientais e de saúde pública. Nesse sentido, pesquisas têm se concentrado em aspectos como o uso de adjuvantes para aprimorar a penetração e aderência do produto, a escolha de pontas de pulverização que permitam a obtenção de gotas adequadas ao tipo de cultura e alvo, e a avaliação das melhores estratégias para reduzir a deriva e a contaminação de áreas adjacentes durante a aplicação.

A ponta de pulverização é um componente crucial para determinar a classe e as características do espectro de gotas, bem como o formato e direcionamento do jato, a vazão e a eficiência da aplicação de produtos fitossanitários. É amplamente reconhecido que a escolha adequada da ponta de pulverização pode influenciar significativamente a cobertura do alvo, a deposição e o potencial de deriva, que representa a perda de parte da aplicação sob a forma de gotas ou vapor (MATTHEWS, 2014; OLIVEIRA; ANTUNIASSI; GANDOLFO, 2015, KRUGER; ANTUNIASSI, 2019).

Nas aplicações de produtos fitossanitários, as características do espectro de gotas e o volume de aplicação são fundamentais para determinar a eficiência da cobertura do alvo e a segurança da operação (RAETANO, 2019). Embora haja uma relação direta entre o volume e o grau de cobertura (COURSHEE, 1967), há uma tendência cada vez maior em se utilizar volumes reduzidos, buscando o aumento da capacidade operacional e a redução de custos (CHECHETTO *et al.*, 2017). Essa abordagem implica na utilização de gotas menores para obter o mesmo grau de cobertura, o que pode elevar o potencial de deriva e o risco de contaminação ambiental, tornando o uso de pontas de pulverização com tecnologia apropriada uma medida importante para minimizar esses impactos.

A fim de contribuir para o desenvolvimento sustentável da agricultura, é fundamental fornecer informações técnicas precisas sobre a tecnologia de aplicação de herbicidas em sistemas de produção consorciada, como o milho-braquiária em SPD, que promove a redução de impactos ambientais e o aumento da eficiência produtiva.

Nesse contexto, é essencial avaliar a influência de classes de gota e volumes de aplicação no desempenho de herbicidas no manejo da matocompetição em sistemas consorciados. Com isso, este trabalho teve como objetivo verificar a eficácia da mistura de atrazine com nicosulfuron em diferentes classes de gota e volumes de aplicação no manejo da matocompetição no sistema milho-braquiária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Consórcio milho-braquiária

Uma das vantagens do consórcio de forrageiras com culturas anuais é a sua versatilidade, pois pode ser utilizado em diferentes sistemas de produção. Dentre eles, destacam-se três situações em que o consórcio se torna especialmente útil: em fazendas de pecuária, onde culturas anuais são introduzidas visando a recuperação de áreas de pastagem; em fazendas especializadas em produção de grãos, onde forrageiras são cultivadas como cobertura vegetal para o Sistema de Plantio Direto (SPD), sem prejuízos para o uso na alimentação animal na entressafra; e em sistemas de rotação entre pasto e lavoura, que buscam intensificar o uso da terra e aproveitar a sinergia entre essas atividades (VILELA *et al.*, 2011).

O SPD é uma das principais estratégias de manejo sustentável do solo, consolidado mundialmente por seus princípios fundamentais, que incluem a não perturbação do solo, rotação de culturas e cobertura permanente do solo com resíduos vegetais produzidos localmente. Esses princípios permitem a manutenção da estrutura física, biológica e química do solo, aumentando a capacidade produtiva e a resiliência dos agroecossistemas diante das mudanças climáticas e reduzindo os impactos ambientais causados pela produção agrícola. (VARGAS *et al.*, 2017; D'AMICO-DAMIÃO *et al.*, 2020).

Uma das maiores dificuldades para a manutenção do SPD no bioma Cerrado é a produção e decomposição da matéria orgânica. As condições climáticas da região dificultam o cultivo de plantas de cobertura durante a estação seca e aceleram a decomposição da palhada produzida na estação úmida. Isso resulta na redução do aporte e do tempo de permanência da cobertura vegetal sobre o solo, comprometendo a sustentabilidade dos agroecossistemas. (COSTA *et al.*, 2014; CAGNA *et al.*, 2019). Considerando que a produção consorciada é uma prática agrícola que pode contribuir para a manutenção da cobertura do solo ao longo do ano, torna-se relevante avaliar a eficiência dessa técnica na promoção da ciclagem de nutrientes e no aumento da quantidade e qualidade da matéria orgânica no solo.

Com o consórcio entre culturas graníferas e espécies forrageiras, especialmente do gênero *Urochloa*, é possível obter uma significativa produção de matéria orgânica, resultando em uma maior manutenção da palhada sobre o solo. Essa prática favorece a ciclagem de nutrientes e reduz a erosão, além de proporcionar diversos outros benefícios às características físicas, químicas e biológicas do solo, resultando em um ambiente mais saudável e produtivo para as culturas, bem como uma alternativa para a alimentação animal e exploração de mais de

uma atividade econômica na mesma área (PARIZ *et al.*, 2017; CAGNA *et al.*, 2019; SARTO *et al.*, 2020; BARZAN *et al.*, 2021; SOUZA *et al.*, 2022).

O consórcio milho-braquiária aparece como uma alternativa de diversificação de cultivo, pois favorece a consolidação do SPD pela grande produção de biomassa de elevada relação carbono/nitrogênio, de decomposição lenta e que mantém o solo coberto por mais tempo, sendo considerado um sistema agrícola viável, produtivo e sustentável (CECCON *et al.*, 2018; MECCHI *et al.*, 2018).

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal polivalente, utilizado na alimentação humana, animal e produção de etanol, destacando-se como o cereal mais produzido no mundo, sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial, com uma produção atual de mais de 100 milhões de toneladas (FAO, 2021). O cereal possui características extremamente desejáveis para integrar sistemas consorciados, por seu rápido crescimento inicial, altura de planta, capacidade competitiva, produtividade de grãos e biomassa (ARF *et al.*, 2018), contudo, essa biomassa não é capaz de promover a perfeita cobertura do solo por ser predominantemente constituída por colmos e não por folhas, tendo no consórcio com as braquiárias, a possibilidade de maximizar a cobertura do solo pela elevada produção de folhas por parte da forrageira (MECHI *et al.* 2018).

As gramíneas do gênero *Urochloa* possuem um papel importante na pecuária latino-americana e brasileira, pelas extensas áreas cultivadas e pela necessidade de produção forragem em quantidade e com qualidade para a nutrição animal. As espécies comerciais do gênero *Urochloa* possuem seu centro de origem na África Oriental e foram trazidas à América em meados do século XX (TRIVIÑO *et al.*, 2017).

O gênero *Urochloa* é composto por plantas monocotiledôneas, perenes e com capacidade de adaptação a diversas condições edafoclimáticas, sendo propagadas por sementes ou vegetativamente. Além disso, apresentam alta resistência ao pastejo intenso ou frequente, devido à sua eficiência metabólica e capacidade de rebrota, permanecendo verdes mesmo em períodos de escassez hídrica, o que as torna uma escolha ideal para sistemas agropecuários sustentáveis (AMBIEL *et al.*, 2008; QUEIROZ, *et al.*, 2016; CORRÊA, *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2021).

Quando o objetivo do consórcio é a produção de palhada para o SPD, recomenda-se a utilização de uma espécie forrageira de rápido estabelecimento, cobertura da superfície do solo e facilidade de dessecação. A forrageira *Urochloa ruziziensis* (R.Germ. & C.M.Evrard) Crins (Syn: *Brachiaria ruziziensis*), atende esses requisitos, destacando-se em consórcios por sua rusticidade, capacidade de supressão de plantas daninhas e por ser facilmente controlada por herbicidas convencionais, além disso, seu hábito de crescimento favorece a cobertura de

espaços vazios nas entrelinhas (emissão de colmos decumbentes que enraízam nos nós) (MACHADO *et al.*, 2013). Por promover mais de 80% de cobertura do solo, *U. ruziziensis* é indicada para situações de alta densidade de plantas daninhas, podendo suprimir mais de 90% da comunidade infestante (BORGES *et al.* 2014; GALVAN *et al.* 2015).

Contudo, é importante destacar que a consorciação dessas espécies deve ser cuidadosamente planejada, pois pode ocorrer competição pelos fatores de produção, o que pode levar a uma diminuição da produtividade do milho. Por isso, estudos em diferentes ambientes, com diferentes modelos de consórcio, arranjos de plantas e épocas de cultivo, vêm sendo conduzidos com o objetivo de construir uma base mais confiável de recomendações para maximizar os benefícios da consorciação de *Urochloa* e milho. (CRUSCIOL *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2022).

2.2 Manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária

Estratégias de manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária podem levar à redução (CRUSCIOL *et al.*, 2013; ARF *et al.*, 2018; MIGNOTTE *et al.*, 2021) ou não afetar (OLIVEIRA *et al.*, 2019; CANISARES *et al.*, 2021; WENNECK *et al.*, 2021) dependendo da estratégia de cultivo adotada, considerando a população de plantas, o cultivar, a espécie forrageira, a adubação, o nível de supressão da forrageira, a época de plantio, entre outros.

A maior parte dos nutrientes, especialmente nitrogênio (N) e potássio (K), são acumulados antes do florescimento pelo milho, quando ainda não há um pleno desenvolvimento do sistema radicular, e por isso, a competição nessa fase pode intensificar a competição em sistemas consorciados (MAKINO *et al.*, 2019).

Para garantir a sustentabilidade econômica do consórcio, algumas estratégias são adotadas com o objetivo de favorecer o desenvolvimento do milho sobre a forrageira, sendo as mais comuns a implantação tardia da braquiária no sistema e o controle da taxa de crescimento inicial da forrageira utilizando herbicidas seletivos à cultura do milho em subdoses (FREITAS *et al.* 2018; LIMA *et al.*, 2019).

Adequar o manejo das espécies forrageiras, de modo a evitar a competição interespecífica e, ao mesmo tempo, controlar eficientemente a flora invasora, talvez seja o principal desafio enfrentando pelas pesquisas, visto que nem sempre a dose adequada para se manejar o desenvolvimento forrageira é a mesma para o controle adequado das plantas daninhas, além disso, há baixa disponibilidade de técnicas de manejo e de mecanismos de ação de herbicidas adequados ao consórcio (DAN *et al.*, 2012).

A supressão do crescimento inicial da forrageira com herbicidas em subdoses ameniza a competição entre as espécies, sem causar grandes perdas na produção de biomassa, rendimento ou qualidade de grãos (GRIGOLLI *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2019), contudo, no momento da aplicação, deve-se considerar a espécie e o estágio de desenvolvimento da braquiária, pois o nível de resistência das *Urochloa* spp. varia, e doses consideradas seguras para uma espécie podem causar sintomas de fitotoxicidade severos em outra(s) (LIMA *et al.*, 2019). Nesse contexto, dentre os produtos recomendados mais utilizados destacam-se os herbicidas atrazine e nicosulfuron (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

O atrazine é um herbicida seletivo de ação sistêmica, inibidor do fotossistema II (FSII), do grupo químico das triazinas, indicado principalmente para o controle de eudicotiledôneas, com ação sobre algumas monocotiledôneas, aplicado tanto em pré quanto em pós-emergência. Os sintomas fitotóxicos da atrazina nas plantas podem incluir clorose foliar, redução no crescimento das raízes, deformação das folhas, necrose e estresse hídrico, podendo causar a morte da planta. Além disso, a atrazina pode afetar o desenvolvimento das raízes, diminuir a fotossíntese e a produção de clorofila, afetar a produção de proteínas e enzimas, e interferir na absorção de nutrientes pelas plantas. A intensidade dos danos causados pela atrazine varia conforme a dose aplicada, o estágio de desenvolvimento da planta, as condições ambientais e outras características específicas da planta exposta (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

Os herbicidas que atuam no FSII têm como modo de ação o bloqueio do transporte de elétrons entre as quinonas (Q_A e Q_B), interrompendo as conversões fotoquímicas entre os componentes oxidantes e redutores, resultando na energização excessiva das moléculas do complexo antena (clorofila *a*, *b* e carotenoides) e, com isso, uma série de reações formando espécies reativas de oxigênio e radicais livres ocorrem. Essas moléculas reativas possuem a capacidade de extrair hidrogênio de lipídeos instaurados, produzindo um radical lipídico e iniciando uma reação em cadeia de peroxidação lipídica, levando ao extravasamento do conteúdo celular e à morte da planta (SENSEMAN, 2007; OLIVEIRA, 2011).

O nicosulfuron é um herbicida seletivo de ação sistêmica, pertencente ao grupo químico das sulfonilureias, recomendado para aplicação pós-emergência, tendo como mecanismo de ação a inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), que é enzima chave na biossíntese dos aminoácidos de cadeia ramificada (valina, leucina e isoleucina). A morte da planta exposta ao produto ocorre em resposta à inibição da enzima ALS e da baixa produção dos aminoácidos de cadeia ramificada, ainda não sendo completamente entendida a sequência real dos processos fitotóxicos. Os efeitos fitotóxicos apresentados por plantas sensíveis podem ser clorose foliar,

necrose e deformação das folhas e redução no crescimento, podendo causar danos permanentes levando a planta à morte (SENSEMAN, 2007; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

O herbicida nicosulfuron é utilizado principalmente no controle de monocotiledôneas, tendo ação sobre algumas eudicotiledôneas, sendo amplamente utilizado na supressão do desenvolvimento da braquiária consorciada com o milho (REZENDE *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2019; ALMEIDA *et al.*, 2018; BAPTISTELLA *et al.*, 2020; FREITAS, *et al.*, 2021), contudo, alguns autores como Rodrigues & Almeida (2018), mencionam que o nicosulfuron, apesar de seletivo para grande parte dos cultivares comerciais de milho, pode causar sintomas de fitotoxicidade em alguns cultivares, inclusive não sendo recomendado para alguns híbridos. Em estudo realizado por Duarte *et al.* (2019), foi verificado que o nicosulfuron pode causar alterações morfológicas em plantas de milho quando aplicado em doses elevadas. Já em pesquisa realizada por Oliveira *et al.* (2017), foi observado que a aplicação de nicosulfuron em doses recomendadas pelo fabricante não apresentou efeitos fitotóxicos nas plantas de milho. Portanto, é importante que a dose do nicosulfuron seja cuidadosamente selecionada para evitar possíveis danos à cultura do milho.

Em resumo, a mistura de atrazine com nicosulfuron é uma estratégia comum utilizada para o controle de plantas daninhas no consórcio milho-braquiária. No entanto, sua utilização deve ser cuidadosamente avaliada para garantir que não haja efeitos fitotóxicos e que sua aplicação seja realizada em doses e épocas adequadas para garantir uma supressão eficiente das plantas daninhas e a produtividade do milho e da forrageira. Segundo Duarte *et al.* (2019), doses mais elevadas da mistura podem causar efeitos fitotóxicos significativos nas plantas de milho, incluindo a redução da altura da planta, do número de folhas e do peso fresco e seco da parte aérea.

Vários estudos têm explorado a mistura de atrazine com nicosulfuron para controlar a matocompetição no consórcio milho-braquiária, considerando diferentes doses e estágios de desenvolvimento da forrageira e do milho. Sendo a supressão das espécies forrageiras *Urochloa brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) R. Webster, *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster e *U. ruziziensis* o principal objetivo, conforme descrito na Tabela 1. A variação de doses está relacionada à época de aplicação, estágio de desenvolvimento das plantas, condições edafoclimáticas e espécies de plantas daninhas presentes.

Tabela 1. Manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária com a mistura de atrazine com nicosulfuron: doses, espécies forrageiras e épocas de aplicação encontradas na literatura.

Referência	Dose(s) (g i.a. ha ⁻¹)	Espécie forrageira (cultivar)	Época/estádio de aplicação
Santos <i>et al.</i> , 2021	1250 + 30	<i>U. brizantha</i> (Marandu); <i>U. ruziziensis</i>	31 DAE ¹
Costa <i>et al.</i> , 2020 ^a	1200 + 30	<i>U. ruziziensis</i>	Forrageira com 6 a 8 perfilhos
Oliveira <i>et al.</i> , 2019	3250 + 25	<i>U. brizantha</i> (Marandu); <i>U. ruziziensis</i> e <i>U. brizantha</i> (Hd 364)	Emissão do 1.º perfilho (forrageira)
Santos <i>et al.</i> , 2019	1500 + 6	<i>U. brizantha</i> (Marandu); <i>U. brizantha</i> (Piatã); <i>U.</i> <i>decumbens</i> (Basilisk);	22 DAE
Grigolli <i>et al.</i> , 2018	800 + 2; 800 + 4; 800+6	<i>U. ruziziensis</i>	V1 ²
Freitas <i>et al.</i> , 2018	1500 + 8	<i>U. brizantha</i>	20 e 21 DAS ³
Pariz <i>et al.</i> , 2017	1250 + 8; 1250 + 16	<i>U. brizantha</i> (Marandu); <i>U. decumbens</i> (Basilisk)	17 e 19 DAE
Rezende <i>et al.</i> , 2014	1500 + 4; 1500 + 8	<i>U. brizantha</i> (Marandu)	15 DAE
Silva <i>et al.</i> , 2014	1500 + 8	<i>U. brizantha</i>	30 DAS
Adegas <i>et al.</i> , 2011	800 + 16; 800 + 20	<i>U. ruziziensis</i>	Início de perfilhamento da forrageira

Nota: ¹ Dias Após Emergência (DAE) – milho; ² V1: Primeira folha desenvolvida – milho; ³ Dias Após Semeadura (DAS) – milho. Fonte: Próprio autor.

2.3 Tecnologia de aplicação de herbicidas

Entre os diversos métodos de controle de plantas daninhas, a utilização de herbicidas é predominante devido à sua versatilidade, englobando um amplo espectro de espécies

controladas, efeito prolongado e flexibilidade quanto à época de aplicação, além de permitir o controle tanto em pré como em pós-emergência. Esse método ainda proporciona a otimização das máquinas agrícolas, o controle efetivo de plantas daninhas na linha de semeadura e a redução da ocorrência de rebrota (GRIESANG; FERREIRA, 2021). Embora a utilização de herbicidas seja fundamental para a agricultura em larga escala, é importante ressaltar que o sucesso de um tratamento fitossanitário depende não só da ação do produto, mas também de fatores como a escolha adequada do herbicida, momento de aplicação, condições meteorológicas, qualidade da pulverização, entre outros (CARVALHO *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2020; GRIESANG; FERREIRA, 2021). As principais limitações do método químico estão relacionadas à tecnologia de aplicação empregada, sobretudo quanto à identificação do problema, à escolha do produto e à adequação do equipamento (SANTOS *et al.*, 2017), ressaltando que a diferença relacionada à tecnologia de aplicação é mais evidente em situações limítrofes, ou seja, plantas fora do estágio recomendado, em situação de estresse, na utilização de subdoses, entre outros fatores (CAVENAGHI; CARBONARI, 2019).

A tecnologia de aplicação é uma ciência multidisciplinar, que envolve conhecimentos das áreas de engenharia, química e biologia. Relacionados à biologia, estão os conhecimentos acerca da densidade crítica de plantas daninhas, tamanho e número de gotas necessário para uma cobertura eficiente e a dose do produto, entendendo que tais fatores podem variar de acordo com as características do alvo, principalmente quanto ao hábito de crescimento da planta, estágio fenológico, forma e natureza da superfície foliar, arranjo e ângulo de disposição das folhas e modo de ação do produto (CONTIERO *et al.*, 2018; LAMEGO; SCHAEGLER, 2019).

Alvos verticais, tal como as folhas de gramíneas, possuem menor superfície disponível para a captura de gotas, visto que, quanto maior a área foliar e mais horizontalmente ela se apresenta, maior o potencial de interceptação e retenção. O arranjo e a inclinação das folhas determinarão o ângulo de interceptação das gotas e sua possível retenção ou escoamento (MASSINON *et al.*, 2014; CONTIERO *et al.*, 2018). Considerando a complexidade relacionada à aplicação de herbicidas (e de produtos fitossanitários como um todo), o principal desafio para se conseguir a resposta biológica esperada é produzir o espectro de gotas ideal para cada tipo ou mistura de produtos (CREECH *et al.*, 2015).

Tanto a classe quanto as características do espectro de gotas, assim como a vazão e a qualidade de distribuição do líquido pulverizado (formato e direcionamento do jato), são determinados pela ponta de pulverização. A seleção correta da ponta de pulverização aumenta as chances de se conseguir a cobertura e o nível de deposição adequados, além de reduzir a

deriva (parte de uma aplicação perdida sob a forma de gotas ou vapor), aumentando-se assim, a eficiência da aplicação (MATTHEWS, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2015; GRIESANG; FERREIRA; 2021).

Na maioria dos modelos de pontas disponíveis, o processo de formação de gotas é condicionado pela passagem de uma solução pressurizada por um pequeno orifício, resultando na formação de uma fina lâmina líquida, que se torna instável e se desintegra em gotas de diferentes tamanhos (MATTHEWS *et al.*, 2014) e, apesar do tamanho de gota estar muito condicionado à ponta de pulverização, fatores como a pressão de trabalho e as propriedades físicas da calda podem influenciar nesse resultado (LOPES; REIS, 2020).

Herbicidas que atuam de forma sistêmica, em pós-emergência das plantas daninhas, são menos dependentes do nível de cobertura, pelo fato de que possuem a capacidade de se translocar pelos tecidos da planta atingida até os sítios de ação e, por isso, podem ser aplicados com gotas muito grossas ou extremamente grossas. Por outro lado, para herbicidas com baixa sistematicidade ou para situações de alta densidade populacional de plantas, com plantas menores protegidas por plantas maiores (efeito guarda-chuva), a utilização de gotas médias e grossas pode ser necessária (BUTTS *et al.*, 2018; CAVENAGHI; CARBONARI, 2019; GRIESANG; FERREIRA; 2021).

A densidade de gotas (número de gotas depositadas por área) é um parâmetro importante na aplicação de herbicidas pós-emergentes e é determinada pela associação entre o tamanho de gota e o volume de aplicação. De acordo com a literatura técnica, densidades de gotas de 30 a 40 gotas cm^{-2} são suficientes para herbicidas pós-emergentes (MATTHEWS, 2014). Caso seja necessário, é possível ajustar o tamanho de gotas e o volume de aplicação para atingir a densidade de gotas desejada, optando pela utilização de gotas menores ou aumentando o tamanho de gotas e o volume de aplicação (CAVENAGHI; CARBONARI, 2019). É importante ressaltar que o uso de densidades de gotas adequadas pode garantir a uniformidade na distribuição do herbicida sobre a área tratada, evitando falhas no controle de plantas daninhas e minimizando possíveis danos às culturas.

O tamanho de gotas é classificado por intervalos de diâmetro mediano volumétrico e pelo potencial de deriva (Tabela 2). A classificação foi baseada em um padrão desenvolvido pelo *British Crop Protection Council* (SOUTHCORBE *et al.*, 1997), atualizado e aprovado pela American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), produzindo a norma de classificação de tamanho de gota S572.1 (ANSI/ASABE S572.1, 2009).

Tabela 2. Classes de gota por intervalos de Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV).

Classe	Amplitude de DMV (μ)	Recomendação	Potencial de deriva
Extremamente Fina	<60	exceções	alto
Muito Fina	61-105	exceções	alto
Fina	106-235	necessidade de boa cobertura	alto
Média	236-340	maioria dos produtos	médio
Grossa	341-403	herbicidas sistêmicos	baixo
Muito Grossa	404-502	herbicidas no solo	baixo
Extremamente Grossa	503-665	fertilizantes líquidos	baixo
Ultra Grossa	>665	fertilizantes líquidos	baixo

Fonte: Adaptado de ASABE S572.1 Droplet Size Classification (2009).

Durante décadas, no Brasil, tem sido comum utilizar um volume de 200 L.ha⁻¹ para o tratamento fitossanitário de culturas graníferas (ALMEIDA *et al.*, 2014). No entanto, a tendência atual é reduzir o volume de aplicação, visando aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores e diminuir as perdas por escoamento (CONTIERO *et al.*, 2018). Vale ressaltar que essa redução implica na necessidade de utilizar gotas menores para atingir o mesmo nível de cobertura, o que aumenta os riscos de deriva e contaminação ambiental.

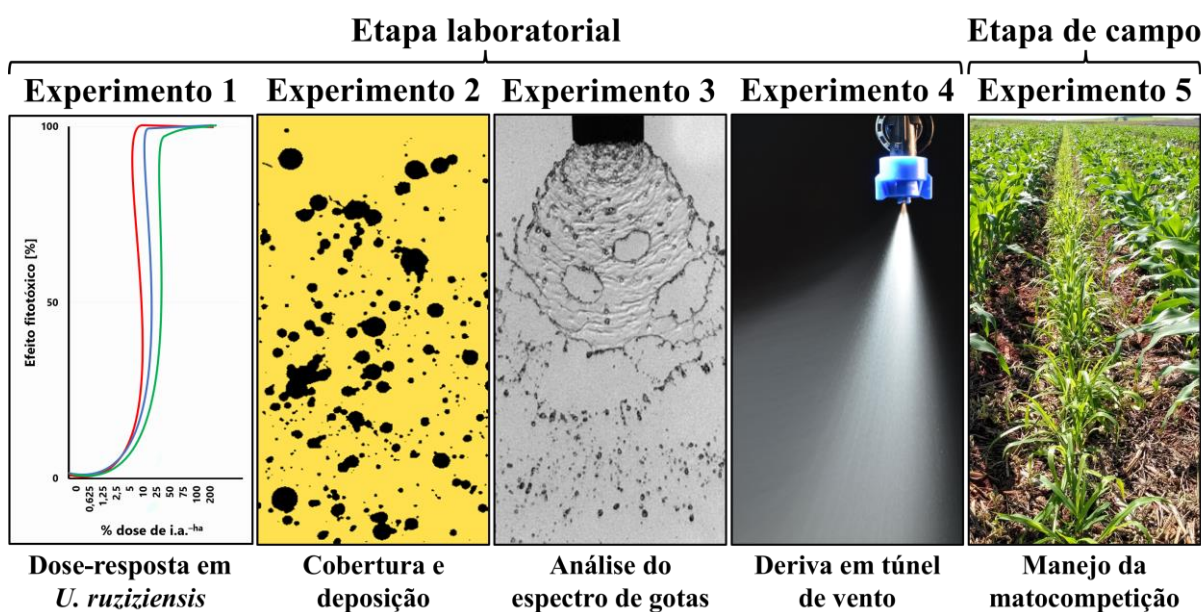
Alguns estudos na literatura apontam que a redução do volume de aplicação pode favorecer o controle de algumas coberturas vegetais, uma vez que a maior concentração de produto nas gotas acelera a penetração do produto na cutícula que reveste as folhas (ALMEIDA *et al.* 2015; CONTIERO *et al.*, 2018). Essa aceleração pode ser explicada pelo aumento da concentração do produto na calda, resultante da redução do volume de aplicação. No entanto, a redução do volume de aplicação também pode afetar a eficiência do controle fitossanitário, especialmente quando a redução do volume leva a uma diminuição no tamanho das gotas, aumentando o risco de deriva e evaporação antes que as gotas atinjam o alvo desejado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral dos experimentos

Foram realizados cinco experimentos, divididos em duas etapas: laboratorial e de campo (Figura 1). Na etapa laboratorial, foram realizados quatro experimentos: dose-resposta em *U. ruziziensis* aos herbicidas atrazine e nicosulfuron de forma isolada e em mistura (Experimento 1); avaliação da capacidade de cobertura e deposição dos tratamentos (Experimento 2); avaliação das características dos espectros de gotas dos tratamentos (Experimento 3) e avaliação do potencial de deriva dos tratamentos em túnel de vento (Experimento 4). Na etapa de campo, foi realizado um experimento, em duplicata, que consistiu em verificar a interferência de diferentes classes de gota e volumes de aplicação no efeito da mistura de atrazine e nicosulfuron, no manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária (Experimento 5).

Figura 1 - Representação visual dos cinco experimentos realizados.



Fonte: Elaboração própria.

Os tratamentos utilizados na realização dos experimentos de avaliação da capacidade de cobertura, de deposição, das características dos espectros de gotas, do potencial de deriva e no experimento de campo (exceto testemunhas), estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Classes de gota, volumes de aplicação, modelos de ponta e fabricantes, tipos de jato e pressões de trabalho dos tratamentos utilizados.

Classes de gota ¹	Volumes de aplicação (L.ha ⁻¹)	Modelos de ponta	Fabricantes	Tipos de jato ²	Pressões de trabalho (bar)*
F77	77	ADGA 01	MagnoJet®	JP	2,0
M77		AD 01	MagnoJet®	JP	2,0
G77		ST 01	MagnoJet®	JP	2,0
MG77		AD-IA 007	MagnoJet®	JP IA	3,5
F144	144	XR 110015	TeeJet®	JP	3,1
M144		TT 110015	TeeJet®	JP	3,1
G144		AIXR 110015	TeeJet®	JP IA	3,1
MG144		AIXR 11002	TeeJet®	JP IA	1,8

Nota: Legenda: Tratamentos F77, M77, G77 e MG77: classes de gota Fina, Média, Grossa e Muito Grossa, no volume de aplicação de 77 L.ha⁻¹; F144, M144, G144 e MG144: classes de gota Fina, Média, Grossa e Muito Grossa, no volume de aplicação de 144 L.ha⁻¹; JP: Jato plano; JP IA: Jato plano com indução de ar.

¹Classes de gota informadas pelo catálogo dos fabricantes nas pressões de trabalho utilizadas. Fonte: Próprio autor.

Em todos os experimentos foram utilizados os herbicidas ACLAMADOBR (atrazine) e NICO (nicosulfuron), com adição do marcador corante Azul brilhante FCF (Brastok) em dois dos experimentos: Experimento 2 e Experimento 4. A Tabela 4 apresenta as principais características dos herbicidas utilizados nos experimentos, incluindo nome comercial, ingrediente ativo, concentração, formulação e classe.

Tabela 4. Principais características dos herbicidas utilizados.

Produto comercial (p.c.)	Ingrediente ativo (i.a.)	Concentração (g i.a. L ⁻¹ p.c.)	Formulação	Classe
AclamadoBR	atrazine	500	Suspensão concentrada (SC)	Seletivos de ação sistêmica
Nico	nicossulfuron	40	Dispersão de óleo (OD)	

Nota: Legenda: g i.a. L⁻¹ p.c.: gramas de ingrediente ativo por litro de produto comercial. Informações retiradas das bulas dos produtos. Fonte: Próprio autor.

A Tabela 5 apresenta os dados referentes às condições meteorológicas durante a realização das aplicações nos experimentos, obtidas por meio de termo-higrômetro-

anemômetro e pela estação meteorológica *Campbell Scientific CR10X*, instalada na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, FCAT - UNESP (Figura 2 e Figura 3).

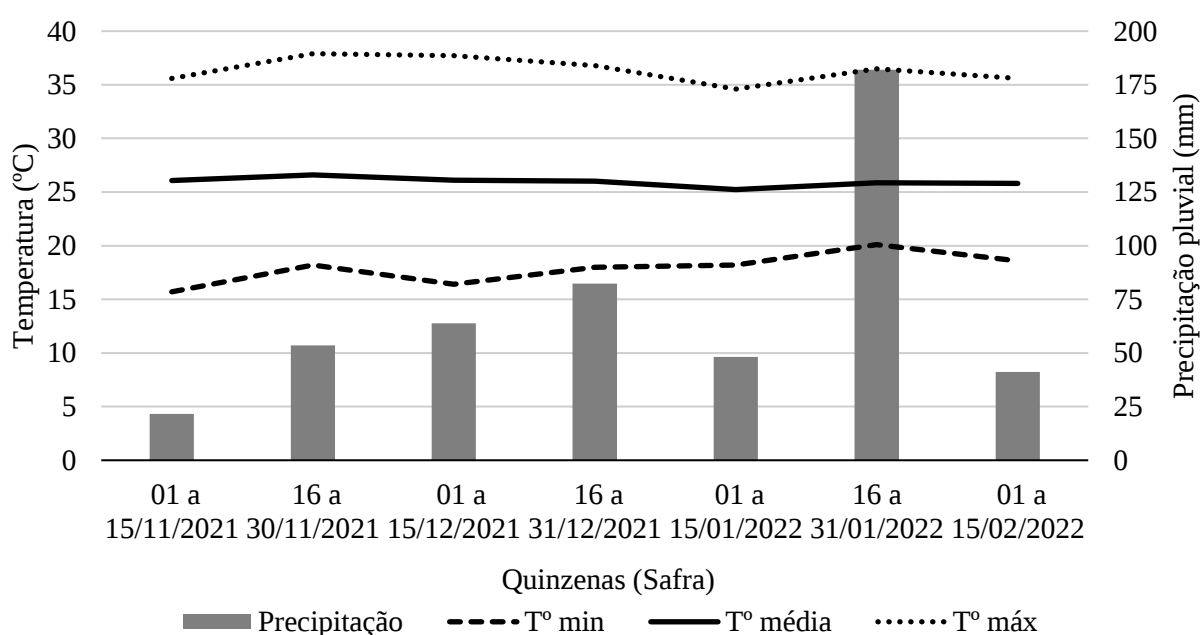
Tabela 5. Condições meteorológicas no momento das aplicações dos tratamentos.

Dados meteorológicos ¹	Experimento					
	DR ²	DC ²	AEG ²	DTV ²	EC1 ³	EC2 ³
Temperatura (°C)	30	29	23	25	29	30
Umidade Relativa do ar (%)	62	50	63	70	58	56
Velocidade do vento (m s ⁻¹)	SF ⁴	SF ⁴	SF ⁴	2,50 ⁵	1,67	1,94

Nota: Legenda: DR: Dose-resposta em *U. ruziziensis*; DC: Deposição e cobertura; AEG: Análise dos espectros de gotas; DTV: Deriva em túnel de vento; EC1: Experimento de Campo Safra; EC2: Experimento de campo – Safrinha.

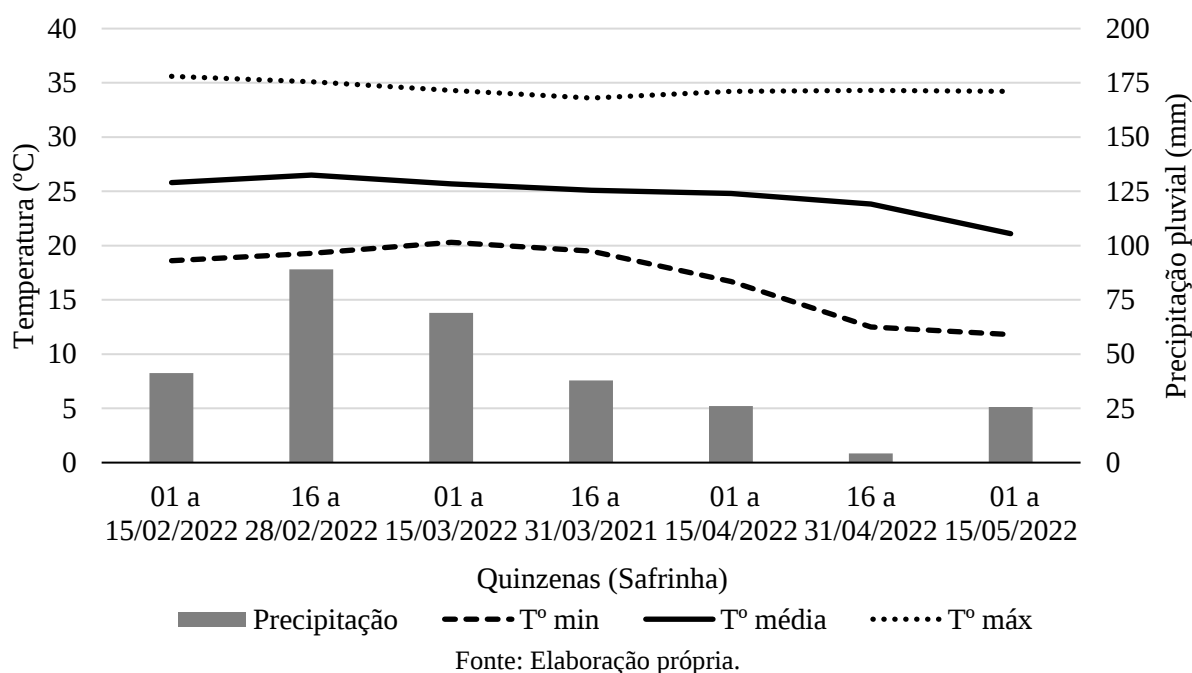
¹Média durante a aplicação; ²Dados obtidos por um termo-higrômetro digital; ³Dados da estação meteorológica Campbell Scientific Automatic Meteorological Station, Datalogger CR10X – FCAT – UNESP, Dracena-SP; ⁴SF: aplicação realizada em sala fechada; ⁵Velocidade constante. Fonte: Próprio autor.

Figura 2 - Dados meteorológicos quinzenais do período de condução do experimento de campo na área “Safra”, obtidos pela estação meteorológica *Campbell Scientific CR10X*.



Fonte: Elaboração própria. Fonte: Próprio autor.

Figura 3 - Dados meteorológicos quinzenais do período de condução do experimento de campo na área “Safrinha” obtidos pela estação meteorológica *Campbell Scientific CR10X*.



3.2 Etapa laboratorial

3.2.1 Experimento 1: Dose-resposta de *U. ruziziensis* aos herbicidas atrazine e nicosulfuron

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Aplicação do Núcleo de Estudos em Tecnologia de Aplicação (NETA), na FCAT – UNESP, Campus de Dracena/SP.

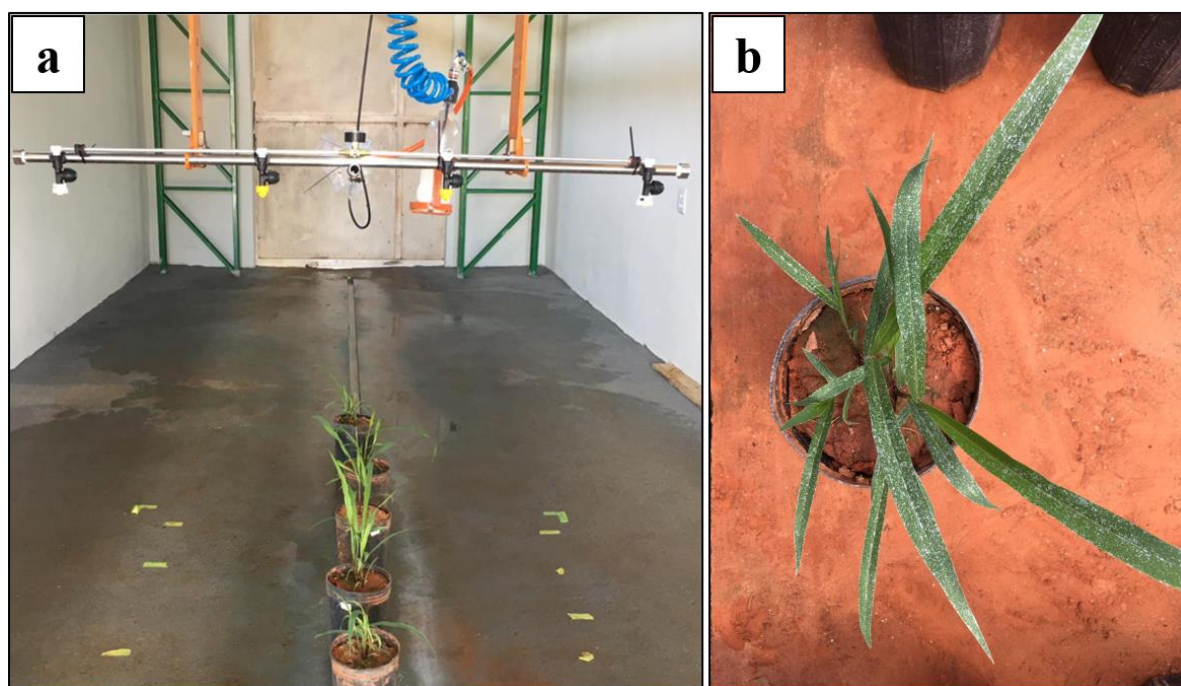
O experimento, foi realizado no delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições (vaso com duas plantas) e consistiu em elaborar curvas de dose-resposta, dos herbicidas atrazine e nicosulfuron, de forma isolada e em mistura, na forrageira *U. ruziziensis*, com o objetivo de quantificar o efeito dos herbicidas na forrageira e determinar uma dose de trabalho para os demais experimentos.

Sementes comerciais de *U. ruziziensis* foram semeadas a 1 cm de profundidade em vasos de polietileno com capacidade de 2,6 L, na quantidade de 20 sementes por vaso, preenchidos com terra peneirada. No 14.º dia após a emergência (DAE), as plantas foram desbastadas, mantendo-se duas por vaso. Os vasos foram mantidos em uma estufa agrícola e irrigados diariamente por um sistema de microaspersão, mantendo o solo dos vasos na capacidade de campo. No 25.º DAE – plantas com dois perfilhos, foram aplicados os herbicidas atrazine (ACLAMADOBR) e nicosulfuron (NICO), de forma isolada, nas doses de 200%;

100%; 75%; 50%; 25%; 12,5%; 6,25%; 3,125% e 0%, e em mistura, nas doses de 200% + 200%; 100% + 100%; 75% + 75%; 50% + 50%; 25% + 25%; 12,5% + 12,5%; 6,25% + 6,25%; 3,125% + 3,125% e 0% + 0 %, da dose máxima recomendada pelas bulas dos produtos (2500 g i.a. ha⁻¹ para atrazine e 60 g i.a. ha⁻¹ para nicosulfuron) para o controle de plantas daninhas na cultura do milho.

As pulverizações foram realizadas na velocidade de 5 km.h⁻¹ por um pulverizador estacionário pressurizado por ar comprimido, sob pressão constante de 1,2 bar, em sala fechada, equipado com duas pontas de pulverização de jato plano (XR 80025), espaçadas em 0,5 m e posicionadas à 0,75 m acima das plantas, proporcionando a taxa de aplicação de 150 L.ha⁻¹ (0,625 L.min⁻¹), em todos os tratamentos (Figura 4).

Figura 4 - Aplicação tratamentos pelo pulverizador estacionário (a) e exemplo de planta de *U. ruziziensis* após a aplicação (b).



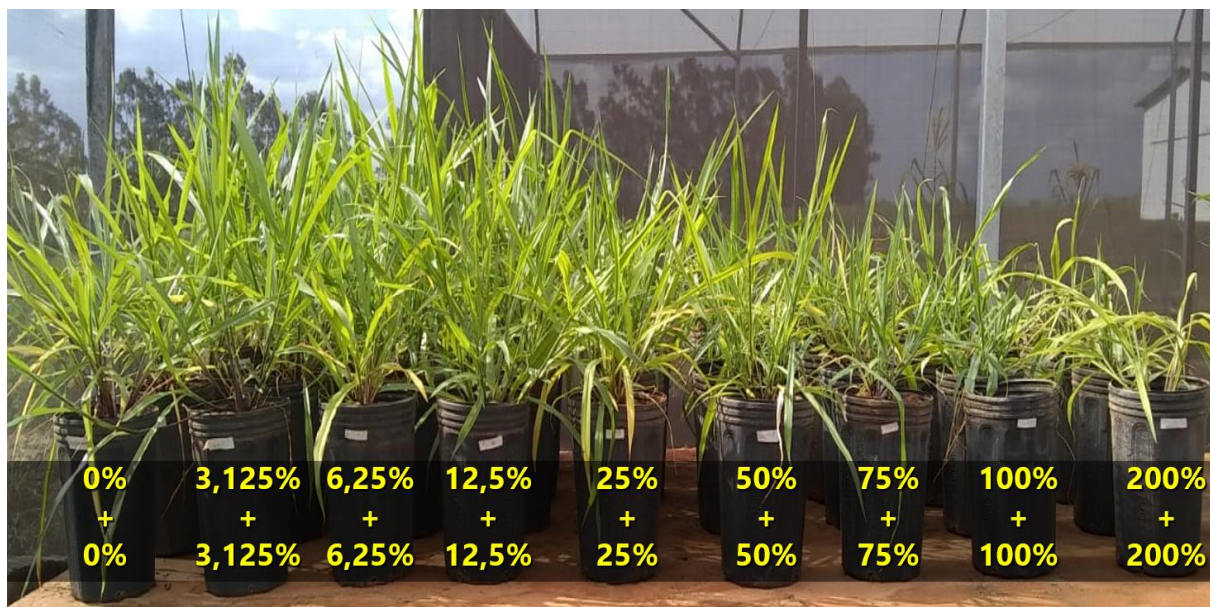
Fonte: Elaboração própria.

A fitotoxicidade foi mensurada por avaliações visuais no 21.º dia após a aplicação (DAA) dos tratamentos (Figura 5), por comparação entre plantas, considerando os critérios estabelecidos por SBCPD (1995) (Tabela 6) e pela análise da massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de cada tratamento.

Para a análise da MSPA, as plantas foram cortadas rente ao solo no 28.º DAA e encaminhadas para estufa com circulação de ar (modelo TE – 394/3) a 65 °C por 96 horas. Após

a secagem, a MSPA das plantas foi aferida em balança analítica com precisão de leitura de 0,001 g.

Figura 5 - Efeito fitotóxico observado em *U. ruziziensis* 21 DAA de misturas dos herbicidas atrazine e nicosulfuron em diferentes concentrações da dose recomendada.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6. Escala de notas utilizada para a avaliação visual de fitotoxicidade.

Conceito	Nota (%)	Observação
Muito Leve	0-5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na planta.
Leve	6-10	Sintomas nítidos, de baixa intensidade.
Moderada	11-20	Sintomas nítidos, mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21-35	Sintomas pronunciados, mas totalmente tolerados pela planta.
Preocupante	36-45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação.
Alta	46-60	Danos irreversíveis.
Muito Alta	61-100	Danos irreversíveis, muito severos. Nota 100 para morte da planta

Fonte: Adaptado de SBCPD (1995).

Para a obtenção das curvas de dose-resposta, os valores obtidos pela pesagem da MSPA da braquiária foram submetidos ao modelo log-logístico proposto por Seefeldt *et al.* (1995), conforme Equação 1:

$$Y = c + \frac{d - c}{1 + \exp\{b[\log(x) - \log(C_{50})]\}} \quad (1)$$

Na qual:

Y = resposta da porcentagem de fitotoxicidade;

x = dose do herbicida;

d = limite superior da curva;

c = limite inferior da curva;

b = declividade da curva e

C_{50} = dose necessária para proporcionar 50% de fitotoxicidade em relação às plantas sem aplicação do herbicida (controle).

As curvas de dose-resposta e os valores de C_{50} foram obtidos utilizando o pacote *drc* no *software R* (RITZ; STREIBIG, 2012). Foi realizado o teste *lack-of-fit* para verificar o ajuste da curva utilizando o modelo de três parâmetros, sendo aceito quando $p \geq 0,05$.

3.2.2 Experimento 2: Avaliação da capacidade de deposição e cobertura dos tratamentos

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Aplicação do Núcleo de Estudos em Tecnologia de Aplicação (NETA), na FCAT – UNESP, Campus de Dracena/SP.

As variáveis Deposição ($L \cdot ha^{-1}$), Cobertura (%) e Densidade de gotas (gotas cm^{-2}) foram analisadas no DIC, esquema fatorial 4×2 , considerando como fatores as classes de gota Fina, Média, Grossa e Muito Grossa e os volumes de aplicação de $77 L \cdot ha^{-1}$ ($0,32 L \cdot min^{-1}$) e $144 L \cdot ha^{-1}$ ($0,60 L \cdot min^{-1}$) com 30 repetições (placas de Petri de 14 cm de diâmetro) para análise da variável Deposição e seis repetições (cartões hidrossensíveis de $76 \times 26 mm$ - $19,76 cm^2$) para a análise das variáveis Cobertura e Deposição.

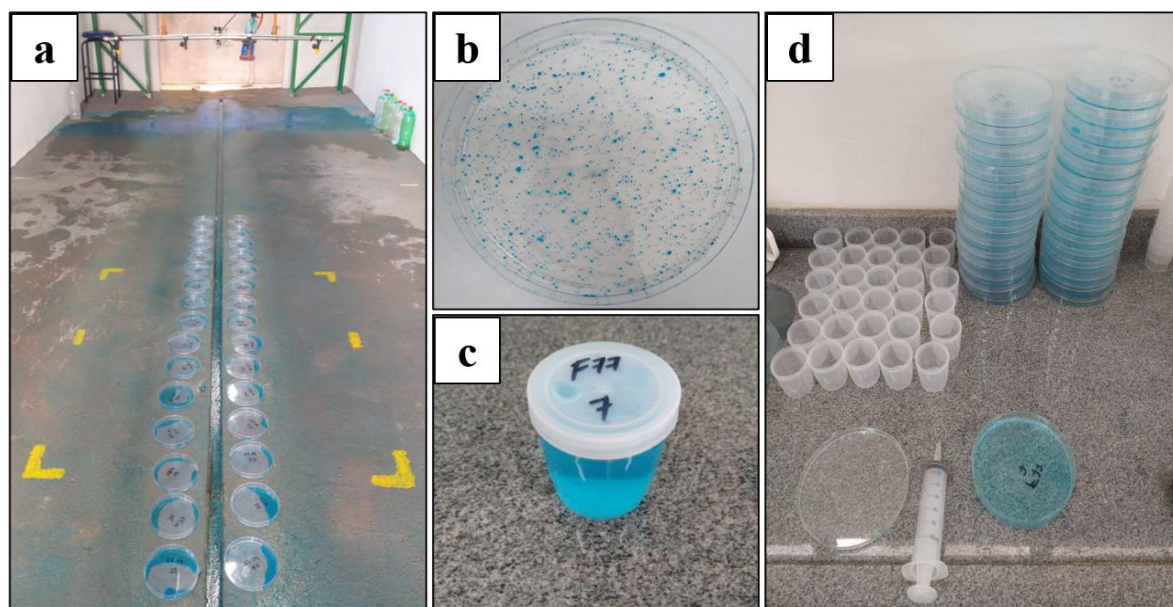
Os dados das variáveis foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando verificada a significância pelo teste F , ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para a comparação entre as médias, utilizando o pacote *ExpDes.pt* no *software R* (FERREIRA *et al.*, 2018). Para verificar a distribuição dos dados e comparação entre

tratamentos, foram construídos gráficos do tipo *boxplot* para as variáveis Cobertura e Densidade de Gotas utilizando os pacotes *ggplot2* (WICKHAM, 2016), *ggpubr* (KASSAMBARA, 2020) e *dplyr* (WICKHAM *et al.*, 2022).

As aplicações foram realizadas em sala fechada, por um pulverizador estacionário equipado com duas pontas de pulverização, espaçadas em 0,5 m, posicionadas a 0,75 m de altura em relação aos alvos. A calda utilizada, tanto para a avaliação da deposição, quanto para a avaliação da cobertura, foi composta pela a mistura dos herbicidas atrazine e nicosulfuron, nas doses de 2500 e 15 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, utilizando-se o marcador corante Azul Brilhante FCP (Brastóquio) na concentração de 2 g.L⁻¹, somente na avaliação de deposição.

Na Figura 6 (a) é possível visualizar a aplicação dos tratamentos em placas de Petri. A Figura 6b ilustra uma placa após a aplicação, enquanto a Figura 6c mostra a solução obtida pela lavagem de uma placa. A etapa de lavagem das placas é representada na Figura 6d.

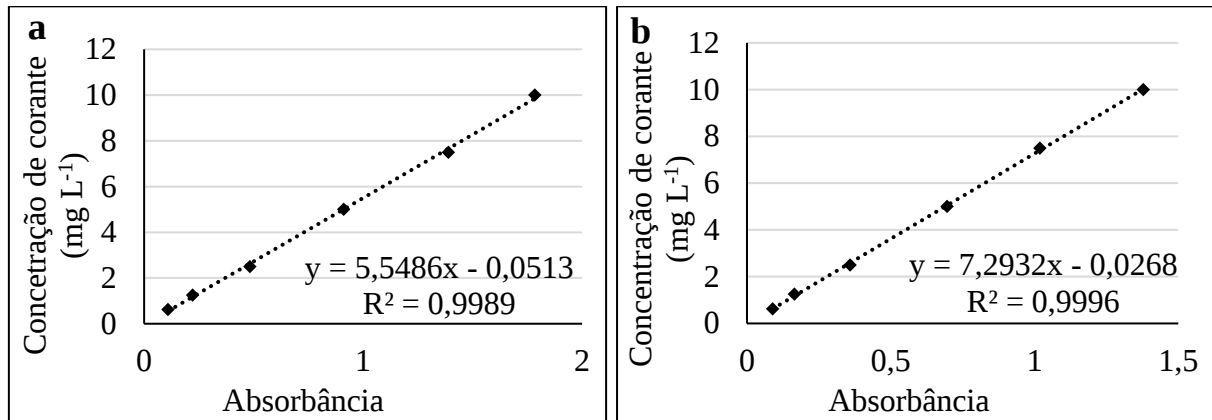
Figura 6 - Aplicação dos tratamentos em placas de Petri (a); placa pós-aplicação (b); solução obtida pela lavagem de uma placa (c); representação da etapa de lavagem das placas (d).



Fonte: Elaboração própria.

As placas foram lavadas com água destilada após a aplicação e a solução resultante foi analisada em espectrofotômetro (Kasuki modelo IL-220) a 630 nm. A concentração de corante (mg.L⁻¹) foi determinada a partir das absorvâncias das soluções, utilizando equações lineares previamente estabelecidas para as concentrações de 0,625; 1,25; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 mg.L⁻¹. A Figura 7 apresenta os resultados da análise da absorvância das soluções nos volumes de aplicação de 77 (Figura 7a) e 144 (Figura 7b) L.ha⁻¹.

Figura 7 – Relação entre concentração e absorbância das caldas utilizadas na aplicação dos volumes de 77(a) e 144 (b) L.ha⁻¹.



Fonte: Elaboração própria.

Com os valores de concentração de corante na calda, concentração da solução de lavagem das placas e volume de água utilizado para lavagem (68 mL por placa), foi determinado o volume de calda depositado nas placas, aplicando-se a Equação 2.

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1} \quad (2)$$

Na qual:

V_1 = volume retido pela placa (mL);

C_2 = concentração detectada no espectrofotômetro (mg.L⁻¹);

V_2 = volume de diluição da amostra (mL) e

C_1 = concentração inicial na solução de aplicação (mg.L⁻¹).

O volume capturado em cada placa dividido pela sua respectiva área de coleta (153,94 cm²), obtendo-se a quantidade depositada em mL.cm⁻² e convertida para L.ha⁻¹.

Para determinar a uniformidade de distribuição dos depósitos dos tratamentos os dados amostrais (X_i), foram padronizados, ordenados e, a partir deles, calculados a $\int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{x^2}{2}\right)}$, os quais foram tomados por x'_i para X'_i observações. Para cada tratamento, foi utilizado o ajuste de regressão logística (Equação 3).

$$Y = \frac{a}{1 + e^{b-cx}} \quad (3)$$

Na qual:

a = assíntota máxima da curva;

b = deslocamento da curva ao longo do eixo das abscissas (em módulo);

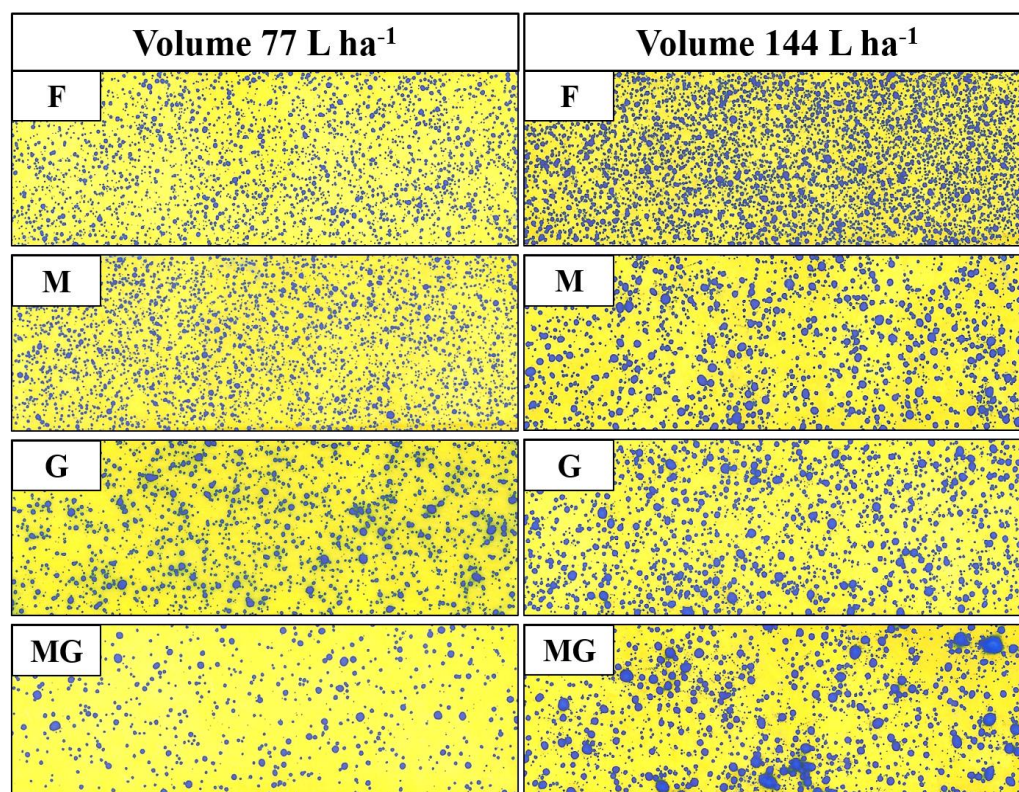
c = inclinação ou concavidade da curva em relação à frequência acumulada e

x = valor da deposição ($L \cdot ha^{-1}$)

Foi adotado o valor de aproximadamente 1 para o parâmetro “ a ” do modelo e a precisão do ajuste dos dados foi avaliada por meio dos coeficientes de determinação (R^2).

Os cartões hidrossensíveis foram escaneados em 600 dpi após a aplicação e as imagens obtidas (Figura 8) foram analisadas pelo *software* Gotas (EMBRAPA, 2020).

Figura 8 - Exemplos de imagens obtidas pelo escaneamento de cartões hidrossensíveis expostos à aplicação dos tratamentos Fina (F), Média (M), Grossa (G) e Muito Grossa (MG), nos volumes de aplicação de 77 e 144 $L \cdot ha^{-1}$.



Fonte: Elaboração própria.

3.2.3 Experimentos 3 e 4: Análise das características dos espectros de gotas e avaliação do potencial de deriva dos tratamentos em túnel de vento

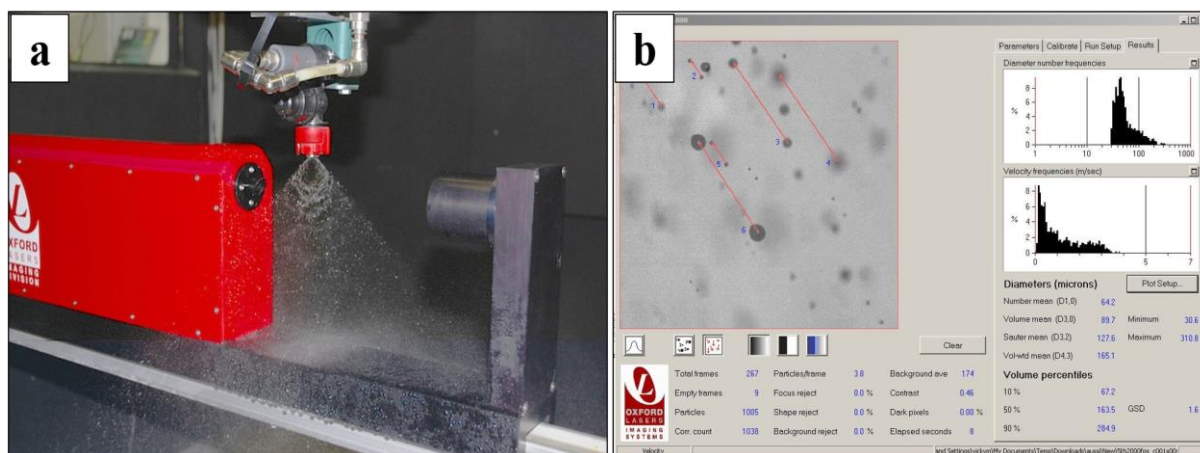
A análise das características dos espectros de gotas e do potencial de deriva dos tratamentos em túnel de vento foram realizadas no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA), na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, FCA - UNESP, Campus de Botucatu/SP.

Os experimentos foram realizados no DIC, esquema fatorial 4×2 , considerando como fatores as classes de gota Fina, Média, Grossa e Muito Grossa e os volumes de aplicação de 77 L.ha^{-1} ($0,32 \text{ L.min}^{-1}$) e 144 L.ha^{-1} ($0,60 \text{ L.min}^{-1}$), com cinco repetições (amostra de 10 mil gotas para análise das características dos espectros de gota ou cinco fios de nylon para a análise do potencial de deriva em túnel de vento).

Nos dois experimentos, a calda utilizada foi formulada utilizando água deionizada e os herbicidas atrazine e nicosulfuron, em mistura, nas doses de 2500 e $15 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, respectivamente. Para o experimento em túnel de vento foi adicionado à calda o marcador corante Azul Brilhante FCP (Brastóquio[®]), na concentração de 6 g.L^{-1} .

A análise do espectro de gotas foi realizada pelo sistema VisiSize P15 (Oxford Lasers, Imaging Division, Oxford, U.K.), que mensura via imagem o tamanho de partículas em tempo real (Particle/Droplet Image Analysis - PDIA), Figura 9, considerando como parcela experimental a quantidade aproximada de 10 mil gotas (KASHDAN *et al.*, 2003).

Figura 9 - Analisador de partículas por imagem modelo VisiSize (a) e print screen do software VisiSize Particle Sizing 6.0.



Fonte: Oxford (2023).

As variáveis analisadas do espectro de gotas foram os diâmetros volumétricos de 10%, 50% e 90% ($DV_{0,1}$; DMV e $DV_{0,9}$; respectivamente), percentual do volume amostrado em gotas menores que 100 μm (V_{100}) e amplitude relativa (AR), calculada pela Equação 4.

$$AR = \frac{DV_{0,9} - DV_{0,1}}{DMV} \quad (4)$$

Na qual:

AR = amplitude relativa (adimensional);

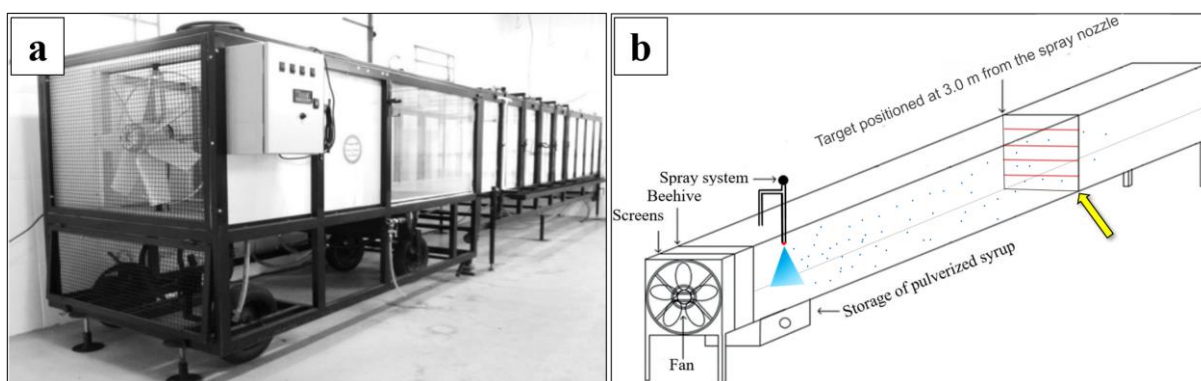
$DV_{0,1}$ = diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor (μm);

DMV = diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor (μm) e;

$DV_{0,9}$ = diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor (μm) (FERGUSON *et al.* 2015).

A avaliação do potencial de deriva foi realizada em túnel de vento de circuito aberto (ISO/DIS 22856-1, 2005), consistindo na captação da deriva gerada pela pulverização em alvos artificiais (fios de nylon), à distância de três metros da ponta de pulverização, sob fluxo laminar de ar na velocidade de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$, por 10 segundos (Figura 10). Após a pulverização, os fios de cada repetição foram recolhidos e submetidos à lavagem com 150 mL de água deionizada para a extração completa do corante.

Figura 10 - Foto (a) e representação esquemática (b) de um túnel de vento de circuito aberto evidenciando o suporte (seta) contendo os alvos artificiais (fios de nylon).



Fonte: França *et al.* (2017) (a) e adaptado pelo autor de Godinho Júnior *et al.* (2018) (b)

As soluções obtidas foram analisadas no comprimento de onda de 630 nm por um espectrômetro (Shimadzu UV-2600) ligado a um computador, com os dados de leitura processados pelo software UVProbe, que compara a absorbância das leituras das soluções com a absorbância de uma solução de concentração conhecida, obtendo assim, a estimativa do percentual de deriva (% Deriva) de cada tratamento.

Os dados de todas as variáveis foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando verificada a significância pelo teste F , ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para a comparação entre as médias, utilizando o pacote *ExpDes.pt* no *software R* (FERREIRA *et al.*, 2018). Além disso, entre as variáveis de aplicação (DMV, AR, V100, Deriva, Cobertura, Densidade de gotas e Deposição), foram calculados coeficientes de correlação de Pearson (r) com base na Equação 5.

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

Na qual:

r : coeficiente de correlação de Pearson ($-1 < r < 1$);

x e y : valor das variáveis sob comparação e

$\bar{x}$ e $\bar{y}$: médias amostrais dos conjuntos de dados.

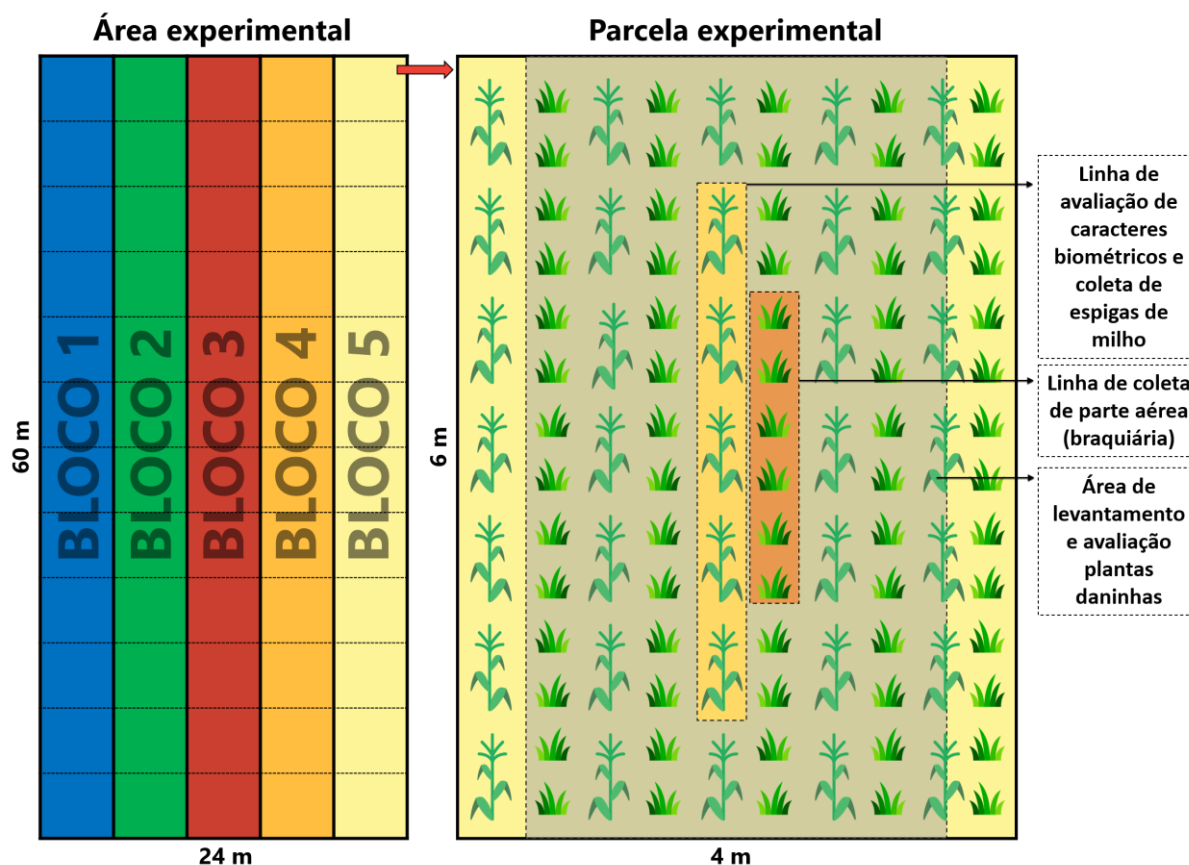
Considerando: $r = 1$; correlação positiva perfeita entre as duas variáveis; $r = -1$; correlação negativa perfeita entre as duas variáveis; $r = 0$; correlação nula entre as variáveis. A categorização para outros valores de r , sugerido por Callegari-Jacques (2009) é para $0 < r \leq |0,3|$ = fraca; $|0,3| < r \leq |0,6|$ = moderada; $|0,6| < r \leq |0,9|$ = forte e $|0,9| < r < |1|$ = muito forte. A partir dos resultados obtidos, foram construídas matrizes de correlação utilizando o pacote *corrplot* (WEI; SIMKO, 2021), no *software R* considerando o coeficiente de correlação de Pearson a 1, 5 e 10% de probabilidade.

3.3 Etapa de campo

3.3.1 Experimento 5: Interferência de classes de gota e volumes de aplicação no efeito da mistura de atrazine com nicosulfuron no manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária

A etapa de campo foi constituída de um experimento realizado em duplicata. A semeadura do primeiro experimento ocorreu em 26 de outubro de 2021 (Safrá) e a semeadura do segundo experimento ocorreu em 01 de fevereiro de 2022 (Safrinha), em áreas experimentais diferentes. O experimento foi realizado sob o delineamento de blocos casualizados (DBC), no esquema fatorial ($4 \times 2 + 4$), com 12 tratamentos e cinco repetições (parcela de 24 m² – Figura 11), tendo como primeiro fator as classes de gota: Fina, Média, Grossa e Muito Grossa e o segundo fator os volumes de aplicação de: 77 L.ha⁻¹ (0,32 L.min⁻¹) e 144 L.ha⁻¹ (0,60 L.min⁻¹) + quatro testemunhas: parcela não capinada (sem controle de plantas daninhas), parcela capinada, somente *U. ruziziensis* (capinada) e somente milho (capinada).

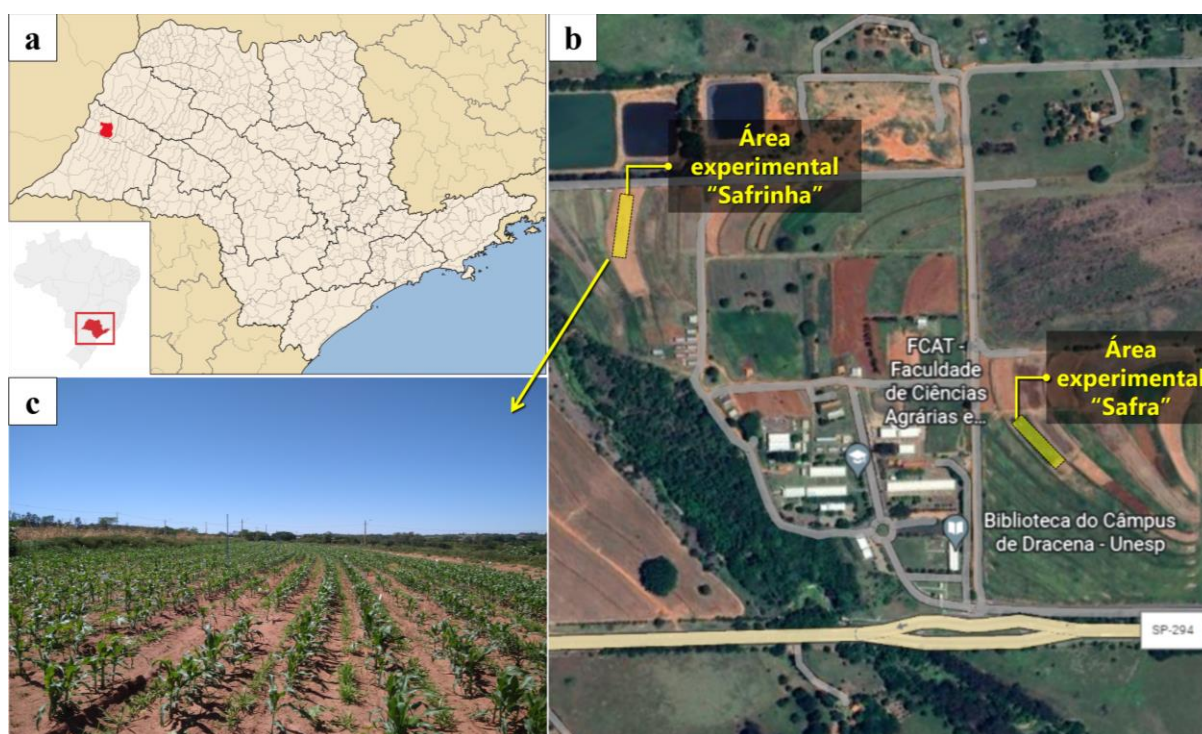
Figura 11 - Representação esquemática de uma área experimental com parcela em destaque.



Fonte: Elaboração própria.

Os experimentos foram conduzidos em áreas experimentais da FCAT – UNESP, Campus de Dracena/SP (21°46'S, 51°55'W, altitude de 420 m – Figura 12). O clima da região é predominantemente do tipo Aw, (clima equatorial/tropical com estação seca) pela classificação de Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.* 2006), com médias de temperatura de 23,97°C, umidade relativa do ar de 64,23% e precipitação pluvial de 1261 mm ano⁻¹. O solo local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, segundo os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.* 2018).

Figura 12 - Localização geográfica do experimento – Dracena/SP (a) localização das áreas experimentais (b) e área experimental com o experimento instalado (c).



Fonte: Elaboração própria.

O manejo fitossanitário da área, no que diz respeito ao controle de pragas e doenças, foi realizado utilizando produtos registrados para a cultura (milho) e irrigações de salvamento, via aspersão, foram realizadas em períodos críticos de déficit hídrico.

O experimento “Safrã” foi realizado em uma área com histórico de ocupação por *Urochloa brizantha*. O solo foi preparado convencionalmente, na camada 0-20 cm, 60 dias pré-semeadura, com aração, distribuição de calcário e gradagem. A dose de calcário (0,84 t ha⁻¹ – PRNT = 85%) foi determinada pelo método de saturação por bases (Equação 6) objetivando atingir a saturação por bases de 70%, baseando-se na análise do solo da área (Tabela 7). O experimento “Safrinha” foi realizado em uma área com histórico de ocupação pelo consórcio

milho-braquiária. Do mesmo modo, o solo foi preparado convencionalmente com aração e gradagens. Considerando os dados de saturação por bases de 76% (Tabela 7), a área não necessitou de calagem. Um dia antes das semeaduras de cada área, foram realizadas gradagens niveladoras objetivando a sistematização do terreno e o destorroamento superficial do solo.

Tabela 7 - Atributos químicos do solo, na camada 0-20 cm, das áreas experimentais “Safrá” e “Safrinha”.

Área experimental “Safrá”									
Amostra (cm)	pH	M.O.S. (g.dm ⁻³)	P (resina) --(mg.dm ⁻³)--	K	Al ³⁺ ----- (mmol _c .dm ⁻³) -----	Ca	Mg	CTC	V (%)
0-20	5.2	15	16	1,9	0	11	5	35,9	50
	Área experimental “Safrinha”								
	5.9	14	11	3,0	0	21	13	49	76

Nota: Legenda: M.O.S = matéria orgânica do solo; CTC = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = saturação por bases. Fonte: Próprio autor.

$$NC = \frac{(V_e - V_a) * T}{10 \times PRNT} \quad (6)$$

Na qual:

NC = Necessidade de calcário (t ha⁻¹);

Ve = Saturação por bases esperada (%);

Va = Saturação por bases do solo antes da calagem (%);

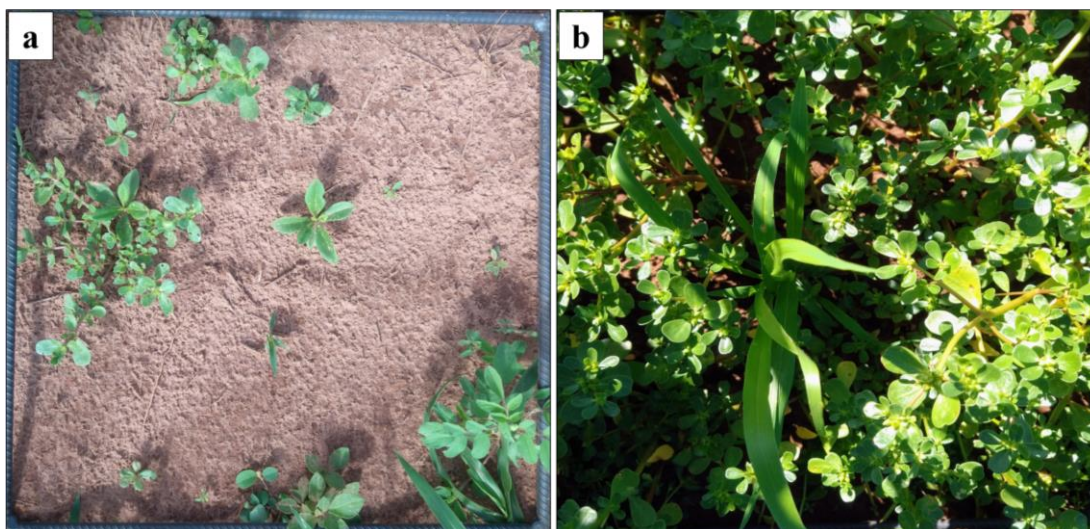
T = Capacidade de troca catiônica (pH 7,0) do solo antes da calagem (mmol_c dm⁻³) e

PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total do calcário (%).

As semeaduras do milho e da braquiária foram realizadas por semeadora mecanizada a cinco centímetros de profundidade, em linhas simples e alternadas de milho, cultivar MG711PW (Morgan[®]), e braquiária *U. ruziziensis* cv. *Ruziziensis*, no arranjo espacial de 0,90 m entrelinhas de milho e braquiária, objetivando a população de 50 mil plantas de milho e 100 mil plantas de braquiária ha⁻¹ (CECCON *et al.*, 2018). A adubação de semeadura foi realizada na linha do milho, nas quantidades de 30; 80 e 50 kg de N, P₂O₅ e K₂O ha⁻¹, respectivamente, com adubação nitrogenada e potássica em cobertura, nas doses de 60 e 20 kg ha⁻¹ de N e K, respectivamente, entre os estádios V6-V8 do milho (20-25 DAE) (DUARTE *et al.* 2022).

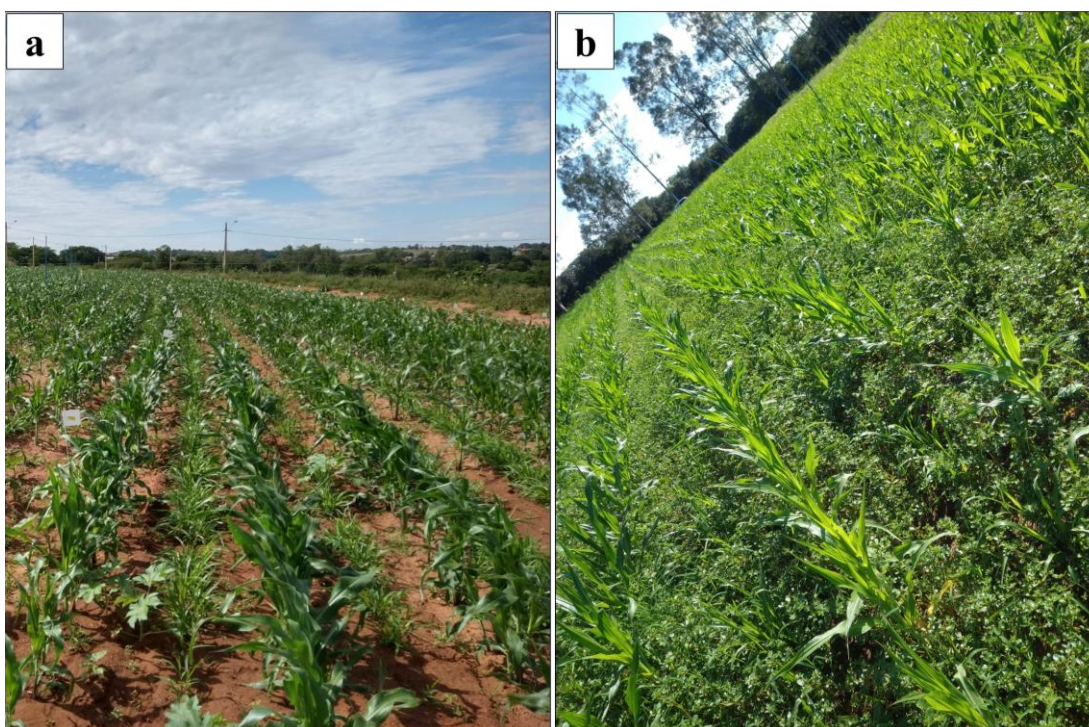
No 20.º DAE, foram realizados levantamentos fitossociológicos (Figura 13) utilizando um quadro de amostragem de 0,25 m², lançado 16 vezes em direções aleatórias (método do quadrado inventário). A Figura 14 retrata a condição das áreas experimentais 20 DAE do milho.

Figura 13 - Exemplos de quadros amostrais nas áreas experimentais “Safra” (a) e “Safrinha” (b) no 20.º DAE do milho.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 14 - Vista geral das áreas experimentais “Safra” (a) e “Safrinha” (b), 20 DAE.



Fonte: Elaboração própria.

As variáveis fitossociológicas: Frequência (F); Densidade (D); Abundância (A); Frequência Relativa (Fr); Densidade Relativa (Dr); Abundância Relativa (Ar); Índice de Valor

de Importância (IVI); Importância Relativa (IR) e Índice de Similaridade (IS) foram calculadas seguindo as Equações 7,8,9,10,11,12,13,14 e 15, propostas por Mueller-Dombois & ElleMBERG (1974) e Braun-Blanquet (1979).

$$\text{Frequência (F)} = \frac{\text{nº de quadros que contêm a espécie}}{\text{nº total de quadros obtidos (área total)}} \quad (7)$$

$$\text{Frequência Relativa (FR)} = \frac{100 \times \text{frequência da espécie}}{\text{frequência total de todas as espécies}} \quad (8)$$

$$\text{Densidade (D)} = \frac{\text{nº total de indivíduos por espécie}}{\text{nº total de quadrados obtidos (área total)}} \quad (9)$$

$$\text{Densidade Relativa (DR)} = \frac{100 \times \text{densidade da espécie}}{\text{densidade total de todas as espécies}} \quad (10)$$

$$\text{Abundância (A)} = \frac{\text{nº total de indivíduos por espécie}}{\text{nº total de quadrados que contém a espécie}} \quad (11)$$

$$\text{Abundância Relativa (AR)} = \frac{100 \times \text{abundância da espécie}}{\text{abundância total de todas as espécies}} \quad (12)$$

$$\text{Índice de Valor de Importância (IVI)} = FR + DR + AR \quad (13)$$

$$\text{Índice de VI Relativa (IVIR)} = \frac{100 \times IVI}{IVI \text{ total de todas as espécies}} \quad (14)$$

$$\text{Índice de similaridade (IS)} = \left(\frac{2a}{b + c} \right) \times 100 \times 100 \quad (15)$$

Na qual, em IS (Equação 15):

a = número de espécies comuns às duas áreas e

$b + c$ = número total de espécies das áreas comparadas.

Considera-se o IS, como uma estimativa do grau de semelhança na composição de espécies, variando de 0% a 100%, sendo 100% quando há similaridade total de espécies nas duas áreas e 0% quando não existem espécies em comum (SARMENTO *et al.*, 2015).

As aplicações foram realizadas na velocidade de 5 km h⁻¹, utilizando um pulverizador costal manual pressurizado por CO₂, com barra de pulverização com quatro bicos, espaçados em 0,5 m, na altura de 0,5 m em relação ao topo das plantas no 25.º DAE do milho (Figura 15).

Figura 15 - Aplicação da calda contendo a mistura dos herbicidas atrazine e nicosulfuron, no 25.º DAE do milho, utilizando um pulverizador costal pressurizado por CO₂.

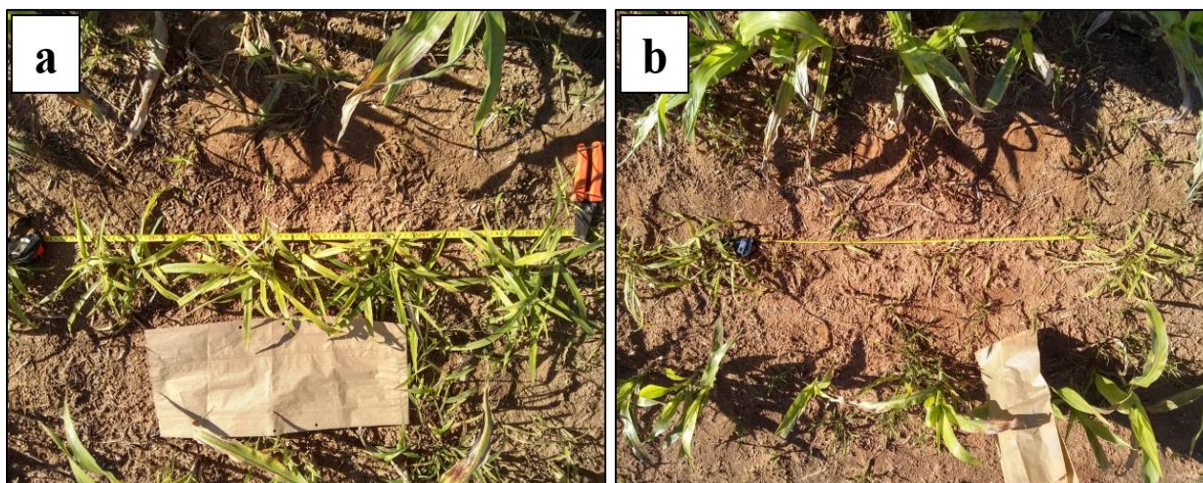


Fonte: Elaboração própria.

O nível de controle das espécies de plantas daninhas foi estimado por avaliações visuais de fitotoxicidade no 21.º DAA dos tratamentos, considerando os parâmetros da SBCPD (1995).

Para a mensuração do rendimento de massa seca da parte aérea (MSPA) da braquiária, coletou-se rente ao solo, por parcela experimental, 1,0 m da parte área da forrageira (MAKINO *et al.*, 2019) (Figura 16).

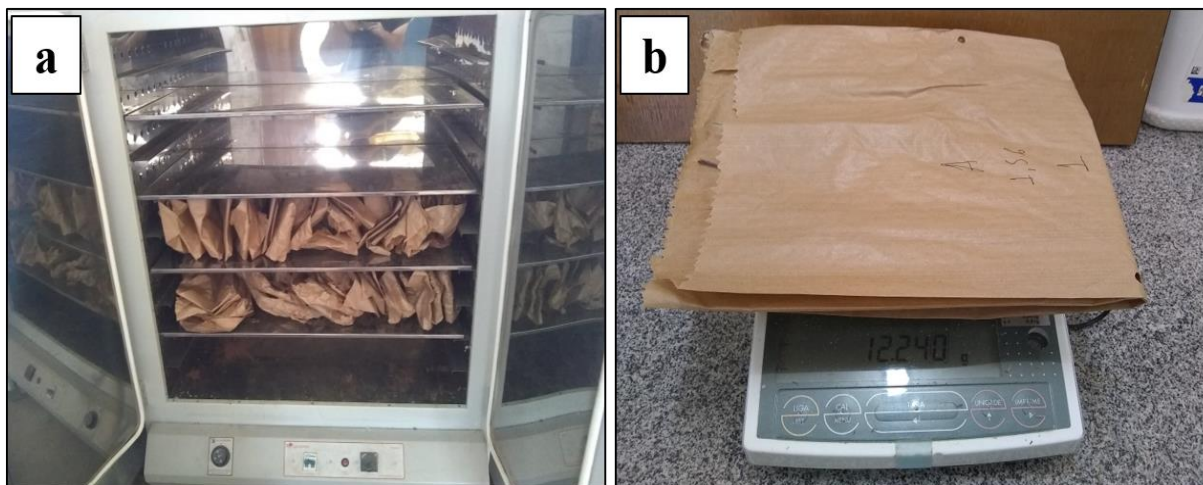
Figura 16 - Área de coleta da parte aérea de *U. ruziziensis* pré (a) e pós-coleta (b).



Fonte: Elaboração própria.

O conteúdo coletado nas parcelas foi colocado em sacos de papel identificados e secado em uma estufa com circulação de ar a 65°C por 96 horas. A massa da forragem de cada parcela foi medida, a massa do saco do papel descontada e o valor convertido para kg.ha⁻¹ (Figura 17).

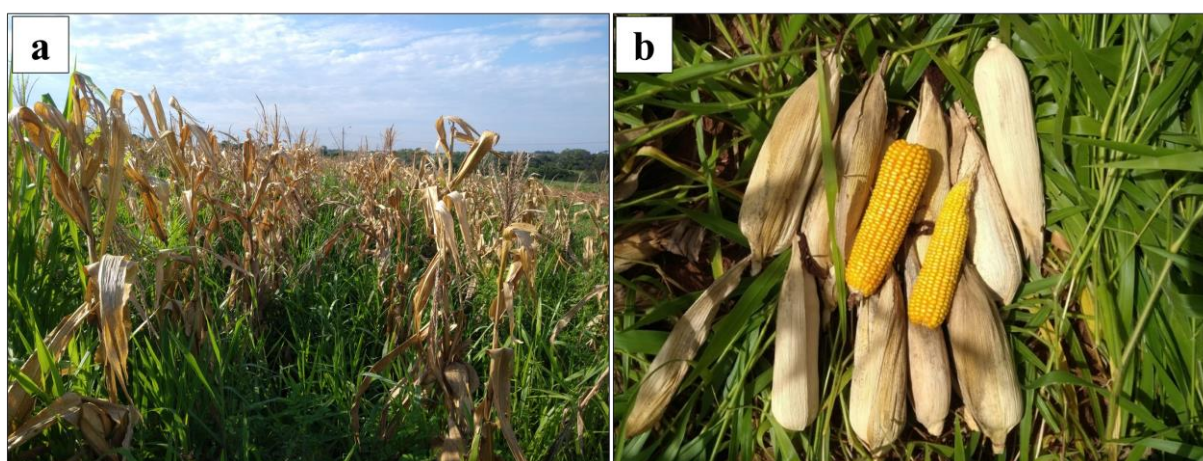
Figura 17 – Processo de secagem em estufa (a) e medição do peso (b) da MSPA da braquiária



Fonte: Elaboração própria.

No 21.º DAA, o diâmetro do colmo do milho no segundo internódio (DC - cm) e a altura da planta de milho (AP - cm) até a última folha totalmente expandida foram medidos em cinco plantas por parcela, utilizando uma fita métrica. A produtividade de grãos de milho (PROD) foi verificada no 115.º DAE (Figura 18a), pela coleta manual de 10 espigas nas linhas centrais de cada parcela (Figura 18b). As espigas foram debulhadas e o peso dos grãos medido em balança analítica e valor convertido para $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Figura 18–Área experimental 115 DAE (a) e amostra de espigas colhidas em uma parcela (b).



Fonte: Elaboração própria.

Os dados das variáveis foram submetidos à ANOVA e, quando verificada a significância pelo teste F , ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para a comparação entre as médias. Além disso, as médias dos tratamentos foram comparadas às testemunhas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, utilizando o pacote *Tratamentos.ad* no software *R* (AZEVEDO, 2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: Dose-resposta de *U. ruziziensis* aos herbicidas atrazine e nicosulfuron

Os parâmetros da equação da curva de dose-resposta herbicidas atrazine e nicosulfuron de forma isolada e em mistura, em plantas de *U. ruziziensis*, baseados na MSPA e fitotoxicidade visual, podem ser verificados na Tabela 8.

Tabela 8. Parâmetros de regressão ($\pm$ EP) do modelo log-logístico para a MSPA e fitotoxicidade visual de plantas de *U. ruziziensis*, pela aplicação dos herbicidas atrazine e nicosulfuron de forma isolada e em mistura, 21 DAA.

Tratamentos	Parâmetros da equação ¹			
	MSPA			
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>C</i> ₅₀ (g de i.a. ha ⁻¹)	<i>Lack-of-fit</i>
Atrazine	1.63e-4 (NA)	8,92 ($\pm$ 0,08)	51,38 ($\pm$ 1143,8)	0,00
Nicosulfuron	0,91 ($\pm$ 0,2)	5,77 ($\pm$ 0,44)	19,12 ($\pm$ 6,07)	0,06
Atrazine + Nicosulfuron	1,23 ($\pm$ 0,36)	5,78 ($\pm$ 0,4)	996,07 ($\pm$ 225,77) + 23,90 ($\pm$ 5,41)	0,09
	Fitotoxicidade visual			
Atrazine	-22,61 ($\pm$ 61,17)	3,99 ($\pm$ 0,46)	2380,84 ($\pm$ 321,07)	1,00
Nicosulfuron	-0,73 ($\pm$ 0,14)	61,2 ($\pm$ 8,8)	12,46 ($\pm$ 6,41)	0,01
Atrazine + Nicosulfuron	-0,59 ($\pm$ 0,21)	71,91 ($\pm$ 26,7)	878,73 ($\pm$ 1249,48) + 21,08 ($\pm$ 30,0)	0,00

Nota: $^1Y = c + \frac{d-c}{1+\exp\{b[\log(x)-\log(C_{50})]\}}$, no qual “*b*” representa a declividade da curva, “*d*” o limite superior da curva, “*c*” o limite inferior da curva e “*C*₅₀” a dose necessária para proporcionar 50% de fitotoxicidade em relação às plantas sem aplicação do herbicida (controle); EP: Erro padrão; NA: não atribuído; i.a.: ingrediente ativo. Fonte: Próprio autor.

Pode-se verificar, considerando os valores expressos na Tabela 8, que não houve ajuste da curva de dose-resposta (Figura 19a) aos valores de MSPA (*Lack-of-fit* < 0,05) para o herbicida atrazine, demonstrando baixa susceptibilidade de *U. ruziziensis* ao herbicida aplicado de forma isolada, hipótese reforçada pela curva de dose-resposta obtida a partir dos dados de fitotoxicidade visual (Figura 19b). A baixa supressão oferecida pelo atrazine provavelmente está relacionada a formação do conjugado atrazine-glutationa já documentado em várias espécies de gramíneas e, embora a atrazine possa afetar a via do FSII, esse efeito é geralmente

observado em plantas em estádios iniciais ou em aplicações em pré-emergência (GHENO *et al.*, 2021).

Quanto ao herbicida nicosulfuron, aplicado de forma isolada, verifica-se o ajuste da curva de dose-resposta (Figura 19a) aos dados de MSPA (*Lack-of-fit* > 0,05). O herbicida foi capaz de promover a redução da MSPA conforme o aumento da dose, obtendo-se a partir do modelo utilizado, o valor para C_{50} de $19,12 \pm 6,07$ g de i.a. ha^{-1} e, considerando os parâmetros obtidos a partir da análise da fitotoxicidade visual, Tabela 8 e Figura 19b, verifica-se que o herbicida foi capaz de promover uma resposta fitotóxica significativa, com aumento de sintomas de fitotoxicidade conforme o aumento da dose, obtendo-se a partir do modelo utilizado, o valor de $12,46 \pm 6,41$ g de i.a. ha^{-1} para C_{50} .

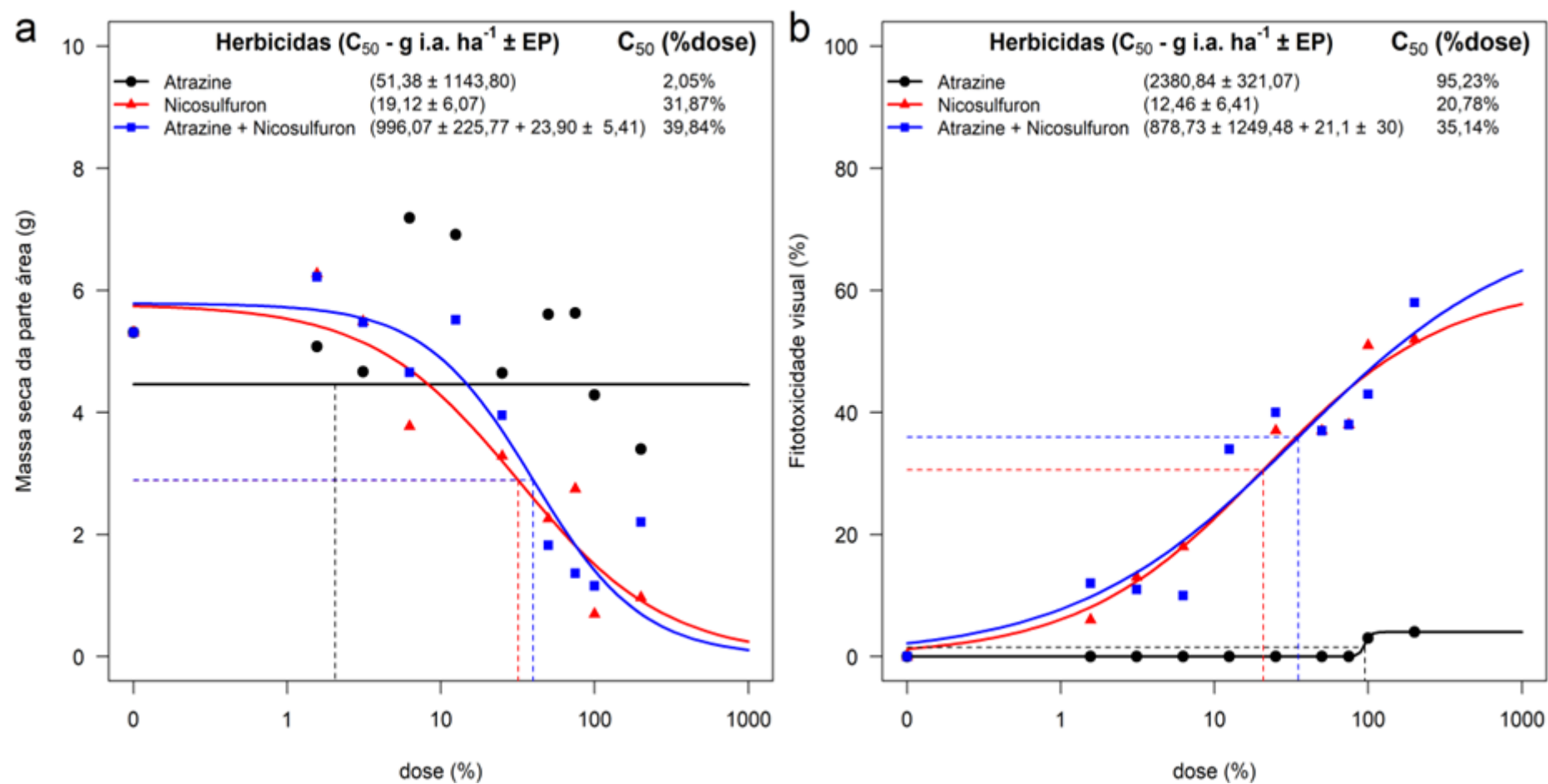
Analisando os resultados expressos na Tabela 8 e as curvas de dose-resposta baseadas na MSPA e fitotoxicidade visual (Figura 19a e Figura 19b, respectivamente), para a mistura dos herbicidas atrazine e nicosulfuron, verifica-se ajuste dos dados de MSPA à curva de dose-resposta (*Lack-of-fit* > 0,05) e valores de C_{50} , considerando a MSPA, para atrazine e nicosulfuron de $996,07 \pm 225,77 + 23,90 \pm 5,41$, respectivamente. Os valores de C_{50} , considerando a fitotoxicidade visual, para atrazine e nicosulfuron, foram de $878,73 \pm 1249,48 + 21,08 \pm 30,00$, respectivamente.

A interação entre herbicidas (mistura) pode promover efeito sinérgico, quando o efeito da mistura é maior que a soma dos efeitos dos herbicidas aplicados de forma isolada; aditivo, quando o efeito da mistura é igual soma dos efeitos isolados ou antagônico, quando o efeito da mistura é menor que a soma dos efeitos isolados dos herbicidas (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Considerando os valores de C_{50} obtidos, verifica-se que a mistura de atrazine e nicosulfuron desempenhou efeito antagônico em plantas de *U. ruziziensis* (maior C_{50} quando comparado aos herbicidas de forma isolada, considerando MSPA). Contudo, há de se considerar o amplo espectro de controle oferecido pela mistura e que, além do efeito sobre *U. ruziziensis*, também será verificado o nível de controle de plantas daninhas oferecido pela mistura no campo.

Baseando-se nos resultados obtidos, decidiu-se utilizar como dose de trabalho a mistura de atrazine e nicosulfuron nas doses de $2500 + 15$ g i.a. ha^{-1} (100% e 25% da dose máxima recomendada nas bulas dos produtos) respectivamente, para a condução dos demais experimentos, considerando que o herbicida atrazine, em sua dose máxima recomendada, não afetou significativamente a forrageira e um valor intermediário entre os valores de C_{50} verificados para a MSPA e fitotoxicidade visual para o herbicida nicosulfuron.

Figura 19 - Curvas de dose-resposta dos herbicidas atrazine, nicosulfuron e da mistura de atrazine com nicosulfuron em plantas de *U. ruziziensis* aos 21 DAA, baseadas na MSPA (a) e Fitotoxidade visual (b).



Fonte: Elaboração própria.

4.2 Experimento 2: Avaliação da capacidade de deposição e cobertura dos tratamentos

4.2.1 Deposição

A Tabela 9 apresenta os valores de *Fcalc* da análise de variância, referentes a variável Deposição, para os volumes de 77 e 144 L.ha⁻¹.

Tanto o fator classe de gota como o fator volume de aplicação, e interação entre os dois, foram significativas ($p < 0,01$). Dessa forma, procedeu-se o desdobramento do fator classe de gota dentro do fator volume de aplicação e vice-versa.

Tabela 9. Análise de variância, com valores de *Fcalc*, para a variável Deposição.

Fontes de variação	GL	<i>Fcalc</i>
Classe de gota (a)	3	8,7**
Volume de aplicação (b)	1	10416,4**
a × b	3	23,9**
CV (%)		7,56

Nota: “**” :significativo a 1% pelo teste *F*. Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 10 pode-se verificar a comparação entre as médias dos tratamentos para a variável Deposição, nos volumes de aplicação de 77 e 144 L.ha⁻¹.

Tabela 10. Comparação de médias¹ entre os tratamentos para a variável Deposição.

Classe de gota	Volume de aplicação (L.ha ⁻¹)	
	77 L.ha ⁻¹	144 L.ha ⁻¹
	Deposição (L.ha ⁻¹)	
Fina	46,98 Ba	118,08 Ab
Média	43,16 Bb	121,49 Aa
Grossa	33,23 Bd	122,88 Aa
Muito Grossa	38,08 Bc	119,57 Ab

Nota: ¹Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Próprio autor.

Analisando os resultados para o volume de 77 L.ha⁻¹ verifica-se que houve diferença significativa entre todas as classes de gota, com a classe de gota Fina expressando a maior média de deposição (46,98 L.ha⁻¹), seguida pelas classes de gota Média (43,16 L.ha⁻¹), Muito Grossa (38,08 L.ha⁻¹) e Grossa (33,23 L.ha⁻¹).

Considerando o volume de 144 L.ha⁻¹, verifica-se que não houve diferença significativa entre as maiores médias de deposição, promovidas pelas classes de gota Média e Grossa (121,49 e 122,88, respectivamente), seguidas pelas classes de gota Fina (118,08) e Muito Grossa (119,57), que também não apresentaram diferença significativa.

Os parâmetros estimados pelo modelo logístico (Equação 2), descrevem as características da deposição proporcionada pelas classes de gota, nos volumes de aplicação analisados. Todas as classes de gota, nos dois volumes de aplicação analisados, produziram um coeficiente de uniformidade maior que 0,90, o que denota um bom nível de ajuste dos dados ao modelo utilizado.

O parâmetro “c” diz respeito à inclinação da curva, ou seja, quanto maior seu valor, mais verticalizada é a curva e menor é amplitude dos valores de depósito. Em outras palavras, quanto maior o valor de “c” maior é a uniformidade dos depósitos de pulverização. A frequência acumulada dos depósitos de pulverização de todas as classes de gota, nos dois volumes de aplicação, pode ser verificada na Figura 20.

Considerando o parâmetro “c”, verifica-se, para o volume de aplicação de 77 L.ha⁻¹, que a classe de gota Muito Grossa, promoveu a maior uniformidade nos depósitos de pulverização (0,53) dentre todas as classes de gota, seguida da classe de gota Grossa (0,43) e das classes de gota Fina e Média, que apresentaram o mesmo grau de uniformidade (0,40).

No volume de 144 L.ha⁻¹, verifica-se um padrão inverso, as classes de gota Fina e Média foram as que apresentaram o maior valor para o parâmetro “c” (0,25), seguidas pelas classes de gota Grossa (0,20) e Muito Grossa (0,18), o que condiz com o apontado por Baesso *et al.* (2014), de que gotas pequenas apresentam melhor uniformidade de deposição.

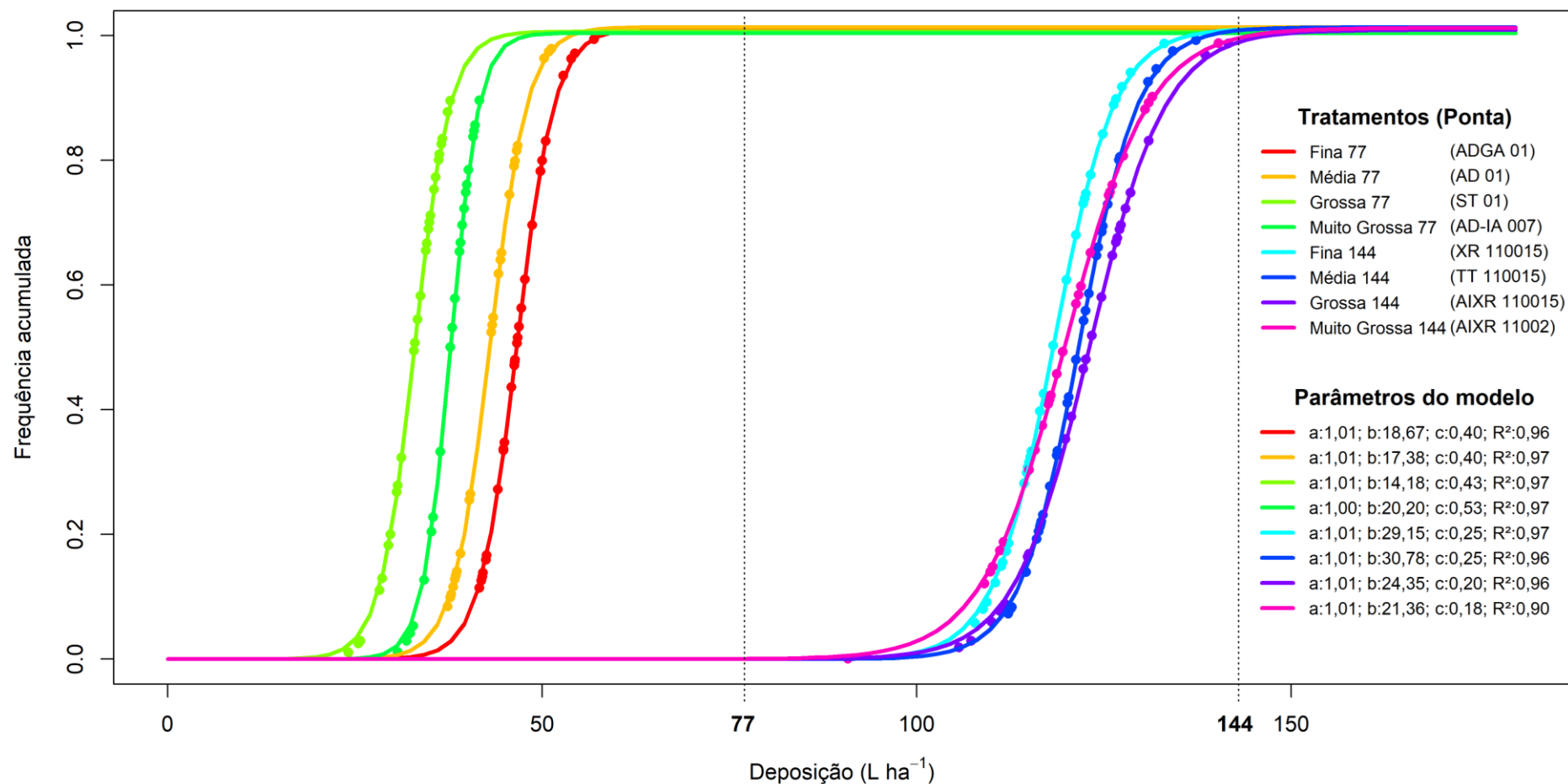
Baseando-se nas médias de volume depositado (Tabela 10) e grau de uniformidade dos depósitos expresso por cada classe de gota (Figura 20), para o volume de 77 L.ha⁻¹, verifica-se, apesar da deposição significativamente menor oferecida pela classe de gota Muito Grossa, especialmente quando comparada às classes de gota Fina e Média, um elevado grau de uniformidade dos depósitos, o que pode estar relacionado à tecnologia da ponta utilizada (indução de ar), verificado também por Sayinci & Bastaban (2011) em estudo analisando a uniformidade de distribuição dos depósitos promovidos por pontas de diferentes tecnologias

(jato plano padrão, jato cônico, indução de ar e jato duplo com indução de ar), no qual as pontas com indução de ar ofereceram as maiores médias de uniformidade dos depósitos.

As variáveis deposição e uniformidade são produtos da complexa interação entre vários fatores tal como o design tecnológico da ponta, a composição da calda, a pressão de trabalho, a distância da ponta ao alvo, a angulação do jato em relação à vertical, a velocidade de aplicação, as características da superfície do alvo e do espectro de gotas, o volume de aplicação, as condições meteorológicas, dentre outros. A distribuição de uma aplicação deve ser o mais uniforme possível, sob pena de ser necessário volume adicional ou nova aplicação, para compensar os pontos que não receberam a quantidade suficiente de calda (PERECIN *et al.*, 1998), o que além de complexo, implica em custos operacionais, ambientais e humanos, e em alguns casos pode afetar a cultura (SHAN *et al.*, 2021).

Os resultados obtidos por este experimento indicam que as maiores uniformidades foram obtidas, para todas as classes de gota, no volume de 144 L.ha⁻¹ em comparação às mesmas classes de gota no volume de 77 L.ha⁻¹. Contudo, por mais que a avaliação dos depósitos sobre os alvos seja um método representativo para se entender a qualidade de uma aplicação, outros fatores devem ser avaliados em conjunto, tal como a cobertura oferecida, o percentual de deriva e a eficácia de controle desejada (BAESSO *et al.*, 2014).

Figura 20 - Frequência acumulada dos depósitos de pulverização ($L \cdot ha^{-1}$), das classes de gota Fina, Média, Grossa e Muito Grossa, nos volumes de aplicação de 77 e 144 $L \cdot ha^{-1}$, a partir do ajuste dos dados pelo modelo logístico.



Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 Cobertura e Densidade de gotas

A Tabela 11 apresenta os valores de F_{calc} da análise de variância dos dados das variáveis Densidade de gotas e Cobertura.

Tabela 11. Análise de variância, com valores de F_{calc} , para as variáveis Densidade de gotas e Cobertura.

Fontes de variação	GL	Variáveis	
		Densidade de gotas	Cobertura
Classe de gota (a)	3	126,425**	92,99**
Volume (b)	1	49,324**	414,89**
a × b	3	12,825**	23,95**
CV (%)		10,92	9,31

Nota: “***” :significativo a 1% pelo teste F . Fonte: Próprio autor.

Pode-se verificar que tanto o fator classe de gota quanto o fator volume de aplicação, tal como a interação entre eles, foram significativos ($p < 0,01$) para as variáveis analisadas. Dessa forma, procedeu-se o desdobramento do fator classe de gotas dentro fator volume de aplicação e vice-versa. Os resultados do teste de comparação de médias entre os tratamentos podem ser verificados na Tabela 12.

Tabela 12. Comparação de médias¹ entre os tratamentos para as variáveis Densidade de gotas e Cobertura.

Volume (L.ha ⁻¹)	Classes de gota			
	Fina	Média	Grossa	Muito Grossa
	Cobertura (%)			
77	17,97 Ab	17,61 Ab	14,49 Bb	9,08 Cb
144	36,59 Aa	24,28 Ba	22,46 Ba	20,38 Ca
Volume (L.ha ⁻¹)	Densidade de gotas (gotas cm ⁻²)			
	Fina	Média	Grossa	Muito Grossa
	Cobertura (%)			
77	137,62 Bb	159,69 A	79,99 Cb	50,25 Db
144	180,29 Aa	146,08 B	114,10 Ca	93,49 Da

Nota: ¹Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna dentro de cada volume e variável diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Próprio autor.

As maiores médias para variável Cobertura foram verificadas, no volume de 77 L.ha⁻¹, nas classes de gota Fina (17,97%) e Média (17,61%), sem diferença significativa, seguidas pelas classes de gota Grossa (14,49%) e Muito Grossa (9,08%). No volume de 144 L.ha⁻¹, verifica-se a maior média de cobertura na classe de gota Fina (36,59%), seguida pelas classes de gota Média (24,28%) e Grossa (22,46%), que não diferem, e a menor média na classe de gota Muito Grossa (20,38%) e, considerando a diferença entre os volumes de aplicação, verifica-se que as médias de todos os tratamentos do volume de 144 L.ha⁻¹ foram superiores às médias dos tratamentos do volume de 77 L.ha⁻¹.

Analisando os resultados da variável Densidade de gotas, no volume de 77 L.ha⁻¹, verifica-se diferença significativa entre todas as classes de gota, com a maior média na classe de gota Média (159,69), seguida pelas classes de gota Fina (137,62), Grossa (79,99) e Muito Grossa (50,25). No volume de 144 L.ha⁻¹ também houve diferença significativa entre todas as classes de gota, contudo, verifica-se a maior média na classe de gota Fina (180,29), seguida pelas classes de gota Média (146,08), Grossa (114,10) e Muito Grossa (93,49). Na comparação entre volumes, verificam-se as maiores médias no volume de 144 L.ha⁻¹, exceto para a classe de gota Média, que não apresentou diferença significativa entre os volumes. A densidade de gotas recomendada para herbicidas pós-emergentes é de 30 a 40 gotas cm⁻² (MATTHEWS, 2014), valor atingido por todos os tratamentos.

Os resultados encontrados condizem com a teoria de que gotas menores são capazes de proporcionar maiores níveis de cobertura e densidade de gotas em função do maior número de gotas produzidas, enquanto que gotas maiores tendem a proporcionar baixas densidades e níveis de cobertura (SCHNEIDER *et al.*, 2013; QIN *et al.*, 2016).

Teoricamente, o tamanho de gota e o volume de aplicação são fatores relacionados à promoção da cobertura e desempenho de herbicidas, especialmente quando são utilizadas gotas menores e maiores volumes de aplicação (KNOCH *et al.*, 1994). Ferguson *et al.*, (2018), verificaram redução da eficácia de herbicidas de contato (paraquat e amitrole) com a redução do número de gotas, mas não de herbicidas sistêmicos (clodinafop, glyphosate e da mistura de imazamox com imazapyr). A porcentagem de cobertura exerce efeitos diferentes em herbicidas de contato ou sistêmicos, exigindo-se maiores níveis de cobertura para herbicidas de contato. Entretanto, nem sempre esse efeito é verificado (RAMSDALE & MESSERSMITH, 2001; ROBERT *et al.*, 2001), com casos em que gotas maiores e menores volumes de aplicação proporcionaram a eficácia biológica desejada, apesar da redução da cobertura, o que impõem a necessidade de estudos direcionados para verificar o melhor ajuste entre volume e cobertura no desempenho de um determinado herbicida ou mistura de herbicidas, especialmente os de ação

sistêmica, considerando aspectos relacionados à espécie-alvo, a arquitetura do dossel e mecanismo de ação do(s) herbicida(s) utilizado(s) (LEGLEITER; JOHNSON, 2016; WANG *et al.* 2019; SHAN *et al.*, 2021).

A aplicação de um determinado volume com gotas menores resulta em maior número de gotas (SHAN *et al.*, 2021), concordando com os resultados obtidos neste estudo, exceto para o volume de 77 L.ha⁻¹, no qual foi observado maior densidade de gotas na classe de gota Média (159,69 gotas.cm⁻²). Contudo, verifica-se a tendência de redução de densidade de gotas com o aumento do tamanho de gota entre todas as classes de gota no volume de 144 L.ha⁻¹. Ferguson *et al.*, (2015), analisando a deposição e a penetração da pulverização no dossel de *Avena sativa* L., com diferentes pontas e volumes de aplicação, verificaram aumento da densidade de gotas com o aumento do volume de aplicação de 50 para 100 L.ha⁻¹, em pontas classificadas na classe de gota Média, Grossa e Muito Grossa e a redução da densidade de gotas em pontas classificadas na classe de gota Fina, indicando que a relação entre volume de aplicação e densidade de gotas nem sempre é positiva.

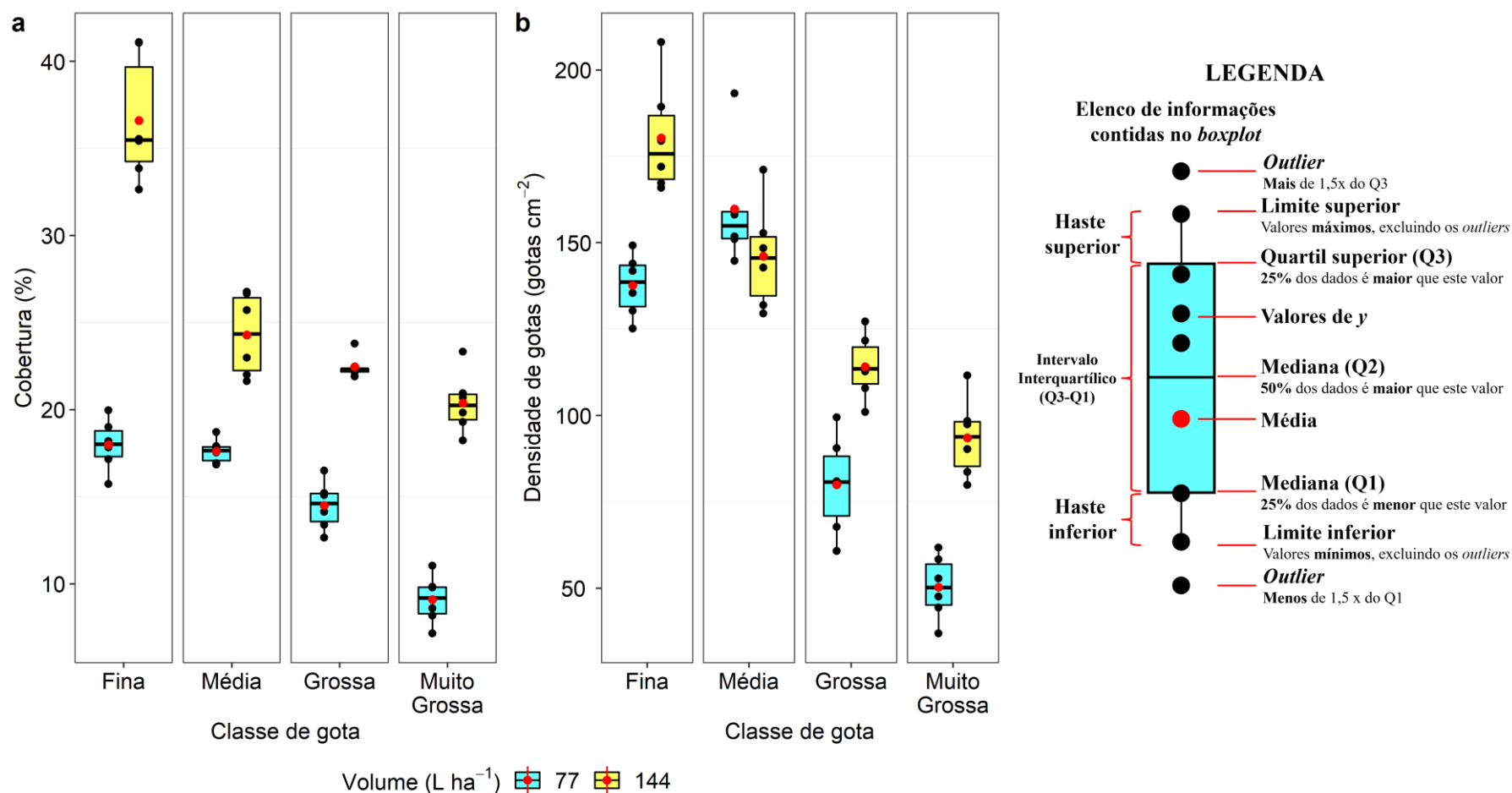
De modo geral, a densidade de gotas foi maior no maior volume de calda, corroborando com os resultados encontrados por Wang *et al.*, (2020), e o aumento do tamanho de gota impactou menos a densidade de gotas no volume de 144 L.ha⁻¹, indicando uma menor influência da classe de gota sobre a densidade de gotas no maior volume.

A distribuição dos dados dentro de cada variável pode ser analisada na Figura 21. O gráfico *boxplot* evidencia alguns aspectos da distribuição dos dados por meio de quartis que denotam o valor central da distribuição (mediana), a amplitude dos dados (tamanho da caixa), simetria ou assimetria do conjunto de dados (hastes) e a presença de *outliers* (pontos acima ou abaixo das hastes). A representação dos dados via *boxplot* permite a análise dos tratamentos considerando variabilidade dos dados (intervalo interquartilício ou *range*) (VALLADARES NETO *et al.*, 2017).

Pode-se verificar menor amplitude e maior simetria nos dados na variável Cobertura (Figura 21a), no volume de 77 L.ha⁻¹, em relação ao volume de 144 L.ha⁻¹, o que reflete o maior nível de uniformidade de pulverização nesse volume, tal como o observado na Figura 21.

A análise dos *boxplots* produzidos a partir dos dados da variável Densidade de gotas (Figura 21b), indica uma maior variabilidade dos dados, especialmente no volume de 144 L.ha⁻¹. Da mesma forma, a maior variabilidade verificada para Densidade de gotas indica que os padrões de deposição oferecidos pelas classes de gota neste volume são menos uniformes do que os verificados no volume de 77 L.ha⁻¹.

Figura 21 - Comparação entre as classes de gota Fina, Média, Grossa e Muito Grossa, nos volumes de 77 e 144 L.ha⁻¹ nas variáveis Cobertura (a) e Densidade de gotas (b) a partir da leitura de cartões hidrossensíveis, por meio de *boxplots*.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: adaptada de Valadares Neto *et al.* (2017).

4.3 Experimentos 3 e 4: Análise das características dos espectros de gotas e potencial de deriva dos tratamentos em túnel de vento

Tanto o fator classe de gota como o fator volume de aplicação, tal como a interação entre eles, foram significativos ($p < 0,01$) nas variáveis analisadas, à exceção do volume de aplicação em relação ao percentual de deriva (Tabela 13). Dessa forma, procedeu-se o desdobramento do fator classe de gotas dentro fator volume de aplicação e vice-versa.

Tabela 13. Análise de variância, com valores de F_{calc} , para Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV), Amplitude Relativa (AR), % de gotas menores que 100 μm (V100) e Deriva.

Fontes de variação	GL	Variáveis			
		DMV	AR	V100	Deriva
Classe de gota (a)	3	36437,72**	28,62**	4761,16**	1040,68**
Volume (b)	1	1030,03**	2209,57**	506,54**	0,514
a $\times$ b	3	2389,56**	32,54**	1455,79**	308,27**
CV (%)		0,56	1,03	3,23	5,34

Nota: “**”: significativo a 1% pelo teste F . Fonte: Próprio autor.

Os resultados da comparação de médias entre os tratamentos, dentro dos dois volumes de aplicação podem ser observados na Tabela 14.

Na Tabela 14 é possível observar, considerando o DMV, que os tratamentos diferiram significativamente quanto ao tamanho de gota tanto dentro, como entre os volumes analisados, com exceção da gota Muito Grossa, que não apresentou diferença significativa entre os volumes. Analisando as classes de gota nos volumes de aplicação de 77 e 144 L. ha^{-1} , os DMVs observados para a classe de gota Grossa (257,97 e 334,43 μm , respectivamente) ficaram abaixo da amplitude de DMV para a classificação da classe de gota como grossa (341-403 μm), enquadrando-se na classe de gota média (236-340 μm) (ANSI/ASABE S572.1, 2009). O maior valor de DMV para classe de gota Fina foi verificado no volume de 77 L. ha^{-1} (210,75 μm), e os maiores valores de DMV para as classes de gota Média e Grossa foram verificados no volume de aplicação de 144 L. ha^{-1} (264,61 e 334,43 μm , respectivamente).

O maior valor de DMV para classe de gota Fina foi verificado no volume de 77 L. ha^{-1} (210,75 μm), e os maiores valores de DMV para as classes de gota Média (264,6) e Grossa (334,43 μm) foram verificados no volume de aplicação de 144 L. ha^{-1} , não sendo verificada diferença significativa entre os DMVs da classe de gota Muito Grossa (Tabela 14).

Tabela 14. Comparação de médias¹ entre os tratamentos para as variáveis Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV), Amplitude Relativa (AR), % de gotas menores que 100 µm (V100) e % de deriva (Deriva).

Volume (L.ha ⁻¹)	Classes de gota			
	Fina	Média	Grossa	Muito Grossa
	DMV (µm)			
77	210,75 Da	235,44 Cb	257,97 Bb	417,77 A
144	168,74 Db	264,61 Ca	334,43 Ba	419,37 A
	AR			
	Fina	Média	Grossa	Muito Grossa
	DMV (µm)			
77	1,44 Aa	1,41 Ba	1,36 Ca	1,37 Ca
144	1,18 Bb	1,22 Ab	1,21 Ab	1,17 Bb
	V100 (%)			
	Fina	Média	Grossa	Muito Grossa
	DMV (µm)			
77	7,56 Ab	6,24 Ba	5,03 Ca	2,14 Da
144	15,74 Aa	5,67 Bb	3,25 Cb	1,72 Db
	Deriva (%)			
	Fina	Média	Grossa	Muito Grossa
	DMV (µm)			
77	4,49 Bb	7,20 Aa	2,83 C	1,58 D
144	7,55 Aa	4,38 Bb	2,80 C	1,56 D

Nota: ¹Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Próprio autor.

O resultado do tamanho de gotas é um produto complexo entre vários fatores, com destaque para a interação entre ponta (tamanho do orifício e design tecnológico) e as características físicas da calda, tal como tensão superficial e viscosidade, e ocorre independentemente dos ingredientes ativos (HEWITT, 2008; FERGUSON *et al.*, 2015; BUTTS *et al.*, 2019; LOPES; REIS, 2020). Produtos com formulações do tipo SC (tipo predominante na calda utilizada neste estudo), são capazes de reduzir os DMVs de espectros de gota mesmo proporcionando aumento da viscosidade da calda (propriedade física considerada correlacionada ao aumento do tamanho de gota) (SCHAMPHELEIRE *et al.*, 2009; CARVALHO *et al.*, 2017). A redução do DMV ao ponto de não atender a classificação da classe de gota Muito Grossa, também foi observada na ponta AD-IA, na pressão de trabalho de 3,1 bar, para o volume de aplicação de 65 L.ha⁻¹ (COSTA *et al.*, 2020b). Tais observações da literatura apontam que a utilização de produtos formulados em SC pode reduzir os DMVs de algumas pontas, corroborando com o observado neste estudo para classe de gota Grossa. Apesar disso, diretrizes gerais de aplicação indicam que herbicidas sistêmicos, tal como atrazine

e nicosulfuron, não exigem um alto nível de cobertura para ter uma boa eficácia e podem ser aplicados com gotas mais grossas em comparação aos herbicidas de contato, que performam melhor quando aplicados em gotas mais finas (BUTTS *et al.*, 2018), sendo indicado por ANSI/ASABE S572.1 (2009), para herbicidas sistêmicos pós-emergentes DMVs entre 341 e 403 μm (gota Grossa) (Tabela 2).

Quanto à AR dos tratamentos analisados, verifica-se no volume de 77 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ a maior média na classe de gota Fina (1,44), que difere estatisticamente da classe de gota Média (1,41) e das classes de gota Grossa (1,36) e Muito Grossa (1,37), as quais não diferem. No volume de 144 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$, as maiores médias de AR foram observadas nas classes de gota Média (1,22) e Grossa (1,21), que não diferiram, seguidas das classes de gota Fina (1,18) e Muito Grossa (1,17), que também não foram significativamente diferentes (Tabela 14).

Comparando os volumes de aplicação para AR, todos os tratamentos no volume de 77 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ apresentaram valores maiores do que os apresentados pelos tratamentos no volume de 144 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$, o que denota espectros de gotas mais heterogêneos nos tratamentos de menor volume (Tabela 14).

A AR expressa quão uniforme é o espectro de gotas, sendo quanto maior seu valor, maior a faixa de tamanho das gotas pulverizadas, menor a uniformidade e, consequentemente, menor a qualidade da pulverização (MADUREIRA *et al.*, 2015; MARTINS *et al.*, 2021). Segundo Viana *et al.* (2010), o valor de AR de um espectro de gotas homogêneo tende à zero.

No mesmo sentido das alterações observadas no DMV, as diferenças na AR entre os volumes de aplicação tem explicação provável na interação entre calda e ponta de pulverização. No volume de 77 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$, a concentração de produto na calda é maior, o que pode ter influenciado de forma mais acentuada as propriedades físicas da solução, influenciando diretamente o padrão de cisalhamento do leque no momento da formação da gota (CUNHA *et al.*, 2003), contribuindo para um espectro de gotas mais heterogêneo. Para uma aplicação de alta qualidade é necessário que se consiga o melhor desempenho possível da ponta de pulverização, principalmente quanto à amplitude relativa, indicando que, na escolha de uma ponta de pulverização, deve-se preferir as que performam com maior homogeneidade de gotas, com menor volume de gotas propensas à deriva e que ofereçam uma boa cobertura do alvo (MARTINS *et al.*, 2021).

Comparando a variável V100 entre as classes de gota, verifica-se, para os dois volumes de aplicação, diferenças significativas entre as médias de todos os tratamentos. No volume de 77 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ verificou-se a maior média na classe de gota Fina (7,56%), seguida das classes de gota Média (6,24%), Grossa (5,03%) e Muito Grossa (2,14%). No volume de 144 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ a mesma tendência foi observada, com a maior média observada na classe de gota Fina (15,74%), seguida

das classes de gota Média (5,67%), Grossa (3,25%) e Muito Grossa (1,72%). Observa-se maiores médias de V100 no volume de aplicação de 77 L.ha⁻¹, exceto na classe de gota Fina, que apresentou maior média no volume de 144 L.ha⁻¹ (Tabela 14). A estimativa do potencial de deriva pode ser avaliada pelo V100 (CUNHA *et al.*, 2003; STAINIER *et al.*, 2006; ANTUNIASSI; BOLLER, 2019), mas, a fim de se minimizar a deriva, devem ser considerados outros fatores, tal como as condições meteorológicas no momento da aplicação como temperatura inferior a 30 °C, umidade relativa superior a 50% e velocidade do vento entre 3 e 10 km h⁻¹, especialmente quando há a pulverização de gotas menores (ANTUNIASSI; BOLLER, 2019).

Analisando a % deriva, verifica-se diferenças significativas entre todas as classes de gota. No volume de 77 L.ha⁻¹, a maior média da % de deriva é verificado na classe de gota Média (7,20%), seguida pela classe de gota Fina (4,49%), Grossa (2,83%) e Muito Grossa (1,58%). No volume de 144 L.ha⁻¹, verifica-se um padrão diferente, com a maior média observada na classe de gota Fina (7,55%), seguida das classes de gota Média (4,38%), Grossa (2,80%) e Muito Grossa (1,56%) (Tabela 14). Comparando os volumes de aplicação, verifica-se que o maior % deriva foi promovido pela classe de gota Fina no volume de 144 L.ha⁻¹, seguida da classe de gota Média no volume de 77 L.ha⁻¹, sem diferenças significativas entre as classes de gota Grossa e Muito Grossa entre os volumes analisados (Tabela 14). A tendência de maiores percentuais de deriva para classes de gota menores é esperada e já foi observada em outros estudos (STAINIER *et al.*, 2006; CHEN *et al.*, 2020).

Foi verificada dificuldade de homogeneização e estabilização da solução, especialmente no volume de 77 L.ha⁻¹. Como a concentração dos herbicidas no menor volume de aplicação é maior, deve-se redobrar os cuidados em relação a agitação no tanque de pulverização, a fim de se obter uma calda mais homogênea, evitando ou minimizando problemas operacionais como a decantação do produto e o entupimento de bicos, que afetam a distribuição da pulverização e a eficácia biológica dos produtos.

4.4 Análise das correlações entre as variáveis de aplicação

Os coeficientes de correlação de Pearson (*r*) verificados demonstram que as interações entre as variáveis de aplicação foram muito variáveis, provavelmente pelo fato de que o espectro de gotas é o produto complexo entre vários fatores, especialmente da interação entre as características da ponta, propriedades físicas da calda e pressão de trabalho (MILLER; BUTLER ELLIS, 2000).

Analisando os coeficientes de correlação entre as variáveis de aplicação da classe de gota Fina, no volume de aplicação de 77 L.ha^{-1} (Figura 22a - inferior), verificam-se correlações muito fortes, negativas e significativas entre DMV e V100 (-0,95), DMV e Densidade (-0,96) e AR e V100 (-0,91) e correlação muito forte, positiva e significativa entre V100 e Densidade de gotas (0,92), indicando que, maiores DMVs proporcionaram menores V100 e densidade de gotas, o que se justifica pela correlação positiva entre V100 e Densidade de gotas, denotando um papel relevante das gotas mais finas sobre o fator Densidade de gotas, para essa classe de gotas, nesse volume de aplicação. A correlação negativa entre AR e V100 indica que maiores ARs proporcionaram menores V100. Um provável fator, que justifica tal resultado, é a correlação positiva entre DMV e AR (0,76), que mesmo não sendo significativa, indica que o aumento do DMV torna o espectro de gotas mais heterogêneo e com menor V100.

A correlação negativa entre DMV e V100 verificada neste estudo, na classe de gota Fina (77 L.ha^{-1}) aparece em estudos realizados por Chechetto & Antuniassi (2012), para as pontas de jato plano com pré-orifício DG 8003 VS – gota Média e com indução de ar AI 8003 VS – gota Muito Grossa, na pressão de 4 bar ($1,36 \text{ L.min}^{-1}$), analisando diferentes soluções de adjuvantes

Madureira *et al.* (2015), na análise da interação entre diferentes pontas de jato plano inclinado (GRD 12003) e jato plano simples com indução de ar (JAI 120025) e soluções contendo adjuvantes agrícolas, para os volumes de aplicação de 389 e 379 L.ha^{-1} nas pressões de 5,52 e 8,28 bar ($1,62$ e $1,58 \text{ L.min}^{-1}$, respectivamente), também verificaram maiores V100 em espectros de menor DMV e maior AR, na classe de gota Média.

Não foram observadas correlações significativas entre as variáveis analisadas na classe de gota Fina, no volume de aplicação de 144 L.ha^{-1} (Figura 22a - superior).

Analisando os coeficientes de correlação entre as variáveis na classe de gota Média, 77 L.ha^{-1} (Figura 22b - inferior), verifica-se correlação forte, negativa e significativa entre DMV e Deriva (-0,89) e correlação forte, positiva e significativa entre V100 e Densidade (0,88).

A correlação negativa entre DMV e Deriva é esperada, visto que espectros de gotas com maiores valores de DMVs tendem a possuir menores volumes de gotas finas, corroborando com o resultado verificado, embora não significativo, entre DMV e V100 (-0,68). Esses resultados foram condizentes com os de Oliveira *et al.* (2015), que verificaram para a ponta XR 8003 VK, na pressão de 2,0 bar, correlação negativa entre DMV e Deriva e correlação positiva entre V100 e Deriva, analisando caldas compostas com diferentes adjuvantes agrícolas.

Tal como observado para a classe de gota Fina, no volume de 77 L.ha⁻¹, a correlação V100 × Densidade foi positiva (0,88), indicando novamente, um papel relevante de gotas mais finas sobre o fator Densidade de gotas, nesse volume e classe de gota.

Entre as variáveis analisadas na classe de gota Média, no volume de 144 L.ha⁻¹ (Figura 22b - superior), verificam-se valores de correlação muito fortes, negativos e significativos entre AR e V100 (-0,9) e entre Deriva e Densidade (-0,91), e correlação forte, positiva e significativa entre Cobertura e Deposição (0,88). A correlação negativa AR × V100 indica que espectros de gotas mais heterogêneos proporcionaram menores V100. A correlação negativa entre Deriva e Densidade indica que em situações em que a Deriva foi menor a Densidade foi maior.

A correlação positiva entre Cobertura e Deposição também foi verificado por Cieniawska *et al.* (2022), na análise de indicadores de qualidade de oito pontas de pulverização, operando sob diferentes pressões e taxas de aplicação com água e marcador fluorescente.

Considerando os dados de correlação entre as variáveis da classe de gota Grossa, no volume de 77 L.ha⁻¹ (Figura 23a - inferior), verificam-se correlações muito fortes, negativas e significativas entre DMV e AR, DMV × Cobertura e DMV × Densidade (-0,92, -0,96 e -0,9, respectivamente) e muito forte, positiva e significativa correlação entre Cobertura e Densidade (0,98). A correlação negativa entre DMV e AR indica que em maiores DMVs o espectro de gotas foi mais homogêneo. Contudo, ao mesmo tempo, a correlação negativa DMV × Cobertura indica que o parâmetro Cobertura, expressa-se com maior intensidade em situações em que o DMV é menor, tal como o parâmetro Densidade, indicando que, dentro dessa classe de gotas, o aumento de gotas mais finas proporciona maiores níveis de Cobertura e Densidade de gotas, hipótese reforçada pela correlação positiva (0,98) apresentada entre elas.

Para a classe de gota Grossa, no volume de 144 L.ha⁻¹ (Figura 23a-superior) verifica-se correlação muito forte, negativa e significativa entre DMV e Densidade (-0,93), correlação muito forte, positiva e significativa entre AR e V100 (0,9) e correlação forte, negativa e significativa entre Densidade e Deposição (-0,74). A correlação negativa DMV × Densidade indica que maiores DMVs proporcionaram menores níveis de Densidade de gotas, da mesma forma que o observado no volume de 77 L.ha⁻¹, indicando que o parâmetro Densidade é afetado em situações nas quais o DMV é maior. A correlação positiva entre AR e V100 indica que espectros de gotas mais heterogêneos apresentaram maiores V100.

A correlação negativa entre Densidade e Deposição indica que em maiores densidades de gotas, menores foram os níveis de deposição, tal resultado pode ser compreendido considerando a correlação negativa entre DMV e Densidade e a correlação positiva entre AR e

V100, e pelas correlações positivas, embora não significativas, entre AR e Densidade (0,66) e V100 e Densidade (0,4), que indicam que o parâmetro Densidade expressa maiores valores em situações nas quais os espectros de gotas apresentaram menores DMVs, dependendo de gotas mais finas, que carregam menores volumes e resultam em menores valores de Deposição.

Considerando os coeficientes de correlação entre as variáveis da classe de gota Muito Grossa, no volume de 77 L.ha⁻¹ (Figura 23b-inferior), verificam-se correlações muito fortes, positivas e significativas entre Deriva e Cobertura (0,92) e Cobertura e Densidade (0,97).

A correlação positiva entre Deriva e Cobertura indica maiores níveis de Cobertura em repetições em que o nível de Deriva foi maior, tal resultado é contraintuitivo, visto que essas variáveis, conceitualmente, são antagônicas. Uma provável explicação para tal resultado, pode ser baseada na análise das correlações positivas entre V100 e Deriva (0,73) e V100 e Cobertura (0,64) que, apesar de não significativas, indicam o reflexo de gotas mais finas sobre as variáveis Deriva e Cobertura e, sendo essas positivas, provavelmente pela característica do maior DMV da classe de gota, justifica-se, de certa forma, a correlação positiva entre Deriva e Cobertura, pois na medida em que se tem maiores níveis de V100, aumenta-se também os níveis de Deriva e de Cobertura. A correlação positiva entre Cobertura e Densidade demonstra a interdependência dessas variáveis na classe de gota Muito Grossa.

Os coeficientes de correlação da classe de gota Muito Grossa, no volume de 144 L.ha⁻¹ (Figura 23b - superior), indicam muito forte, negativa e significativa correlação entre Deriva e Deposição (-0,9), forte, positiva e significativa correlação entre AR e Densidade (0,88) e muito forte, positiva e significativa a correlação entre Cobertura e Densidade (0,99).

A correlação positiva entre AR e Densidade indica que maiores ARs proporcionam maiores densidades de gotas, provavelmente, pela correlação positiva, embora não significativa, observada entre AR e V100 (0,5), indicando que espectros de gotas mais heterogêneos promoveram maiores V100, refletindo diretamente na variável Densidade, o que é reforçado também pela correlação positiva DMV × Densidade (0,47).

De modo geral, observam-se correlações negativas do DMV com V100 e Densidade (gota Fina), Deriva (gota Média), AR, Cobertura e Densidade (gota Grossa), no volume de 77 L.ha⁻¹ e com Densidade (gota Grossa), no volume de 144 L.ha⁻¹, indicando que o DMV possui influência sobre vários outros fatores, dependendo da classe de gota e volume utilizado. A AR correlacionou-se negativamente com V100 nas classes de gota Fina e Média (77 e 144 L.ha⁻¹, respectivamente) e positivamente com Densidade, nas classes de gota Média e Muito Grossa (144 L.ha⁻¹). O V100 correlacionou-se positivamente com a Densidade nas classes de gota Fina e Média, no volume de 77 L.ha⁻¹. A correlação entre Deriva e Densidade e

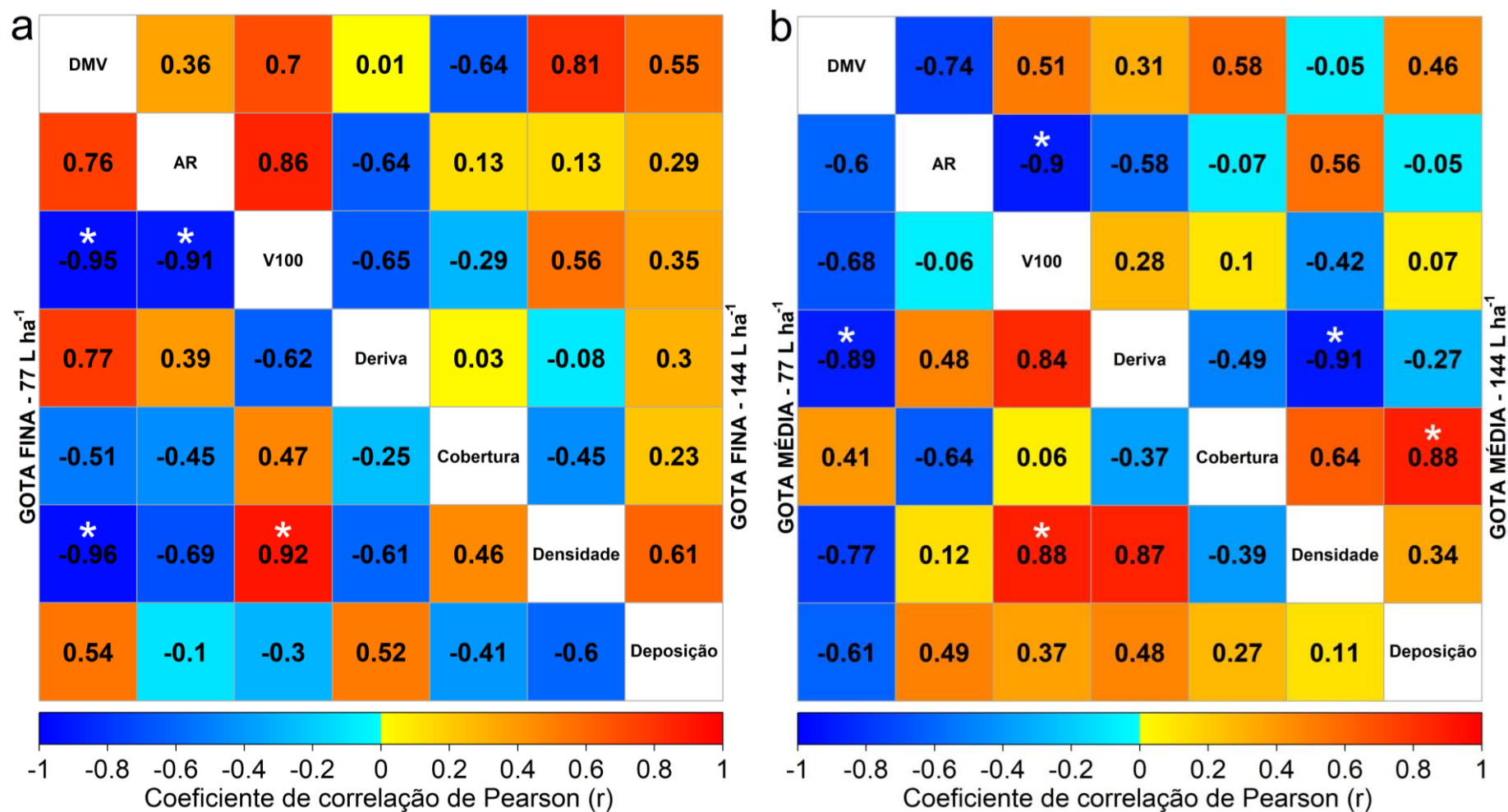
Deriva e Deposição foi negativa para as classes de gota Grossa e Muito Grossa no volume de 144 L.ha⁻¹ enquanto que Deriva e Cobertura correlacionam-se positivamente na classe de gota Muito Grossa, no volume de 77 L.ha⁻¹. O parâmetro Cobertura correlacionou-se positivamente com a Densidade na classe de gota Grossa (77 L.ha⁻¹), na classe de gota Muito Grossa, nos dois volumes de aplicação e com o parâmetro Deposição na classe de gota Média, no volume de 144 L.ha⁻¹.

Viera *et al.* (2019) verificaram, para pontas de pulverização com pré-orifício: 11002 jato plano simples, 11002 jato plano duplo e 11002, jato plano duplo com indução de ar, na pressão de 3 bar, utilizando soluções contendo óleo mineral e o herbicida glifosato, correlações negativas e significativas entre DMV e Densidade de gotas (-0,69), tal como os resultados encontrados para as classes de gota Fina (77 L.ha⁻¹) e Grossa (77 e 144 L.ha⁻¹), correlação negativa entre DMV e Deriva (-0,72), tal como verificado para a classe de gota Média (77 L.ha⁻¹) e correlação positiva entre Deriva e Densidade (0,73), divergindo da correlação negativa verificada na classe de gota Média (144 L.ha⁻¹).

A correlação positiva entre Cobertura e Densidade, verificada neste estudo para as classes de gota Grossa (77 L.ha⁻¹) e Muito Grossa, nos dois volumes de aplicação, também foi verificada por Coelho *et al.* (2022), em estudo analisando as variáveis de aplicação das pontas de jato plano ADGA-02 (gota média - 1,67 L.min⁻¹), AD-02-D (gota média – 0,66 L.min⁻¹) e ADIA-02 (gota extremamente grossa com indução de ar – 0,67 L.min⁻¹) à 2 bar, com água, assim como a correlação entre positiva entre DMV e Cobertura, entretanto, os autores não observaram correlação significativa entre DMV e Densidade de gotas, que apresentou correlação negativa nas classes de gota Fina (77 L.ha⁻¹) e Grossa.

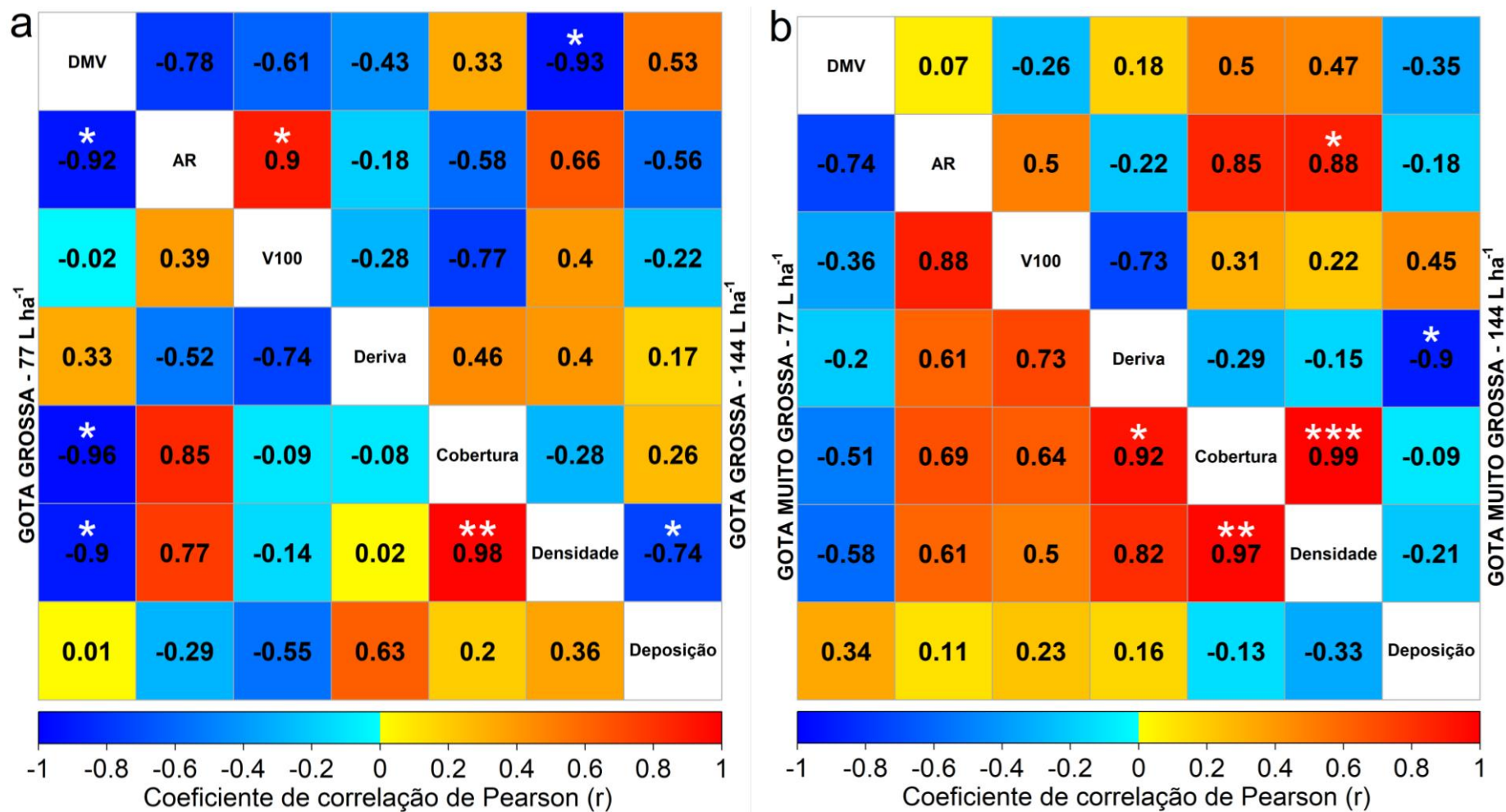
A relação positiva entre Cobertura e Densidade também foi verificada por Biocca *et al.* (2021), que observaram que a qualidade da cobertura e o número de gotas por unidade de área foram estatisticamente comparáveis. Entretanto, os autores apontam que essa relação independe das pontas utilizadas, o que não condiz com os resultados obtidos neste estudo, no qual correlações positivas entre Cobertura e Densidade aparecem apenas na classe de gota Grossa (77 L.ha⁻¹) e Muito Grossa, nos dois volumes de aplicação.

Figura 22 - Matrizes de correlação (r) entre as variáveis DMV (Diâmetro Mediano Volumétrico); AR (Amplitude Relativa); V100 (% de gotas < 100 μm); Deriva, Cobertura, Densidade de gotas e Deposição (diagonal), das classes de gota Fina, (a) e Média (b), nos volumes de aplicação de 77 L.ha⁻¹ (abaixo da diagonal) e 144 L.ha⁻¹ (acima da diagonal). “*”: significativo a 5%.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 23 - Matrizes de correlação (r) entre as variáveis DMV (Diâmetro Mediano Volumétrico); AR (Amplitude Relativa); V100 (% de gotas < 100 μm); Deriva, Cobertura, Densidade de gotas e Deposição (diagonal), das classes de gota Grossa, (a) e Muito Grossa (b), nos volumes de aplicação de 77 L.ha⁻¹ (abaixo da diagonal) e 144 L.ha⁻¹ (acima da diagonal). “*”, “**” e “***” significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente.



Fonte: Elaboração própria.

4.5 Experimento 5: Interferência de classes de gota e volumes de aplicação no efeito da mistura de atrazine com nicosulfuron no manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária

Os resultados da análise de variância para as variáveis Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) da braquiária, controle de plantas daninhas (Controle), diâmetro do colmo do milho (DC), altura de planta de milho (AP) e produtividade de grãos (PROD), para os tratamentos e testemunhas e entre as testemunhas, na área experimental “Safrá”, são expostos na Tabela 15.

Tabela 15. Análise de variância, com valores de F_{calc} , para a massa seca da parte aérea (MSPA) da braquiária, controle de plantas daninhas (Controle), diâmetro do colmo do milho (DC), Altura de planta de milho (AP) e Produtividade de grãos (PROD) dos tratamentos, das testemunhas, da interação entre tratamentos e testemunhas, para a área experimental “Safrá”.

Fontes de variação	GL	Variáveis				
		MSPA	Controle	DC	AP	PROD
Classe de gota (a)	3	1,10	2,17	3,32*	2,87*	0,13
Volume (b)	1	2,10	0,09	0,01	3,67	2,04
a × b	3	6,47**	0,32	0,84	4,90**	0,32
Testemunhas	2	113,70**	434,21**	1202,67**	218,62**	30,08**
Test. x Trat.	1	6,18*	39,63**	812,72**	243,09**	24,76**
Bloco	4	1,55	2,55	3,82*	1,97	3,08*
C.V (%)	-	16,67	6,61	3,51	7,84	21,9
Testemunhas						
Tratamento	2	123,38**	1,82**	1146,98**	167,65**	27,04**
Bloco	4	0,94	1,0	1,16	0,82	0,91
CV (%)	-	14,88	0,0	3,6	11,52	28,92

Nota: Legenda: Test.: Testemunhas; Trat: Tratamentos. “*” ou “**” = significativo a 5% ou a 1% de probabilidade pelo teste F . Fonte: Próprio autor.

Considerando os resultados significativos da análise de variância, procedeu-se o teste de comparação de médias. Os resultados estão expostos na Tabela 16.

Tabela 16. Comparação de médias¹ entre tratamentos, tratamentos e testemunhas, e entre testemunhas, para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) da braquiária, diâmetro do colmo do milho (DC), altura da planta de milho (AP), controle de plantas daninhas (Controle) aos 21 DAA e produtividade de grãos (PROD) da área experimental “Safrá”.

Volume de aplicação (L.ha ⁻¹)	Classes de gota				
	Fina	Média	Grossa	Muito Grossa	
	MSPA de braquiária (kg.ha ⁻¹)				
77	902,09 B	823,24 Bb	1088,02 A	1154,97 A	
144	988,33 B	1308,00 Aa	1010,60 B	990,04 B	
Controle (%)					
77	84,00	80,00	88,00	84,00	
144	84,00	82,00	86,00	86,00	
DC (cm)					
77	2,97	2,9	2,94	3,0	
144	3,01 A	2,85 B	2,99 A	2,95 A	
AP (cm)					
77	107,62 Bb	101,83 Bb	114,34 A	121,57 A	
144	122,04 a	116,57 a	109,31	116,87	
PROD (kg.ha ⁻¹)					
77	5268,90	5050,90	5424,90	5156,02	
144	5829,12	5619,77	5377,73	6045,53	
Testemunhas					
	MSPA	Controle	DC	AP	PROD
	(kg ha ⁻¹)	(%)	(cm)	(cm)	(kg ha ⁻¹)
Sem controle	1039,73 c	-	2,93	104,36 ²	4927,23
Capinada	1665,53* b	100,00*	2,93	108,54	5224,92
Somente braquiária	1914,77* a	100,00*	-	-	-
Somente milho	-	100,00*	2,97	105,16 ²	5779,65

Nota: ¹Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

² Difere significativamente dos tratamentos Fina 144 L.ha⁻¹ e Muito grossa 77 L.ha⁻¹;

*Difere significativamente dos tratamentos pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Fonte: Próprio autor.

Verificam-se as maiores médias, considerando MSPA de braquiária (kg.ha⁻¹), no volume de 77 L.ha⁻¹, na classe de gota Grossa (1088,02) e Muito Grossa (1154,97), que não

diferiram significativamente, seguidas pelas classes de gota Fina (902,09) e Média (823,24), que também não diferiram. No volume de 144 L.ha⁻¹, a maior média entre os tratamentos foi verificada na classe de gota Média (1308,00), seguida das classes de gota Fina, Grossa e Muito Grossa (988,33, 1010,60 e 990,04, respectivamente), que não diferiram. Na comparação entre volumes foi verificada diferença significativa apenas na classe de gota Média, com a maior média no volume de 144 L.ha⁻¹ (Tabela 16).

Entre as testemunhas, a maior média de MSPA de braquiária foi verificada na testemunha Somente braquiária (1914,77), seguida pela testemunha Capinada (1665,53) e pela testemunha Sem controle (1039,73). As testemunhas Somente braquiária e Capinada diferiram significativamente dos demais tratamentos, com maiores médias (Tabela 16).

Em relação ao Controle (%), não houve diferença entre os tratamentos em nenhuma das classes de gota, tal como entre os volumes de aplicação. A média geral entre os tratamentos foi de 84,25%. Não houve diferença significativa entre as médias das testemunhas, que diferiram significativamente dos tratamentos, com maiores médias (100) (Tabela 16).

Para DC (cm), não foi observada diferença significativa entre as classes de gota no volume de 77 L.ha⁻¹, contudo, no volume de 144 L.ha⁻¹, as médias das classes de gota Fina (3,01), Grossa (2,99) e Muito Grossa (2,95) diferiram significativamente da classe de gota Média (2,85), com a menor média. Na comparação entre as testemunhas não houve diferença significativa, assim como entre as testemunhas e os tratamentos (Tabela 16).

Quanto à AP (cm), as classes de gota com as maiores médias foram Grossa (114,34) e Muito Grossa (121,57), seguidas das classes de gota Fina (107,62) e Média (101,83), que não diferem significativamente. Não houve diferença entre as classes de gota no volume de 144 L.ha⁻¹. Na comparação entre os volumes as classes de gota Fina e Média apresentaram as maiores médias no volume de aplicação de 144 L.ha⁻¹. Entre as testemunhas, não houve diferença significativa, contudo, as testemunhas Sem controle (104,36) e Somente milho (105,16) apresentaram médias significativamente menores do que as apresentadas pela classe de gota Fina, no volume de aplicação 144 L.ha⁻¹ (122,04) e Muito Grossa, no volume de aplicação de 77 L.ha⁻¹ (121,57) (Tabela 16).

Não foram observadas diferenças entre os tratamentos em nenhum dos volumes de aplicação, tal como entre os volumes de aplicação na variável PROD, com a média geral de produtividade de 5471,61 kg.ha⁻¹. Não houve diferença significativa entre as testemunhas, tal como entre as testemunhas e tratamentos.

Os dados do levantamento fitossociológico da área experimental “Safrá”, podem ser verificados na Tabela 17.

Tabela 17. Levantamento fitossociológico de espécies de plantas daninhas 20 DAE do milho, na área experimental “Safrá”.

Espécie	NI	F	D	A	FR	DR	AR	IVI	IVIR
	-	-	(pl.m ⁻²) ¹	-	(%)	(%)	(%)	-	(%)
<i>Amaranthus deflexus</i>	16	0,6	4,0	1,6	8,7	10,1	11,8	30,6	10,2
<i>Cenchrus echinatus</i>	11	0,5	2,8	1,4	7,0	6,9	10,2	24,1	8,0
<i>Cyperus rotundus</i>	17	0,9	4,3	1,2	12,2	10,7	9,0	31,9	10,6
<i>Digitaria</i> spp.	23	0,9	5,8	1,5	13,0	14,5	11,3	38,9	13,0
<i>Indigofera hirsuta</i>	28	0,9	7,0	1,9	13,0	17,6	13,8	44,5	14,8
<i>Malvastrum coromandelianum</i>	15	0,8	3,8	1,2	11,3	9,4	8,5	29,3	9,8
<i>Phyllanthus niruri</i>	13	0,8	3,3	1,1	10,4	8,2	8,0	26,6	8,9
<i>Portulaca oleracea</i>	18	0,8	4,5	1,4	11,3	11,3	10,2	32,9	11,0
<i>Richardia brasiliensis</i>	13	0,6	3,3	1,3	8,7	8,2	9,6	26,5	8,8
<i>Senna obtusifolia</i>	5	0,3	1,3	1,0	4,3	3,1	7,4	14,9	5,0
Total	159	7,2	39,8	13,5	100	100	100	300	100

Nota: Legenda: NI: Número de Indivíduos; F: Frequência; D: Densidade, A: Abundância, FR: Frequência Relativa; DR: Densidade Relativa; AR: Abundância Relativa; IVI: Índice de Valor de Importância; IVIR: Índice de Valor de Importância Relativa; ¹pl.m⁻²: plantas por metro quadrado. Fonte: Próprio autor.

Foram identificadas dez espécies de plantas daninhas na área experimental “Safrá”: *Amaranthus deflexus* (caruru), *Cenchrus echinatus* (capim-carrapicho), *Cyperus rotundus* (tiririca), *Digitaria* spp. (capim-colchão), *Indigofera hirsuta* (anileira), *Malvastrum coromandelianum* (guanxuma), *Phyllanthus niruri* (quebra-pedra), *Portulaca oleracea* (beldroega), *Richardia brasiliensis* (poaia-branca), *Senna obtusifolia* (fedegoso).

O IVI, que é representado pelo somatório de frequência relativa, densidade relativa e abundância relativa, indica a influência da espécie dentro de uma comunidade infestante (OLIVEIRA; FREITAS, 2008).

A espécie com o maior IVI foi *I. hirsuta* (44,5) seguida pelas espécies *Digitaria* spp. (38,9), *P. oleracea* (32,9), *C. rotundus* (31,9), *A. deflexus* (30,6), *M. coromandelianum* (29,3),

P. niruri (26,6), *R. brasiliensis* (26,5), *C. echinatus* (24,1) e por último, *S. obtusifolia* (14,9). A densidade de plantas daninhas verificada na área foi de 39,8 plantas m⁻².

Os resultados da análise de variância para as variáveis Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) da braquiária, controle de plantas daninhas (Controle), diâmetro do colmo do milho (DC), altura de planta de milho (AP) e produtividade de grãos (PROD), para os tratamentos e testemunhas e entre as testemunhas, na área experimental “Safrinha”, são expostos na Tabela 18.

Tabela 18. Análise de variância, com valores de *F*_{calc}, para a Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) da braquiária, controle de plantas daninhas (Controle), diâmetro do colmo do milho (DC), altura de planta de milho (AP) e produtividade de grãos (PROD) dos tratamentos, das testemunhas, e da interação entre tratamentos e testemunhas, para a área experimental “Safrinha”.

Fontes de variação	GL	Variáveis				
		MSPA	Controle	DC	AP	PROD
Classe de gota (a)	3	0,61	2,04	0,34	0,20	0,12
Volume (b)	1	0,00	27,56**	18,32**	8,91**	12,61**
a × b	3	0,12	0,57	1,34	1,80	1,50
Testemunhas	3	61,23**	425,26**	321,71**	628,84**	79,27**
Test. x Trat.	1	3,55	11,34**	156,43**	432,12**	5,29*
Bloco	4	1,84	0,57	1,46	0,79	2,86*
C.V (%)	-	23,12	6,92	7,15	4,93	15,91
Testemunhas						
Tratamento	2	20,48**	1,0	84,03**	77,55**	9,38**
Bloco	4	0,90	1,0	1,28	2,196	4,82*
CV (%)	-	15,55	0,0	3,62	3,12	8,21

Nota: Legenda: Test.: Testemunhas; Trat: Tratamentos. “**” ou “***” = significativo a 5% ou a 1% de probabilidade pelo teste *F*. Fonte: Próprio autor.

Considerando os resultados significativos da análise de variância para o fator volume, procedeu-se o teste de comparação de médias. Os resultados estão expostos na Tabela 19.

Tabela 19. Comparação de médias¹ entre tratamentos, tratamentos e testemunhas, e entre testemunhas, para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) da braquiária, diâmetro do colmo do milho (DC), altura da planta de milho (AP), controle de plantas daninhas (Controle) aos 21 DAA e produtividade de grãos (PROD) da área experimental “Safrinha”.

Volume de aplicação (L.ha ⁻¹)	Classes de gota				
	Fina	Média	Grossa	Muito Grossa	
MSPA da braquiária (kg ha ⁻¹)					
77	599,41	636,70	631,30	582,34	
144	553,57	647,02	662,28	590,96	
Controle (%)					
77	72,00 b	74,00 b	80,00	76,00 b	
144	84,00 a	82,00 a	86,00	86,00 a	
DC (cm)					
77	1,81	1,69 b	1,70 b	1,72 b	
144	1,85	1,86 a	1,94 a	1,91 a	
AP (cm)					
77	87,81	84,75	83,78 b	84,58 b	
144	87,18	87,76	90,84 a	89,95 a	
PROD (kg ha ⁻¹)					
77	3517,78	3155,55 b	3066,67 b	3443,33	
144	3603,33	3977,78 a	4151,11 a	3946,66	
Testemunhas					
	MSPA	Controle	DC	AP	PROD
	(kg ha ⁻¹)	(%)	(cm)	(cm)	(kg ha ⁻¹)
Sem controle	588,40 b	-	1,7 ² c	76,10* c	4001,11 b
Capinada	1042,24* a	100,00*	1,84 b	85,60 b	4100,00 ⁴ b
Somente braquiária	1125,96* a	100,00*	-	-	-
Somente milho	-	100,00*	2,15* a	97,25 ³ a	4930,00 ⁵ a

Nota: ¹Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

² Não difere significativamente dos tratamentos Fina, Média, Grossa e Muito Grossa no volume de 77 L.ha⁻¹;

³ Não difere significativamente do tratamento Grossa, no volume de 144 L.ha⁻¹;

⁴ Difere significativamente do tratamento Grossa, no volume de 77 L.ha⁻¹;

⁵ Não difere significativamente dos tratamentos Média e Grossa no volume de 144 L.ha⁻¹;

*Difere significativamente dos tratamentos pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. Fonte: Próprio autor.

Observando a variável MSPA de braquiária (kg.ha^{-1}), não foi verificada diferença significativa entre as médias dos tratamentos tanto entre as classes de gota quanto entre os volumes de aplicação, sendo a média geral dos tratamentos de $612,95 \text{ kg.ha}^{-1}$. As maiores médias entre as testemunhas foram observadas em Somente braquiária (1125,96) e Capinado (1042,24), estatisticamente iguais e significativamente diferentes dos tratamentos. A menor média de MSPA foi verificada na testemunha Sem controle (588,40), que não diferiu significativamente dos tratamentos (Tabela 19).

Quanto à variável Controle (%), não houve diferença significativa entre as classes de gota mas, na comparação entre volumes, as maiores médias foram observadas no volume de 144 L.ha^{-1} nas classes de gota Fina (84%), Média (82%) e Muito Grossa (86%). Não houve diferença significativa entre as testemunhas, que diferiram significativamente dos tratamentos (Tabela 19).

Na variável DC (cm), não foram verificadas diferenças entre as classes de gota nos volumes de aplicação. Entre os volumes, diferenças significativas foram verificadas nas classes de gota Média, Grossa e Muito Grossa, com maiores médias no volume de 144 L.ha^{-1} , 1,86, 1,94 e 1,91 cm, respectivamente. Entre as testemunhas, a testemunha Somente milho apresentou a maior média (2,15), diferindo de todos os tratamentos, seguida pelas testemunhas Capinada (1,84) e Sem controle (1,7), que não diferiu dos tratamentos do volume de 77 L.ha^{-1} (Tabela 19).

Considerando a variável AP (cm), não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos nos volumes de aplicação. Na comparação entre os volumes, as maiores médias foram observadas nas classes de gota Grossa (90,84) e Muito Grossa (89,95), no volume de 144 L.ha^{-1} . A maior média entre as testemunhas foi verificada na testemunha Somente milho (97,25), que diferiu de todos os tratamentos, exceto da classe de gota Grossa, no volume de 144 L.ha^{-1} , seguida das testemunhas Capinada (85,60) e Sem controle (76,10). A média da testemunha Sem controle foi significativamente menor do que a de todos os tratamentos (Tabela 19).

Na variável PROD (kg ha^{-1}) verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos nos volumes de aplicação mas, na comparação entre os volumes, maiores médias de produtividade foram verificadas na classe de gota Média (3977,78) e Grossa (4151,11), no volume de 144 L.ha^{-1} . Entre as testemunhas, a maior média foi verificada na testemunha Somente milho (4930,00), que diferiu significativamente das testemunhas Capinada (4100,00) e Sem controle (4001,11). A testemunha Somente milho não apresentou diferença significativa dos tratamentos classe de gota Média e Grossa no volume de 144 L.ha^{-1} , e a testemunha

Capinada diferiu significativamente do tratamento gota Grossa, no volume de aplicação de 77 L.ha⁻¹ (Tabela 19).

Os dados do levantamento fitossociológico da área experimental “Safrinha”, podem ser verificados na Tabela 20.

Tabela 20. Levantamento fitossociológico de espécies de plantas daninhas 20 DAE do milho, na área experimental “Safrinha”.

Espécie	NI	F	D	A	FR	DR	AR	IVI	IVIR
	-	-	(pl.m ⁻²)	-	(%)	(%)	(%)	-	(%)
<i>Amaranthus deflexus</i>	111	0,8	27,8	8,5	8,8	10,4	11,7	30,8	10,3
<i>Brachiaria plantaginea</i>	22	0,9	5,5	1,6	9,5	2,1	2,1	13,7	4,6
<i>Cenchrus echinatus</i>	59	0,8	14,8	4,5	8,8	5,5	6,2	20,5	6,8
<i>Commelina benghalensis</i>	17	0,6	4,3	1,9	6,1	1,6	2,6	10,3	3,4
<i>Conyza</i> spp.	27	0,8	6,8	2,1	8,8	2,5	2,8	14,1	4,7
<i>Cyperus rotundus</i>	65	0,8	16,3	5,4	8,1	6,1	7,4	21,6	7,2
<i>Digitaria</i> spp.	230	1,0	57,5	14,4	10,8	21,6	19,6	52,0	17,3
<i>Eleusine indica</i>	81	0,8	7,5	2,5	8,1	2,8	3,4	14,3	4,8
<i>Phyllanthus niruri</i>	30	0,9	20,3	5,8	9,5	7,6	7,9	24,9	8,3
<i>Portulaca oleracea</i>	275	1,0	68,8	17,2	10,8	25,8	23,5	60,0	20,0
<i>Richardia brasiliensis</i>	150	1,0	37,5	9,4	10,8	14,1	12,8	37,7	12,6
Total	956	9,25	266,75	73,2	100	100	100	300	100
IS (%)	57,14								

Nota: Legenda: NI: Número de Indivíduos; F: Frequência; D: Densidade, A: Abundância, FR: Frequência Relativa; DR: Densidade Relativa; AR: Abundância Relativa; IVI: Índice de Valor de Importância; IVIR: Índice de Valor de Importância Relativa; IS: Índice de Similaridade entre as áreas. Fonte: Próprio autor.

Foram identificadas onze espécies de plantas daninhas na área experimental “Safrinha”: *Amaranthus deflexus* (caruru), *Brachiaria plantaginea* (capim-marmelada), *Cenchrus echinatus* (capim-carrapicho), *Commelina benghalensis* (trapoeraba), *Conyza* spp. (buva), *Cyperus rotundus* (tiritica), *Digitaria* spp (capim-colchão), *Phyllanthus niruri* (quebra-pedra),

Eleusine indica (capim-pé-de-galinha), *Portulaca oleracea* (beldroega), *Richardia brasiliensis* (poaia-branca).

A espécie com o maior IVI foi *P. oleracea* (60,0), seguida por *D. horizontalis* (52,0), *R. brasiliensis* (37,7), *A. deflexus* (30,8), *P. niruri* (24,9), *C. rotundus* (21,6), *C. echinatus* (20,5), *E. indica* (14,3), *Conyza* spp. (14,1), *B. plantaginea* (13,7) e *C. benghalensis* (10,3). A densidade de plantas daninhas verificada na área “Safrinha” foi de 266,75 plantas m⁻².

O índice de similaridade (IS) fitossociológica entre as áreas experimentais “Safrinha” e “Safrinha”, foi de 57,14%. Contudo, a densidade de plantas daninhas indica que a área “Safrinha” foi muito mais infestada do que a área “Safrinha”, o que pode ser observado na Figura 14.

A competição interespecífica torna-se mais acirrada quanto mais próximas as espécies são do ponto de vista morfofisiológico, pela similaridade em relação às exigências de fatores de crescimento. A densidade da comunidade infestante também eleva o grau de competição devido à quantidade de indivíduos disputando os mesmos recursos (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011). Além disso, em altas densidades de plantas daninhas, pode-se esperar a redução do desempenho de herbicidas, pelo fato de que as folhas dos indivíduos da comunidade infestante se sobrepõem, reduzindo a área do alvo exposto ao herbicida (KUDSK, 2002).

Dentre as espécies presentes nas áreas experimentais, a única não controlada pelos tratamentos foi *D. horizontalis*. Vargas, Peixoto e Roman (2006) indicam a necessidade de uma dose superior a 60g i.a. ha⁻¹ de nicosulfuron para o controle de *D. horizontalis*. Para a cultura do milho, o potencial alelopático de *D. horizontalis* e *C. rotundus* é reconhecido por autores como Foster (1991) e Deuber (1992).

A época de semeadura, a densidade e a composição da comunidade de plantas daninhas são apontadas como fatores críticos para a determinação do PCPI (Período Crítico de Proteção a Interferência) (BALBINOT *et al.* 2016) e, provavelmente, a aplicação dos tratamentos na área “Safrinha”, aos 25 DAE, foi tardia, indicando que em situações com maiores densidades de plantas daninhas o controle deve ser antecipado para que não haja prejuízo na produtividade de grãos e biomassa da forrageira.

Sincronizar a melhor época para a supressão da forrageira e o controle da flora invasora certamente é um dos principais desafios enfrentados por pesquisadores (DAN *et al.* 2012) e por muitos produtores do consórcio milho-braquiária, por envolver fatores climáticos e biológicos, determinantes sobre a taxa de desenvolvimento e dinâmica das espécies vegetais.

Na área “Safrinha”, os tratamentos não promoveram efeitos significativos nas variáveis resposta DC, AP e PROD em relação às testemunhas, contudo, na variável MSPA, a maior

média da testemunha Somente braquiária indica que os tratamentos promoveram uma redução significativa da MSPA da forrageira (46%, na média), com a menor supressão (maior MSPA) promovida pela a classe de gota Média, no volume de 144 L.ha⁻¹. Analisando o tratamento em outras variáveis, verifica-se um nível de controle igual ao dos demais tratamentos, média de DC inferior à de todos os tratamentos, mas, semelhante às médias das testemunhas e média de AP semelhante à dos tratamentos do volume de 144 L.ha⁻¹.

A redução do DC também foi verificada por Makino *et al.* (2019), analisando a produtividade e o teor de nutrientes em populações de milho safrinha solteiro e consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás, atribuindo a redução do DC à competição por nutrientes, especialmente N, com a forrageira, indicando que a competição pode atrasar o desenvolvimento da cultura, refletindo na redução do diâmetro do colmo devido à sua função de armazenamento de fotoassimilados, resultando em colmos mais finos e menor ganho de massa seca.

A relação entre maior MSPA e menor DC não foi verificada nos demais tratamentos e a tendência não se repetiu na área Safrinha, mesmo com maior grau de competição com plantas daninhas. Contudo, observa-se a relação entre DC e PROD, com maiores PROD nos tratamentos com maior DC (classes de gota Média e Grossa, no volume de 144 L.ha⁻¹).

Maiores médias de PROD foram verificadas na área “Safrinha” em relação a área “Safrinha”, o que se justifica pela época de semeadura mais tardia, contudo, muito provavelmente, a alta densidade de plantas daninhas cooperou com a redução da produtividade da área “Safrinha”.

Na área “Safrinha”, apesar de não verificadas diferenças significativas entre as classes de gota dentro dos volumes, verificam-se médias superiores no volume de 144 L.ha⁻¹ nas variáveis DC (classes de gota Média, Grossa e Muito Grossa), AP (classes de gota Grossa e Muito Grossa) e PROD (classes de gota Média e Grossa), indicando que o maior volume de aplicação promoveu melhores respostas nessas variáveis.

Em termos práticos, os resultados encontrados neste estudo podem ser úteis para nortear operações de aplicação visando o manejo da matocompetição na cultura do milho ou no consórcio milho-braquiária, além de outros programas de controle de plantas daninhas por aplicações de herbicidas.

5 CONCLUSÕES

A mistura dos herbicidas atrazine com nicosulfuron ($2500 + 15 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), é eficaz no manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária. Apenas a espécie *D. horizontalis* (capim-colchão) não é controlada.

Em um cenário de baixa densidade de plantas daninhas, os tratamentos avaliados neste estudo não apresentam diferenças significativas no rendimento de MSPA de braquiária e produtividade de grãos de milho.

Em um cenário de alta densidade de plantas daninhas, a utilização do volume de aplicação de 144 L.ha^{-1} proporciona maior nível controle das plantas daninhas do que o volume de 77 L.ha^{-1} , com impactos positivos sobre os caracteres biométricos e produtivos do milho.

A utilização da classe de gota muito grossa satisfaz o manejo da matocompetição no consórcio milho-braquiária, proporcionando a eficácia biológica esperada dos herbicidas, com menor risco de deriva.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F.S. *et al.* Manejo de plantas daninhas em milho safrinha em cultivo solteiro ou consorciado à braquiária *ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1226-1233. 2011.
- ALMEIDA, D. P. *et al.* Condições atmosféricas e volumes de aplicação na dessecação de *Urochloa ruziziensis* e vegetação espontânea. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, DF, v. 13, n. 3, p. 245–251, 2014.
- ALMEIDA, D. P. *et al.* Droplets size categories and application volumes in burndown of plant covers. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, DF, v. 14, n. 1, p. 73-82, 2015.
- ALMEIDA, R. E. M. de *et al.* Nitrogen recovery efficiency for corn intercropped with palisade grass. **Bragantia**, Campinas, v. 77, n. 4, p. 557–566, 2018.
- AMBIEL, A. C. *et al.* Agrupamento de acessos e cultivares de três espécies de *Brachiaria* por RAPD. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 457–464, 2008.
- ANSI/ASABE. ANSI/ASABE S572.1: **Spray nozzle classification by droplet spectra**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- ANTUNIASSI, U. R. *et al.* Correlation between drift and droplet spectra generated by flat fan nozzles. **Aspects of Applied Biology**, [s. l.], n. 122, p. 371-376. 2014.
- ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. 373p.
- ARF, O. *et al.* Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 3, p. 431-444, 2018.
- AZEVEDO, A. Tratamentos.ad: Pacote para análise de experimentos com testemunhas adicionais. R package version 0.2.3. 2022
- BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, n. 61, p. 780-785, 2014.
- BALBINOT, C. *et al.* Período crítico de interferência de plantas daninhas na cultura do milho. **Unoesc & Ciência - ACET Joaçaba**, v. 7, n. 2, p. 211-218, 2016.
- BAPTISTELLA, J. L. C. *Urochloa* in Tropical Agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 119, n. 4. 2020.
- BARZAN, R. R. *et al.* Soil chemical attributes and nutritional status of soybean and maize intercropped with *Urochloa* under nitrogen rates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 113, n. 4, p. 3628–3638. 2021.
- BIOCCA, M. *et al.* Evaluation of Drift-Reducing Nozzles for Pesticide Application in Hazelnut (*Corylus avellana* L.). **AgriEngineering**, [s. l.], v. 3, n.2, p. 230-239. 2021.

BLANCO-CANQUI, H.; WORTMANN, C. S. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 198, p. 104534. 2020.

BORGES, W. L. B. *et al.* Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 755-763, 2014.

BRAUN-BLANQUET, J. **Fitossociologia**: bases para el estudio de las comunidades vegetales. Madri: H. Blume, 1979, 820 p.

BRIGHENTI, A.M.; OLIVEIRA, M.F de. Biologia de plantas daninhas. *In*: OLIVEIRA JR, R.S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (ed). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**, Curitiba: Omnipax, 2011. p. 1-36.

BUTTS, T.R. *et al.* Droplet size and nozzle tip pressure from a pulse-width modulation sprayer. **Biosystems engineering**, London, n. 178, p. 52-69, 2019.

BUTTS, T.R. *et al.* Spray Droplet Size and Carrier Volume Effect on Dicamba and Glufosinate Efficacy. **Pest Management Science**, Sussex, v. 74, n. 9, p. 2020–2029, 2018.

CAGNA, C. P. *et al.* Structural properties of soil in maize and forage grass intercropping under no-tillage in the brazilian cerrado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n.4, p. 512-517, 2019.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Artmed Editora, 2009.

CANISARES, L. P. *et al.* Maize-Brachiaria intercropping: A strategy to supply recycled N to maize and reduce soil N₂O emissions? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 319, 107491, 2021.

CARVALHO, F. K. *et al.* Blade angle effect on droplet size spectrum of rotary atomizers used in Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 6, p. 1118-1125, 2016.

CARVALHO, F. K. *et al.* Viscosity, surface tension and droplet size of sprays of different formulations of insecticides and fungicides. **Crop Protection**, Guildford, v. 101, p. 19-23, 2017.

CARVALHO, Fernando Kassis. **Influência de adjuvantes de calda no depósito e deriva em aplicações aéreas e terrestres**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

CAVENAGHI, A. L.; CARBONARI, C. A. Tecnologia de Aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas. *In*: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (Org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 261-282.

CECCON G. *et al.* Consórcio milho-braquiária com densidades populacionais da forrageira no centro-sul do brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, p. 157-167. 2018.

CECCON, G. *et al.* Consórcio milho-braquiária com densidades populacionais da forrageira no centro-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 1, p. 157-167, 2018.

CHECHETTO, R. G. *et al.* Caracterização da taxa de aplicação e pontas de pulverização utilizadas no Estado de Mato Grosso. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 1, p. 89-97, 2017.

CHECHETTO, R. G., & ANTUNIASSI, U. Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 3, p. 130–142, 2012.

CHEN, S. *et al.* Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. **Agronomy**, Madison, v. 10, n. 2, 195, 2020.

CIENIAWSKA, B. *et al.* Correlation and Regression Analysis of Spraying Process Quality Indicators. **Applied Scieces**, [s. l.], v. 12, 12034, 2022.

COELHO, C. *et al.* Drop spectrum in backpack sprayers in scarlet eggplant (*Solanum aethiopicum*). **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 17, n.6, p. 14–21, 2022.

CONTIERO, R.L.; BIFFE, D.F.; CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO, *et al.* **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 401-449.

CORRÊA G. C. *et al.* Management of *Urochloa ruziziensis* with glyphosate in integrated system with glyphosate-resistant corn. **Revista de Agricultura Neotropical**, Dourados, v. 6: p. 63-68, 2019.

COSTA N. R. *et al.* Acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 4, p. 1223-1233, 2014.

COSTA, J. L. B. da *et al.* Herbicide management for the control of sourgrass and mission grass and for congo grass suppression. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 8, p. 61857–61870, 2020a.

COSTA, L.L. *et al.* Compatibilidade Físico-Química de Diferentes Doses e Misturas de Herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, DF, v. 19, n. 3, p. 1-8, 2020b.

COURSHEE, R.J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D. C. (Ed.) **Fungicide: an advanced treatise**. New York: Academic, 1967. p. 239-86.

CREECH, C. F. *et al.* Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. **Weed Science Society of America**, Lawrence, v. 29, p. 298-310, 2015.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Effect of intercropping on yields of corn with different relative maturities and palisadegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 3, p. 599-606, 2013.

CUNHA, J.P.A. R., *et al.* Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p.325-332, 2003.

- D'AMICO-DAMIÃO, V. *et al.* Intercropping maize and succession crops alters the weed community in common bean under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 50, 2020.
- DAN H. A. *et al.* Controle de plantas daninhas em sistemas de cultivo consorciados. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, DF, v.11. p.108-118. 2012.
- DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 431 p.
- DUARTE, A. P. *et al.* Milho. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR, D.; BOARETTO, R. M., VAN RAIJ, B. (ed.) **Boletim 100: Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas: Campinas, 2022, p. 199-208.
- EMBRAPA. **Gotas**: software para avaliação da qualidade da pulverização agrícola. Versão 3.0.1. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1421/gotas---programa-de-calibracao-de-pulverizacao---gotas>. Acesso em: 09 mar. 2023.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical Yearbook 2021**. Rome, 2021. 368 p.
- FERGUSON J.C. *et al.* Effect of spray droplet size on herbicide efficacy on four winter annual grasses. **Crop Protection**, Guildford, v. 112, p. 118–124, 2018.
- FERGUSON, J. C. *et al.*, Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, Guildford, v. 81, p. 14–19, 2016.
- FERGUSON, J.C. *et al.* Determining the uniformity and consistency of droplet size across spray drift reducing nozzles in a wind tunnel. **Crop Protection**. Guildford, v. 76, p. 1-6, 2015.
- FERREIRA, E. *et al.* ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. **Applied Mathematics**, Lausanne, v. 5, p. 2952-2958, 2018.
- FERREIRA, R. C. U. *et al.* An overview of the genetics and genomics of the *Urochloa* species most commonly used in pastures. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 12, 770461, 2021.
- FOSTER, R. **Controle das plantas invasoras na cultura do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. 46 p.
- FREITAS M. A. M. de *et al.* Biological attributes of soil cultivated with corn intercropped with *Urochloa brizantha* in different plant arrangements with and without herbicide application. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 254, p. 35-40. 2018.
- FREITAS, M. A. M. *et al.* Physiological characteristics of corn intercropped with different arrangements of palisade grass plants. **Advances in Weed Science**, Londrina, v. 39, e021230847, 2021.

GALVAN, J. *et al.* Evolution of ryegrass seed banks depending on soil tillage and crops. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 183-191, 2015.

GHENO, E.A. *et al.* Herbicides to ruzigrass suppression in intercropping with corn. **Weed Control J.**, v. 20, p. e202100736, 2021.

GRIESANG, F.; FERREIRA, M. da C. Tecnologia de aplicação para herbicidas. In: MARTINS, A. A.; MURATA, A. T. (org.). **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. p. 428 – 449.

GRIGOLLI J. F. J.; GITTI D. C.; LOURENCAO A. L. F. Controle de plantas de soja e supressão do capim em milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 84, p. 1-7, 2017.

GRIGOLLI, J.F.J *et al.* Controle de plantas de soja e supressão do capim em milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 84, p. 1-7, 2018.

HEWITT, A.J. Spray optimization through application and liquid physical property variables-I. **Environmentalist**, New York, v. 28, p. 25- 30. 2008.

IKEDA, F. S. *et al.* Interferências no consórcio de milho com *Urochloa* spp. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 10, p. 1763-1770, 2013.

ISO. ISO/DIS 22856-1. **Equipment for Crop Protection: laboratory measurement of spray drift: Part 1: Wind Tunnels**, 2005.

KASHDAN, J. T.; SHRIMPTON, J. S.; WHYBREW, A. Two-phase flow characterization by automated digital image analysis. Part 1: fundamental principles and calibration of the technique. **Particle & Particle System Characterization**, Weinheim, v. 20, n. 6, p. 387-397. 2003.

KASSAMBARA, A. _ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots_. R package version 0.4.0. 2020.

KNOCHE M. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. **Crop Protection**, Guildford, v. 13, n.3, p. 163–178, 1994.

KOTTEK, M. *et al.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 15, n. 3, p. 259-263. 2006.

KRUGER, G. R.; ANTUNIASSI, U. R. Deriva na pulverização em culturas anuais. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 319-329.

KUDSK, P. Optimising Herbicide Performance. In: NAYLOR, R. E. L. (ed). **Weed management handbook**. 9. ed. [S. l.]: Blackweel Science, 2002. p. 323-344.

LAMEGO, F. P.; SCHAEGLER, C. E. Fisiologia vegetal e a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 233-245.

- LEGLEITER, T. R.; JOHNSON, W. G., Herbicide coverage in narrow row soybean as influenced by spray nozzle design and carrier volume. **Crop Protection**, Guildford, v. 83, p. 1–8, 2016.
- LIMA S.F. *et al.* Suppression of *Urochloa brizantha* and *U. ruziziensis* by glyphosate underdoses. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, p. 581-589, 2019.
- LOPES, L.L.; REIS, E.F. Spectrum of spray droplets with different nozzles and adjuvants. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 1-6. 2020.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 384 p.
- MACHADO L. A. Z. *et al.* Identificação e Características de Forrageiras Perenes para Consórcio com Milho. In: CECCON, G (Ed.). **Consórcio Milho-Braquiária**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 49-68.
- MADUREIRA, R.P.; RAETANO C. G.; CAVALIERI, J. D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2 p.180-185, 2015.
- MAKINO, P. A, *et al.* Produtividade e teor de nutrientes em populações de milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 18, n. 2, p. 206-220, 2019.
- MARTINS D.A. *et al.* Intercropping between corn and *Urochloa brizantha* managed with mesotrione underdoses. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 37, p. 1-10, 2019.
- MARTINS, D. A.*et al.* Manejo do Consórcio entre milho e *Urochloa brizantha* com subdoses de tembotrione. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 5528, 2018.
- MARTINS, R. N. *et al.* Effect of nozzle type and pressure on spray droplet characteristics. **Idesia**, Arica, v. 39, n. 1, p. 101-107, 2021.
- MASSINON M.; BOUKHALFA H.; LEBEAU F. The effect of surface orientation on spray retention. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 15, p. 241–25, 2014
- MATTHEWS, G.A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Pesticide application methods**. 4. ed. Oxford: John Wiley & Sons, 2014. 517 p.
- MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.
- MECHI, I. A. *et al.* Infestação de plantas daninhas de difícil controle em função de anos de consórcio milho-braquiária. **Revista de Agricultura Neotropical**, [s. l.], v. 5, p. 49-54, 2018.
- MILLER, P.C.H.; BUTLER ELLIS, M. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, Guildford, v. 19, p. 609–615, 2000.

MINGOTTE, F. L. C. *et al.* Maize yield under *Urochloa ruziziensis* intercropping and previous crop nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Maringá, v. 113, n. 2, p. 1681-1690, 2021.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley e Sons, 1974. 547 p.

OLIVEIRA JR, R. S. Mecanismo de ação de herbicidas. *In*: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOE, M. F. (ed). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ompipax, 2011. p. 141-192.

OLIVEIRA, A. R.; FREITAS, S. P. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 33-46, 2008.

OLIVEIRA, R. B. de *et al.* Formulações e misturas de herbicidas em tanque. *In*: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. (org.) **Matologia: Estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, p.205-252.

OLIVEIRA, R.B. *et al.* Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p.109-116. 2015.

OLIVEIRA, S. M. *et al.* Contribution of corn intercropped with *Brachiaria* species to nutrient cycling. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, p. 1-9, 2019.

PARIZ, C. M. *et al.* Silage production of corn intercropped with tropical forages in an integrated crop-livestock system with lambs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, p. 54-62, 2017.

PERECIN, D. *et al.* Padrões de distribuição obtidos com bicos TF-4, TJ60-11006 e TQ15006 em mesa de prova. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 1, p. 175-82, 1998.

QIN, W.C. *et al.* Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. **Crop Protection**, Guildford, v. 85, p. 79–88, 2016.

QUEIROZ R. F. *et al.* Maize intercropped with *Urochloa ruziziensis* under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, p. 238-244, 2016

RAETANO, C. G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. *In*: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 17-27.

RAMSDALE B. K., MESSERSMITH C. G. Nozzle, spray volume, and adjuvant effects on carfentrazone and imazamox efficacy. **Weed Technology**, Cambridge, v. 15, n.3, p. 485–49, 2001.

REVELLE W. **psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research**. R package version 2.2.5. 2020.

REZENDE, P.N. *et al.* Eficiência de herbicida aplicado em pós-emergência em milho consorciado com *Urochloa brizantha* cv. Marandu. **Revista Agro@ambiente [on-line]**, Natal, v. 8, p. 345-51, 2014.

RITZ, C.; STREIBIG, J. C. **Dose response curves and other nonlinear curves in Weed Science and Ecotoxicology with the add-on package drc in R.** [S. l.: s. n.], 2012.

ROBERT E.E. *et al.* Effect of venturi-type nozzles and application volume on postemergence herbicide efficacy. **Weed Technology**, Cambridge, v.15, p.75–80, 2001.

RODRIGUES, B. N., ALMEIDA F. S. **Guia de herbicidas**. 7. ed. Londrina: Edição dos autores, 2018. 764p.

SANTOS, C. A. M. *et al.* Regulagem, manutenção e calibração de pulverizadores agrí colas. In: CASTILHO, R. C.; BARILLI, D. R.; TRUZI, C. C. (org.). **Tópicos em Entomologia Agrícola**. Jaboticabal: Multipress, 2017. p. 179-190.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, M. V. *et al.* Integrated crop–forage–forestry for sustainable agricultural systems: productive performance. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 94, n. 2, p. 417–427, 2019.

SANTOS, S. F.da C. B. dos *et al.* Soil microbiological attributes and soybean grain yield in succession to corn intercropped with forage in the Maranhão eastern cerrado. **International Journal of Plant Production**, Basel, v. 15, n. 4, p. 669–677, 2021.

SARMENTO, H. G. S. *et al.* Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de bananicultura no Vale do Rio Gorutuba, norte de Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente On-line**, Natal, v. 9, n. 3, p. 308-316, 2015.

SARTO, M. V. *et al.* Soil microbial community and activity in a tropical integrated crop-livestock system. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 145, p. e103350, 2020.

SAYINCI, B.; BASTABAN, S., Spray distribution uniformity of different types of nozzles and its spray deposition in potato plant. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 6, n. 1, p. 352–362, 2011.

SCHAMPHELEIRE, de M. *et al.* Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture**, New York, v. 10, n. 5, p. 409-420, 2009.

SCHNEIDER, J. L. *et al.* 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, 2013.

SEEFELDT, S.S. *et al.* Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**, Cambridge, v. 9, p. 218-227, 1995.

SENSEMAN, S. A. **Herbicide handbook**. 9. ed. Lawrence: Weed Science Society of America., 2007. 458 p.

- SHAN C. F. *et al.* Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV. **Int J Agric & Biol Eng**, [s. l.], v.14, n.1, p. 74–81, 2021.
- SILVA, P. I. B. *et al.* Crescimento e rendimento do milho e da braquiária em sistema consorciado com diferentes manejos de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 32, p. 301-309, 2014.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS (SBCPD). **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**, PR, Londrina, 1995. 42 p.
- SOUZA, S. S. de *et al.* Do the intercropping with *Crotalaria spectabilis* and *Urochloa ruziziensis* reduce the maize agronomic performance? **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 52, e70513, 2022.
- STAINIER, C. *et al.* Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. **Crop protection**, Guildford, v. 25, n. 12, p. 1238-1243, 2006.
- TRIVIÑO, N. J. *et al.* Genetic diversity and population structure of *Brachiaria* species and breeding populations, **Crop Science**, v. 57, n. 5, p. 2633–2644, 2017.
- VALLADARES NETO, J. *et al.* *Boxplot*: Um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Rev. Odontol. Bras. Central**, [s. l.], v. 26, n.76. p. 1-6, 2017
- VARGAS, L. A. *et al.* Soil seed bank phytosociology in no-tillage systems in the southwestern Amazon region. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 8, n. 1, p. 3399-3413, 2017.
- VARGAS, L.; PEIXOTO, C.M.; ROMAN, E.S. **Manejo de plantas daninhas na cultura do milho**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006, 20 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 61). Disponível em: www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do61.pdf. Acesso em: 10 nov. 2022.
- VIANA, R. G. *et al.* Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.
- VIEIRA, L. C., *et al.* Interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva de glifosato. **Energia na Agricultura**, v. 34,n.3, p.331–340, 2019.
- VILELA, L. *et al.* Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1127-1138, 2011.
- WANG G. B. *et al.* Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: Effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest Management Science**, São Paulo, v. 75, n.6, p.1546–1555. 2019.
- WANG, G.B. *et al.* Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Science of the Total Environment**, v. 737, p. 139793, 2020
- WEI, T.; SIMKO V. R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.92). 2021.

WENNECK, G. S. *et al.* Yield and economic analysis of corn and brachiaria intercropping in the northwestern Paraná. **Revista de Agricultura Neotropical**, [s. l.], v. 8, n. 4, e6163, out./dez. 2021.

WICKHAM, H. *et al.* `dplyr`: A Grammar of Data Manipulation_. R package version v. 1.0.9. 2022

WICKHAM, H. **ggplot2**: Elegant Graphics for Data Analysis. New York: Springer-Verlag, 2016. v. 10.