



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D AMINA COM
DIFERENTES VOLUMES E PONTAS DE PULVERIZAÇÃO**

LÉLIO AUGUSTO DE SOUZA

2010

LÉLIO AUGUSTO DE SOUZA

**EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D AMINA COM
DIFERENTES VOLUMES E PONTAS DE PULVERIZAÇÃO**

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

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

Co-orientador

Prof. Dr. Luiz Alfredo Pavanin

**UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010**

LÉLIO AUGUSTO DE SOUZA

**EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D AMINA COM
DIFERENTES VOLUMES E PONTAS DE PULVERIZAÇÃO**

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

APROVADA em 24 de setembro de 2010.

Prof. Dr. Juan José Olivet Martínez

UDELAR

Prof. Dr. Carlos Alberto Alves de Oliveira

IFTM

Prof. Dr. Luiz Alfredo Pavanin

UFU

Prof. João Paulo A. Rodrigues da Cunha
ICIAG - UFU
(Orientador)

**UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010**

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares, a quem dedico muito amor, e que não mediram esforços, no apoio a minha formação pessoal e cultural. A eles minha profunda gratidão.

OFEREÇO

A minha mãe Neusa e minha esposa Kellen, pelo amor e compreensão. Elas foram o apoio a mais para esta conquista que, sem dúvida, juntos conseguimos.

AGRADECIMENTOS

Á Deus por me ajudar a superar as dificuldades vividas durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, meu grande orientador, pela amizade, compreensão nos momentos difíceis e confiança depositada em minha capacidade para a realização desta dissertação.

É importante ressaltar que, neste período, pude conhecer o significado de “Orientador-pai”, pois não foram somente repasses de conhecimentos técnicos, mas também o ensinamento de valores como respeito pelo ser humano.

Ao Prof. Dr. Luiz Alfredo Pavanin, pela colaboração, confiança e contribuição para o sucesso do trabalho.

Aos caros colegas de trabalho, pela boa convivência, ensinamentos e conhecimentos transmitidos, durante este período.

A minha esposa Kellen, que sempre esteve ao meu lado me apoiando e me ajudando a enfrentar as dificuldades.

Aos meus amigos e colegas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial: Mariana, Guilherme e Ildo. Meu muito obrigado pelos momentos de convivência, tão agradáveis e importantes.

A todos que contribuíram para esta conquista meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 Controle químico de plantas infestantes.....	5
3.1.1 Destino dos herbicidas.....	7
3.1.2 Classificação dos herbicidas.....	7
3.2 Herbicida 2,4-D Amina.....	8
3.3 Tecnologia de aplicação de agroquímicos.....	10
3.3.1 Pontas de pulverização.....	11
3.3.2 Volume de calda.....	12
3.4 Metodologias para o estudo de deposição.....	13
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
6 CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS.....	31
ANEXO.....	38

RESUMO

SOUZA, LÉLIO AUGUSTO DE. **Eficiência de aplicação do herbicida 2,4-D Amina com diferentes pontas e volumes de pulverização.** 2010. 39 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

A tecnologia de aplicação de fitossanitários visa à colocação uniforme do produto no alvo, com mínimas perdas para o solo e por deriva, sendo vários os danos causados pelas perdas desses produtos em áreas cultivadas. Neste contexto, o herbicida 2,4-D Amina representa um produto de grande preocupação ambiental e, ainda, de grande uso na agricultura contemporânea. Desta forma, visando uma maior eficiência no controle de plantas infestantes em operação de dessecação, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o processo de aplicação do herbicida 2,4-D Amina, com a utilização de diferentes pontas e volumes de pulverização, quanto à deposição de calda, perdas para o solo, deriva e controle de plantas infestantes. O experimento de campo foi realizado na estação de pesquisa da Syngenta Seeds Ltda, localizada no município de Uberlândia-MG, e a parte laboratorial no Laboratório de Análise de Água do Instituto de Química e no Laboratório de Mecanização Agrícola do Instituto de Ciências Agrárias, ambos na Universidade Federal de Uberlândia. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas, em esquema fatorial 3x2: três pontas de pulverização (ponta de jato plano duplo de pré-orifício, ponta de jato plano defletor e ponta de jato plano defletor com indução de ar) e dois volumes de calda (80 L ha^{-1} e 130 L ha^{-1}). Cada parcela experimental apresentou uma área de 35 m^2 ($7 \times 5 \text{ m}$). O ingrediente ativo utilizado foi o 2,4-D Amina (na concentração de 806 g L^{-1} de i.a), na dose de 1 L ha^{-1} de produto comercial. Juntamente à calda de aplicação, foi adicionado também um traçador composto do corante alimentício Azul Brilhante (catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1), na dose de 300 g ha^{-1} . Para avaliar o processo de aplicação do herbicida 2,4-D Amina, foi realizado o estudo de deposição da calda nas plantas infestantes, perdas para o solo e perdas por exoderiva. Também foi realizado o estudo de controle das plantas infestantes presentes na área. O estudo de deposição, deriva e perdas para solo foi feito por duas metodologias distintas, buscando verificar a relação e concordância entre elas: análise direta do ingrediente ativo 2,4-D Amina, através do método de cromatografia líquida (HPLC), e análise indireta por meio da quantificação do traçador adicionado à calda, utilizando o método da espectrofotometria. De acordo com os resultados do experimento, pode-se concluir que o volume de aplicação de 80 L ha^{-1} pode ser utilizado na dessecação de plantas infestantes com o herbicida 2,4-D Amina, sem comprometer a cobertura do alvo; pontas de jato plano defletor com indução de ar promoveram maior perda de herbicida para o solo; as diferentes pontas de pulverização empregadas, com gotas médias, grossas e muito grossas, bem como os volumes de aplicação de 80 L ha^{-1} e 130 L ha^{-1} , não influenciaram o controle das plantas infestantes; e os resultados do estudo de deposição e perdas para o solo obtidos com a metodologia da cromatografia líquida não foram semelhantes aos obtidos com a espectrofotometria.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia de aplicação, plantas infestantes, deposição de calda.

¹Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU e Co-orientador: Luiz Alfredo Pavanin - UFU.

ABSTRACT

SOUZA, LÉLIO AUGUSTO DE. **Efficacy of 2,4-D Amina herbicide application with different nozzles and spray volumes.** 2010. 39 p. Dissertation (Master's degree in Agriculture/Plant Technology) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

Pesticide spray technology aims the uniform deposition of products in the target, with minimal losses to se soil or drift, which may have consequences in agricultural areas. In this context, the herbicide 2,4-D Amina represents a product with great environmental concern, but still widely used in modern agriculture. Thus, to obtain greater infesting plants control during desiccation, this study evaluated the spray process for the herbicide 2,4-D Amina, with the use of different spray nozzles and volumes, in relation to pesticide deposition, losses to the soil, drift and weed control. The field experiment was done at the research station of Syngenta Seeds Ltd., located in Uberlândia-MG, and the laboratory analyses were done at the Laboratório de Análise de Água do Instituto de Química and at the Laboratório de Mecanização Agrícola do Instituto de Ciências Agrárias, both of Universidade Federal de Uberlândia. The experimental design was randomized blocks with six treatments and four replications, in a total of 24 plots, as a 3x2 factorial: three spray nozzles (drift guard twin flat fan, turbo flat fan and air induction turbo flat fan) and two spray volumes (80 L ha⁻¹ and 130 L ha⁻¹). Each experimental unit was 35 m² (7 x 5 m). The active ingredient used was 2,4-D Amina (at 806 g a.i. L⁻¹) at the dose 1 L c.p. ha⁻¹. A tracer, made of Brilliant Blue food dye (internationally registered by the “Food, Drug & Cosmetic” as FD&C Blue n.1), at 300 g ha⁻¹, was added to the spray mixture. The spray process was studied by the deposition on the weeds, losses to the soil, and losses by exodrift. Also, the control of weeds on the area was studied. The deposition study, drift and losses to the soil was done by two distinct methods, to determine the relation and agreement between them: direct analysis of the active ingredient 2,4-D Amina, by liquid chromatography (HPLC), and the analysis by quantification of the tracer added to the mixture, using spectrophotometry. According to the results of the experiment, it can be concluded that the spray volume of 80 L ha⁻¹ can be used for weed desiccation with the herbicide 2,4-D Amina, without compromising target coverage; air induction turbo flat fan nozzles promoted greater herbicide loss to the soil; the different nozzles used, with medium, coarse, and very coarse droplets, as well as the spray volumes 80 L ha⁻¹ and 130 L ha⁻¹, did not affect weed control; and the results of the deposition study and losses to the soil, obtained by liquid chromatography were not similar to those obtained by spectrophotometry.

KEYWORDS: Spray technology, weed plants, deposition.

¹Supervisor: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU; Co-Supervisor: Luiz Alfredo Pavanin - UFU.

1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola no Brasil vem demonstrando contínuos aumentos durante os últimos anos, sendo essa constatação evidenciada pelo crescente uso dos agroquímicos. Contudo, a maior ocorrência ou incidência de novos agentes nas lavouras (plantas infestantes, insetos, pragas e patógenos) aliadas à preocupação em relação à contaminação do ambiente e a baixa eficiência dos equipamentos de pulverização tem causado grande inquietação na sociedade.

Além de se conhecer o produto a ser aplicado, sua formulação, mecanismo de ação e características físico-químicas, também é necessário dominar a forma adequada de aplicação, de modo a garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando as perdas.

A aplicação de agroquímicos de maneira incorreta pode acarretar danos à saúde do homem e ao ambiente. Ainda que esses prejuízos não venham a ocorrer, os erros durante a aplicação podem reduzir a eficácia de um produto no controle de determinada praga, levando a prejuízos econômicos por queda da produtividade e/ou necessidade de uma reaplicação. Para que exista eficácia em um tratamento, o produto aplicado precisa atingir o alvo no qual irá cumprir seu propósito, pois falhas na aplicação geralmente implicam em produtos químicos que não chegam ou não se fixam em seu alvo.

São vários os fatores que contribuem para que a quantidade de calda que sai dos pulverizadores não seja a mesma que atinge o alvo, o que implica na necessidade de treinamento das pessoas que realizam e comandam a operação de aplicação. Entre eles destacam-se: evaporação, deriva, perdas para o solo e vazamentos.

Nas décadas passadas, pouca atenção era dada à tecnologia de aplicação, pois o interesse consistia em molhar bem o alvo, o que se conseguia mediante um volume de calda bastante alto. Atualmente, entretanto, existe tendência a reduzir esse volume, a fim de diminuir os custos de produção e aumentar a eficiência da pulverização. Essa redução requer, no entanto, um aprimoramento da tecnologia de aplicação empregada no campo, principalmente no que se refere à seleção da ponta de pulverização e do volume de calda. As pontas constituem um dos principais componentes dos pulverizadores hidráulicos, sendo o conhecimento de seu espectro de gotas fundamental para o sucesso de uma aplicação.

Dentre os processos que necessitam de otimização, destaca-se a aplicação de herbicidas. O controle de plantas infestantes consiste na adoção de certas práticas que resultam na redução da infestação e no controle das plantas infestantes até o desenvolvimento e crescimento da cultura principal, sem que haja por parte das plantas infestantes uma competição. As plantas infestantes que atuam de forma negativa competem com a cultura por espaço, nutrientes, água e luminosidade, dentre outros fatores de concorrência que contribuem expressivamente causando redução na produção.

A demanda de aplicação de grande volume de herbicidas foi causada, nos últimos anos, principalmente pela evolução do sistema de plantio direto em áreas cada vez mais extensas. Porém, o uso indiscriminado de agroquímicos sem os devidos critérios e sem conhecimento da ação e dos efeitos secundários pode acarretar danos irreversíveis.

Os agroquímicos são essenciais para qualquer sistema de produção agrícola, contudo, por serem substâncias de alto risco, devem ser empregadas de forma criteriosa. Trabalhar com esses produtos implica obediência a um conjunto de leis, de normas e de técnicas que garantam a segurança do trabalhador, a saúde do consumidor e o equilíbrio do meio ambiente (GONÇALVES, 1999).

O solo, necessariamente, representa um reservatório final dos herbicidas, podendo se tornar a fonte de onde os resíduos podem ser liberados para a atmosfera, lençol freático e organismos vivos presentes na estrutura. O comportamento dos herbicidas no solo é bastante complexo e é resultante de vários fatores, sendo um deles a interação com os constituintes das diferentes frações contidas no solo (ácido húmico, ácido fúlvico, humina, argila, óxidos e etc.).

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

Neste contexto, o herbicida 2,4-D amina representa um produto de grande preocupação mundial, contudo, como outros ingredientes ativos, o 2,4-D Amina oferece riscos ao ambiente natural e à saúde humana, quando mal manejado. Entretanto, se

forem observadas todas as recomendações técnicas para a correta utilização desse herbicida, esses riscos são minimizados.

O 2,4 D Amina, comercializado mundialmente para utilização essencialmente agrícola, é registrado junto às repartições públicas brasileiras competentes. Com relação à preocupação quanto à volatilidade, o 2,4 D Amina, que é a apresentação comercial atual do 2,4 D Amina, não é considerado um produto volátil, como potencialmente era a apresentação do 2,4 D Éster, usado em décadas passadas. A formulação Éster não é comercializada no Brasil há vários anos, sendo que a única formulação existente, a amina, não é volátil, representando segurança para o uso agrícola.

Trata-se de um produto de grande uso na agricultura contemporânea, mas muito questionado quanto ao risco ambiental. Com o uso extensivo e muitas vezes inadequado, o 2,4 D Amina tornou-se um problema, principalmente devido à contaminação do solo e de água subterrânea (FU et al., 2009).

Dessa forma, nota que há a necessidade de estudos para otimizar a aplicação do 2,4 D, o que permitirá uma melhor eficiência de aplicação, traduzida por redução de custos, lavouras com menos problemas fitossanitários e ambiente preservado.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o controle de plantas infestantes, a deposição de calda, as perdas para o solo e a deriva após a aplicação do herbicida 2,4-D Amina, com a utilização de diferentes pontas e volumes de pulverização, e comparar os resultados de deposição de calda obtidos pela metodologia da cromatografia líquida e da espectrofotometria.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Controle químico de plantas infestantes

O controle de plantas infestantes, numa dimensão técnica e econômica, por meio de produtos químicos, iniciou-se no começo do século XX, com sais e ácidos fortes (DEUBER, 1992). Entretanto, somente depois de 1944, com a descoberta das propriedades fitotóxicas do 2,4-D, é que essa técnica atingiu desenvolvimento segundo linhas mais científicas (LORENZI, 2000).

O controle químico obedece ao princípio de que certos produtos químicos são capazes de matar plantas infestantes, e muito mais importante é que muitos deles podem matar apenas alguns tipos de plantas, sem causar injúrias a outras (LORENZI, 2000).

O manejo de plantas infestantes em dessecação está baseado especificamente na medida de utilização de produtos químicos. O principal método de controle das plantas infestantes empregado pelos produtores que praticam o sistema de plantio direto é o uso de herbicidas, aplicados em condições de pré-emergência ou pós-emergência inicial ou eventualmente em condições de pós-emergência tardia (CHRISTOFFOLETI et al., 2005).

O controle de plantas infestantes é uma prática de elevada importância para a obtenção de altos rendimentos em qualquer exploração agrícola, e tão antiga quanto à própria agricultura. As plantas infestantes constituem grande problema para a cultura a ser instalada e seu controle é de grande importância para conquistar uma boa produção. Conforme a espécie, a densidade e a distribuição da planta infestante na lavoura, as perdas são significativas. As plantas infestantes prejudicam a cultura porque com elas competem pela luz solar, pela água e pelos nutrientes, podendo, dependendo do nível de infestação e da espécie, dificultar a operação de colheita e comprometer a qualidade do grão (EMBRAPA, 2003).

A adoção do sistema de plantio direto pressupõe um efetivo controle da planta infestante voluntária ou mesmo um manejo das coberturas vegetais antes da semeadura das culturas. Essa operação de controle denomina-se de dessecação ou manejo da área, sendo realizada com o uso de herbicidas sistêmicos ou de contato não seletivos e ainda, com diferentes misturas. Emprega-se, além do dessecante, um herbicida latifolícola para aumentar o espectro de ação sobre as plantas infestantes dicotiledôneas, podendo

adicionar à mistura um herbicida residual seletivo para a cultura, com a finalidade de cobrir o período crítico de competição entre as plantas infestantes e as plantas cultivadas (HECKLER; SALTON, 2002; MELHORANÇA, 2002).

Do ponto de vista agrônomo, o conhecimento da estrutura de uma comunidade de plantas infestantes é muito importante. Antes de determinar um programa de controle, é necessário estabelecer uma ordem de prioridades entre as espécies presentes. As espécies predominantes, pela abundância e nocividade, deverão receber uma atenção especial, concentrando quase todos os esforços de controle. Embora as espécies secundárias não requeiram atenção individualizada, não se deve ignorar sua presença (FERNÁNDEZ-QUINTANILLA et al., 1991). Há exemplos de inversão das importâncias relativas das espécies, devido à adoção de métodos de controle (MONQUERO; CHRISTOFFOLETI, 2003) e à alteração no sistema de cultivo (VOLL et al., 2001) ou no esquema de rotação de culturas (BUHLER et al., 1997), como é o caso das espécies de corda-de-viola (*Ipomoea* spp. e *Merremia* spp.) que estão se tornando espécies de plantas infestantes de elevada importância em área de colheita de “cana crua”, por exemplo.

Em uma comunidade de plantas infestantes, nem todas as espécies exercem a mesma intensidade na interferência imposta ao desenvolvimento e à produtividade da cultura. Existem espécies dominantes, que são as que originam a maior parte da interferência, as espécies secundárias, presentes numa menor densidade e cobertura, e as acompanhantes, cuja presença é ocasional e que dificilmente resultam em problemas econômicos aos cultivos (FERNÁNDEZ-QUINTANILLA et al., 1991).

O grau de interferência das plantas infestantes nas culturas agrícolas pode ser definido como a redução percentual da produção econômica provocada pela convivência com a comunidade infestante. Esse grau de interferência depende de fatores ligados à própria cultura (espécie ou variedade, espaçamento e densidade de plantio), à comunidade infestante (composição específica, densidade e distribuição) e à época e extensão do período de convivência, podendo, ainda, ser influenciado pelas condições edáficas, climáticas e pelos tratos culturais (PITELLI, 1985).

A eficácia de um herbicida depende de diversos fatores, como as características físico-químicas e dose do herbicida, a espécie a ser controlada (características estruturais próprias), o estágio de desenvolvimento e a biologia da planta infestante, as técnicas de aplicação e os fatores ambientais no momento e após a aplicação dos herbicidas (VICTORIA FILHO, 1985; PROCÓPIO et al., 2003). Entre os fatores do

clima, são importantes a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar, a precipitação, a radiação solar, os ventos e o orvalho. Esses fatores interagem constantemente, provocando diferenças nas condições ambientais durante o dia (GAZZIERO, 1980; SKUTERUD et al., 1998). As plantas respondem a essas variações ambientais e a ação dos herbicidas também poderá estar sujeita às influências desses fatores (FORNAROLLI et al., 1999). Segundo Devine et al. (1983), quando um ou mais dos fatores ambientais citados não são satisfatórios, a eficácia de controle do herbicida aplicado em pós-emergência pode ficar comprometida.

3.1.1 Destino dos herbicidas

Quando as moléculas de determinado pesticida são aplicadas no ambiente, independentemente da forma de aplicação, o destino final, na maioria dos casos, será o solo. Já no solo, as moléculas podem seguir diferentes rotas, isto é, podem ser retidas nos colóides minerais e orgânicos e, a partir daí, passarem para formas indisponíveis ou serem novamente liberadas à solução do solo, processo conhecido como dessorção. As moléculas também podem ser transformadas em outras, chamadas de produtos de transformação ou metabólitos. O ponto final desta transformação, naturalmente para moléculas que atingem esta fase, é a mineralização à CO_2 , H_2O e íons minerais, o que se dá fundamentalmente via microorganismos. Se as moléculas se encontram na solução do solo, elas podem ser absorvidas pelas raízes das plantas ou serem lixiviadas para camadas subsuperficiais do perfil do solo, além de outros processos (PRATA, 2002).

No entanto, estes processos são dependentes do tipo de solo e das condições climáticas, e conhecê-los é importante para prever o comportamento de herbicidas nas classes de solo e para seleção de dosagens adequadas, bem como para evitar efeitos prejudiciais ao ambiente e às culturas subsequentes (BRADY, 1974; VELINI, 1992; RESENDE et al., 2002).

3.1.2 Classificação dos herbicidas

Existem diversas formas de classificar os herbicidas. De maneira geral, os herbicidas são seletivos ou não seletivos, com relação ao tipo de plantas que controlam. Pode-se dizer que um herbicida é dito seletivo para uma determinada cultura quando é capaz de controlar muitas plantas infestantes sem prejudicar fitotxicamente o

desenvolvimento da cultura. Já os herbicidas não seletivos, não possuem os mesmos resultados, agindo de forma a controlar todas as plantas após a aplicação e absorção do produto (LORENZI, 2000).

Com relação à translocação, podem ser classificados em herbicidas de contato, quando não se translocam, ou de ação sistêmica, quando se translocam pelo xilema ou floema, ou através de ambos. Quanto à época de aplicação, podem ser classificados em: herbicidas de pré-plantio incorporado, herbicidas de pré-emergência e herbicidas de pós-emergência. Ainda podem ser classificados quanto à estrutura química e mecanismo de ação, porém essas duas últimas, menos empregadas.

3.2 Herbicida 2,4-D Amina

O herbicida 2,4-D Amina, nome simplificado do ácido diclorofenoxiacético, é um dos herbicidas mais comuns e antigos do mundo. Foi desenvolvido na década de 40 como parte do esforço de um grupo de cientistas. No início de 1941, verificou-se que o 2,4-D tinha potencial para afetar os processos de crescimento em plantas de um modo semelhante aos reguladores de crescimento naturais de planta, razão pela qual o produto foi descrito depois como “hormonal” (INDUSTRY, 2009).

As primeiras patentes foram obtidas pela Dow Chemical Co. e American Chemical Paint Company (Union Carbide), em 1947. Atualmente, o 2,4-D Amina e outros produtos da mesma família química, conhecidos como fenoxiacéticos, estão sendo usados mundialmente como ferramenta básica na agricultura moderna.

O uso do 2,4-D Amina vem crescendo desde a sua introdução no mercado; no início, devido as suas vantagens como herbicida seletivo de baixo custo, e ultimamente, com a adoção do desenvolvimento da prática do plantio direto (que iniciou o conceito de agricultura ambientalmente sustentável), como uma ferramenta importante para controle de plantas daninhas.

O 2,4-D é classificado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (AMARANTE JÚNIOR, 2003) como um herbicida hormonal de toxicidade II. Segundo Kamrin (1999), igual classificação é dada pela Organização Mundial de Saúde (World Health Organization - WHO) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States- Environmental Protection Agency – US-EPA).

Apesar de estar no mercado agrícola há mais de 50 anos, o produto constitui-se ainda numa escolha eficaz no controle de plantas infestantes em cerca de 65 culturas,

incluindo arroz, milho, cana-de-açúcar e no controle de plantas arbustivas e tóxicas (BURNSIDE, 1996; RODRIGUES; ALMEIDA, 1998).

O 2,4-D Amina apresenta rápida degradação no solo, devido à atividade dos microrganismos, sendo que quanto maior a atividade microbiana presente no solo, mais rapidamente o 2,4-D Amina será degradado. Sua movimentação, ou seja, lixiviação é normalmente menor que 30 cm (PERGUNTAS..., 2004).

Conforme recomendação técnica, a utilização do herbicida 2,4-D, para implantação de algumas culturas, deve respeitar um intervalo de 10 dias de carência entre a aplicação e a semeadura. Aplicações que não obedeçam às recomendações técnicas podem provocar danos às culturas suscetíveis, como videira, algodão, feijão, café e à própria soja (ANDREI, 2005).

Hertwig (1983) relatou que esse produto químico possui ação sistêmica e atua desregulando o metabolismo das plantas, levando-as à morte. Além disso, promove epinastia, caracterizada pelo curvamento da folha para baixo, diminuindo a superfície de absorção de luz, causando distúrbios na síntese de proteínas e colapso de tecido (GIAFAGNA, 1987).

As principais características destes herbicidas, segundo Victória Filho (2003), são:

- Agem em locais de ligação da auxina com proteínas nas membranas celulares, provocando um desbalanço hormonal e afetando a síntese de proteínas;
- Apresentam translocação predominantemente simplástica, mas podem translocar pelo apoplasto, neste caso, as moléculas difundem-se na cutícula, movimentam-se pelos espaços intercelulares e penetram no floema, seguindo o curso dos nutrientes;
- São absorvido pelas folhas, raiz e caule;
- Controlam plantas daninhas dicotiledôneas em culturas de gramíneas;
- A volatilidade depende da formulação, sendo os ésteres mais voláteis;
- Deve-se tomar cuidado com a deriva quando existem culturas sensíveis próximos, como algodão, tomate, uva e cucurbitáceas;
- Devem-se adotar procedimentos de descontaminação dos pulverizadores após o uso com herbicidas desse grupo, utilizando amoníaco, a 3% e por 24 horas, e depois lavar com detergente. Também pode ser usado carvão ativado, a 3g L⁻¹ e por um a dois dias e, depois, lavagem com detergente.

O mecanismo de ação destes herbicidas ainda não está completamente esclarecido. Sabe-se que eles interferem no metabolismo do ácido nucléico e com os aspectos metabólicos da plasticidade da parede celular.

Os principais sintomas observados devido à ação no crescimento e nas estruturas das plantas são: epinastia nas folhas, retorcimento dos pecíolos, pedúnculos e caules; proliferação de tecidos no floema, provocando a redução na translocação de fotoassimilados; formação de raízes adventícias; e morte de raízes secundárias. A epinastia pode ocorrer minutos após a aplicação, o crescimento paralisa em horas e a formação de calos e raízes adventícias em dias. Como conseqüências dos sintomas e da paralisação de absorção de água e nutrientes, a planta morre.

De acordo com o Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários – Agrofít, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, consultado em março de 2010, encontram-se registrados 29 (vinte e nove) produtos formulados comerciais, tendo como princípio ativo o 2,4-D Amina, para aplicação em pré e pós-emergência das plantas infestantes nas culturas de arroz, aveia, café, cana-de-açúcar, centeio, cevada, milho, pastagens, soja, sorgo e trigo. No caso da soja, o uso somente é permitido em pré-plantio.

3.3 Tecnologia de aplicação de agroquímicos

A tecnologia de aplicação consiste na aplicação de um produto químico por um equipamento adequado, de maneira que o controle do alvo biológico (praga, fitopatógeno ou planta infestante) seja efetuado com eficiência, economia e segurança. Sabe-se que uma aplicação deverá levar em consideração a eficácia do produto, seu comportamento em relação à cultura, ao homem e ao meio ambiente, mesmo que isto implique maiores custos no equipamento de aplicação e treinamento do aplicador (SANTOS, 2002).

Os agroquímicos, embora desempenhem um papel de fundamental importância dentro do sistema de produção agrícola vigente, têm sido alvo de crescente preocupação por parte dos diversos segmentos da sociedade, em virtude de seu potencial de risco ambiental (BARCELLOS et al., 1998).

Cada vez mais se exige do produtor rural a utilização correta e criteriosa desses insumos. Entretanto, o que se vê no campo é a falta de informação em torno da tecnologia de aplicação. As aplicações podem, muitas vezes, produzir o efeito desejado,

porém de forma ineficiente, porque não se utilizou a melhor técnica ou equipamento, que determinaria o emprego de menor quantidade de ingrediente ativo na obtenção dos mesmos resultados. Na prática, a dose de produto empregada é muito superior à requerida (FERNANDES, 1997).

Independentemente do processo utilizado na aplicação, há a necessidade de estabelecer parâmetros que permitam a avaliação do tratamento realizado, pelo menos do ponto de vista da técnica de aplicação (BALASTREIRE, 1990).

A deriva é um dos principais problemas que deve ser controlado durante o processo de pulverização, pois está diretamente relacionada à contaminação do aplicador, do meio ambiente e de culturas vizinhas. Além de causar prejuízos ao agricultor, já que boa parte do produto aplicado não atinge o alvo desejado, reduz a eficiência da aplicação e onera os custos de produção (RAMOS, 2001).

A deriva ocorre devido ao arraste de pequenas gotas, da calda pulverizada, pelo vento. Entre os fatores que interferem na ocorrência da deriva podem ser mencionados: características do agroquímico, tipo de equipamento, calibração, tipo de pontas de pulverização, técnicas de aplicação, presença de adjuvantes, condições meteorológicas e habilidade do operador (COSTA et al., 2007).

O desvio da trajetória que impede que as gotas produzidas atinjam o alvo está relacionado, principalmente, ao tamanho de gotas e à velocidade do vento (SILVA, 1999). O grau de injúria e os sintomas observados são afetados por fatores como a espécie, o estágio de desenvolvimento da planta, o clima, o mecanismo de ação e a dose (AL-KHATIB et al., 2003).

3.3.1 Pontas de pulverização

A grande maioria das aplicações de agroquímicos é feita por meio da pulverização, ou seja, pela geração e emissão de partículas líquidas. Para a produção de gotas, o líquido tem que ser submetido à ação de uma determinada quantidade de energia, de forma a vencer a atração molecular interna. Uma das formas mais simples de se produzir a quebra do líquido é transformá-lo em uma lâmina fina, que se torna instável e se quebra em pequenas gotas.

A função dos pulverizadores é gerar uma determinada quantidade de energia para produzir a quebra do líquido. Essa ação de quebra ocorre nas pontas. Existe uma diversidade de desenhos de pontas hidráulicas de pulverização para a desintegração do

líquido em gotas. A pressão utilizada, as propriedades do líquido, como tensão superficial, densidade e viscosidade, assim como as condições do ambiente, também influenciam nesse processo.

Matthews (2002) afirma que cada ponta possui uma característica própria de distribuição volumétrica, sendo esta específica para cada condição de altura do bico em relação ao alvo e de espaçamento entre bicos na barra.

Segundo Ramos e Pio (2003), as pontas hidráulicas de pulverização têm como funções muito importantes a determinação da vazão, a distribuição do líquido e o tamanho de gotas, que são dependentes da pressão de trabalho, a qual é a fonte de energia para a formação das gotas.

É preciso conhecer o espectro das gotas pulverizadas, de forma a adequar o seu tamanho, garantindo, ao mesmo tempo, eficácia biológica e segurança ambiental. Vários pesquisadores consideram que gotas menores que 100 μm são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (SUMNER, 1997; MURPHY et al., 2000; WOLF, 2000).

Atualmente, existem no mercado pontas de pulverização hidráulicas de vários tipos e usos definidos para diferentes e específicas condições técnicas operacionais. Diversos trabalhos têm sido feitos para avaliar as características técnicas destas pontas (BAUER; RAETANO, 2004; CUNHA; TEIXEIRA, 2001; VOLL et al., 2004), no entanto, alguns tipos ainda carecem de informações que auxiliem em sua seleção.

Nos últimos anos, o uso de pontas com indução de ar, que geram gotas de maior tamanho, tem sido bastante incentivado pelo potencial de redução de deriva e boa eficácia em vários tratamentos (KNEWITZ et al., 2002). Essas, no entanto, podem comprometer a cobertura das plantas, em razão de as gotas serem de maior tamanho. Conseqüentemente, poderá haver menor eficiência de controle. De forma geral, gotas pequenas tendem a propiciar maior cobertura do alvo, porém são facilmente transportadas pelo vento, sobretudo quando utilizadas em condições climáticas não desejadas para aplicação de agroquímicos (CUNHA et al., 2006).

3.3.2 Volume de calda

A tecnologia de aplicação de agroquímicos tem como escopo principal à alta eficiência da aplicação a baixo custo. Atualmente, existe uma tendência em reduzir o

volume de calda, visando reduzir os custos e aumentar a eficiência da pulverização (SILVA, 1999).

Para Hislop et al. (1987), os maiores objetivos em pesquisas com aplicação de produtos fitossanitários são a definição da deposição em alvos biológicos e a identificação de métodos precisos de aplicação, que são desenvolvidos para permitir a redução no volume de pulverização e/ou dose do ingrediente ativo, sem perda da eficácia biológica.

O uso de menor volume de calda aumenta a autonomia e a capacidade operacional dos pulverizadores e diminui os riscos de contaminação ambiental, pois reduz as perdas para o solo e, em muitos casos, a evaporação e a deriva. Com o incremento da capacidade operacional, a máquina passa a pulverizar áreas maiores no período de tempo mais curto, com boas condições de temperatura, umidade e velocidade do vento (CHRISTOFFOLETI, 1999).

3.4 Metodologias para o estudo de deposição

Os estudos de deposição envolvem a quantificação do material depositado sobre o alvo. Já a cobertura é a parte da superfície da área-alvo coberta pelo produto fitossanitário, expressa normalmente em percentagem. Para os produtos que agem por contato, a cobertura do alvo tem que ser maior, pois possíveis áreas não atingidas podem propiciar o aparecimento de falhas significativas de controle. Já os produtos de ação sistêmica podem ser aplicados com uma cobertura pouco menor, porém, o suficiente para propiciar boa eficácia. Assim sendo, os produtos de contato devem ser aplicados com uma pulverização mais fina, que proporciona uma cobertura mais eficiente do alvo, ao passo que os produtos sistêmicos podem ser aplicados com gotas maiores, que apresentam maior resistência à deriva (CHRISTOFFOLETI, 1999).

Uma forma de estimar a cobertura do alvo é expressa em gotas por centímetro quadrado, isto é, o número de impactos da pulverização por unidade de área. Boa parte das recomendações técnicas de aplicação está baseada nesse critério, informando-se a faixa ou número mínimo de gotas necessárias para um bom controle. Constitui-se, também, em parâmetro que permite avaliar a homogeneidade da cobertura (TEIXEIRA, 1997). Contudo, a interpretação deste parâmetro pode levar a erros, pois desconsidera o tamanho das gotas.

A importância de uma boa cobertura também é variável, dependendo das características da praga visada. Quando as pragas são, por exemplo, lagartas, que se movimentam continuamente e sempre expostas nas superfícies das folhas, o contato dessas com o inseticida é mais fácil, mesmo que a deposição seja irregular (BALASTREIRE, 1990).

Entende-se por penetração a capacidade das gotas de atravessar as camadas externas da folhagem, atingindo os pontos internos da planta. A necessidade de uma boa penetração depende da localização da praga ou doença na planta e do tipo de produto utilizado. Produtos de contato exigem maior penetração (CARRERO, 1996).

Deposição e cobertura podem ser avaliadas de diversas formas, utilizando-se alvos naturais ou artificiais. No caso de alvos naturais, adotam-se critérios baseados na análise de distribuição do produto fitossanitário ou de um traçador (material que será detectado: corante, sal, material radioativo, etc.) sobre a cultura. Os métodos usuais são baseados na análise visual, na mensuração ótica e nas análises químicas. Técnicas como fluorimetria, espectrofotometria e cromatografia podem ser encontradas na literatura. A análise visual é um método rápido e fácil, entretanto de pouca precisão (SALYANI; WHITNEY, 1988). Já os métodos que envolvem análises químicas e analisadores de imagens são mais precisos.

Como exemplo de análise visual, tem-se a pulverização de um traçador, geralmente fluorescente, sobre a própria folhagem-alvo, para posterior contagem de gotas, utilizando-se de luz negra (para traçadores fluorescentes). Para alvos artificiais, costuma-se utilizar papel hidrossensível ou pulveriza-se uma mistura de calda mais corante sobre uma etiqueta branca. A contagem pode ser feita manualmente, no próprio campo, ou utilizando-se de um programa computacional para análise de imagem.

Dentre os métodos para análise de depósito do próprio ingrediente ativo, a cromatografia ocupa um lugar de destaque, pela capacidade em efetuar a separação, a identificação e a quantificação das espécies químicas, por si mesma ou em conjunto com outras técnicas instrumentais de análise (COLLINS, 1997). Contudo, costuma ser uma técnica onerosa e, em alguns casos, complexa, principalmente em virtude da dificuldade de recuperação do fitossanitário.

Os métodos cromatográficos podem classificar-se de acordo com a natureza das fases móvel e estacionária. De maneira geral, na cromatografia em fase gasosa, a fase móvel é um gás. Na cromatografia líquida, a fase móvel é um líquido. A utilização de

cada um desses métodos depende das características do composto a ser analisado, como a volatilidade, por exemplo (GONÇALVES, 1996).

A cromatografia líquida de alta eficiência é a mais usada de todas as técnicas analíticas de separação. As razões para a popularidade do método é sua sensibilidade, a fácil adaptação para determinações quantitativas acuradas, sua adequação à separação de espécies não-voláteis ou termicamente frágeis e, acima de tudo, sua ampla aplicabilidade a substâncias de grande interesse para a indústria e para muitos campos da ciência (HOLLER et al., 2009). A cromatografia líquida de alto desempenho é um tipo de cromatografia que emprega uma fase móvel líquida e uma fase estacionária finamente dividida e que, para ter um fluxo razoável, opera a pressões elevadas. Dentre as principais características e vantagens do método estão: coluna recheada com partículas de pequeno tamanho, alta resolução, análise não destrutiva, velocidade de separação, monitoração contínua do efluente da coluna, medição quantitativa exata, análises repetitivas e reprodutivas com a mesma coluna e automação do procedimento analítico e do tratamento dos dados.

Com relação ao uso de traçadores, o primeiro passo importante refere-se a sua escolha. Ela deve levar em conta a estabilidade a luz solar, temperatura, armazenamento e pH, o nível de detecção, a toxicidade, a persistência e a solubilidade (PALLADINI, 2000). Em geral, são detectados por colorímetros, espectrofotômetros ou fluorímetros. Trata-se de uma metodologia mais simples, de menor custo em comparação a detecção do ingrediente ativo, contudo deve ser levada em conta a possibilidade da não representatividade dos dados em relação à aplicação do fitossanitário.

A espectrofotometria refere-se à determinação da concentração de uma substância pela medida da absorção relativa de luz, tomando-se como referência a absorção da substância numa concentração definida. A fluorimetria refere-se à determinação da concentração de uma substância pela medida da fluorescência de certas substâncias.

Ainda como traçadores, podem ser utilizados sais metálicos para detecção por espectrofotômetro de absorção atômico (comuns em laboratórios de análise química de solo) ou NaCl para detecção por condutivímetro (medição da condutividade elétrica da solução) (VELINI et al., 1995).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi realizado na estação de pesquisa da Syngenta Seeds Ltda, localizada no município de Uberlândia-MG, cuja referência foi à gleba 10C com característica de relevo semi plano. A área apresenta altitude de 947 metros, latitude 18° 56' 1" S e longitude 48° 10' 9" W. A precipitação ocorrida no mês de janeiro (mês da aplicação e coleta dos resultados de campo) foi de 191 mm.

A parte laboratorial aconteceu no Laboratório de Análise de Água do Instituto de Química e no Laboratório de Mecanização Agrícola do Instituto de Ciências Agrárias, ambos na Universidade Federal de Uberlândia.

Com intuito de avaliar o processo de aplicação de herbicida, foi utilizado o ingrediente ativo 2,4-D (Produto comercial DMA 806 BR[®], na concentração de 806 g L⁻¹ de i.a) na dose de 1 L ha⁻¹ de produto comercial, conforme recomendação do fabricante, tendo como referencial teórico a instalação futura da cultura do milho. Trata-se de um herbicida recomendado para o uso em dessecação. Deve ser aplicado nas plantas infestantes, já germinada (pós-emergência), controlando seletivamente as plantas de folhas largas dicotiledôneas. A área aplicada estava em pousio há quatro meses, sendo o milho a cultura anterior.

Juntamente a calda de aplicação foi adicionado também um traçador composto do corante alimentício Azul Brilhante (catalogado internacionalmente pela "Food, Drug & Cosmetic" como FD&C Blue n.1). O corante foi utilizado na dose de 300 g ha⁻¹ (ajustando-se a quantidade de corante adicionada ao tanque em função do volume de aplicação empregado), para ser detectado por absorbância em espectrofotometria.

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas, em esquema fatorial 3 x 2: três pontas de pulverização e dois volumes de calda, conforme descrito na Tabela 1.

As aplicações foram realizadas em operação de dessecação em plantas infestantes. Foi utilizado um pulverizador de barra hidráulico tratorizado montado, modelo Jacto AM-14, com barra de 14 m, espaçamento entre bico de 0,50 m e capacidade do tanque de 600 L. A pressão de líquido empregada foi de 207 kPa e a velocidade de deslocamento, para o volume de aplicação de 80 L ha⁻¹, foi de 10 km h⁻¹ e, para volume de 130 L ha⁻¹, de 6 km h⁻¹.

TABELA 1. Descrição dos tratamentos avaliados

Tratamento	Descrição da aplicação	Volume de calda (L ha ⁻¹)	Classificação do tamanho de gota*	Diâmetro de gotas - DMV (µm)*
1	Dessecação com ponta de jato plano duplo de pré-orifício - DGTJ60 11002	80	Média	216
2	Dessecação com ponta de jato plano duplo de pré-orifício - DGTJ60 11002	130	Média	216
3	Dessecação com ponta de jato plano defletor - TT 11002	80	Grossa	380
4	Dessecação com ponta de jato plano defletor - TT 11002	130	Grossa	380
5	Dessecação com ponta de jato plano defletor com indução de ar - TTI 11002	80	Extremamente grossa	925
6	Dessecação com ponta de jato plano defletor com indução de ar - TTI 11002	130	Extremamente grossa	925

* Classificação do tamanho de gota e diâmetro da mediana volumétrica, segundo o fabricante, a 200 kPa de pressão.

A aplicação foi realizada quando as plantas infestantes encontravam-se em estado de pós-emergência tardia. As condições ambientais no momento da aplicação foram monitoradas por meio de um termo-higro-anemômetro digital: temperatura do ar entre 25 e 27°C, umidade relativa entre 68% e 72% e velocidade do vento entre 8 e 10 km h⁻¹.

Para avaliar o processo de aplicação do herbicida 2,4-D Amina, foi realizado o estudo de deposição da calda nas plantas infestantes, perdas para o solo por deriva. Também foi realizado o estudo de eficácia de controle das plantas infestantes presentes na área. O estudo de deposição, deriva e perdas para o solo foi feito por duas metodologias distintas, buscando verificar a relação e concordância entre elas: análise direta do ingrediente ativo 2,4-D Amina e análise indireta por meio da quantificação do traçador adicionado à calda.

Cada parcela experimental apresentou uma área de 35 m² (7 x 5 m). Após a aplicação do herbicida + corante, a avaliação da deposição foi realizada com a retirada das plantas infestantes de cada parcela. As plantas foram coletadas tendo como referência um quadrado de madeira medindo 0,20 x 0,20 m, lançado ao acaso duas

vezes em cada parcela e para todos os tratamentos. Elas foram cortadas rente ao solo e acondicionadas em sacos plásticos. Às amostras para quantificação do traçador, foi adicionada água destilada e, às amostras para quantificação do ingrediente ativo, nada foi adicionado.

Posteriormente, as amostras foram levadas ao laboratório para extração e determinação da quantidade de ingrediente ativo depositado, através do método da cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC - *High Performance Liquid Chromatography*). Inicialmente, as amostras foram homogeneizadas, sendo retiradas aproximadamente 5 g para maceração, em presença de um volume de 25 mL de álcool metílico P.A. A amostra resultante foi, então, filtrada em papel filtro e armazenada a 2°C para posterior quantificação.

Esta foi realizada em um HPLC com detector de UV-Vis, da marca Shimadzu. As condições cromatográficas para as análises foram as seguintes: a fase móvel utilizada foi acetonitrila/água + 0,1% H₃PO₄, na proporção de 50/50 v/v, com um fluxo de 1,4 mL min⁻¹, forno a 30°C, detecção na região do UV-Vis, no comprimento de onda 201 nm e coluna C₁₈ com 15 cm de comprimento. Nestas condições, o herbicida apresentou tempo de retenção de 4,0 minutos (Figura 1 – Anexo).

A curva padrão, apresentada na Figura 2 (Anexo), para determinação de concentração de 2,4-D Amina com a técnica da cromatografia líquida nas amostras, foi confeccionada no intervalo de concentração 0,10 mg L⁻¹ e 2,50 mg L⁻¹, em função da área apresentada no cromatograma. O coeficiente de correlação da curva foi de 0,99, e obteve-se um limite de quantificação de 0,10 mg L⁻¹ e um limite de detecção de 0,047 mg L⁻¹. O valor de recuperação foi de 87% para diversas amostras sólidas.

A determinação do ingrediente ativo perdido para o solo foi realizada por meio da distribuição ao acaso de 4 lâminas de vidro (37,24 cm²) por parcela. Após a aplicação e secagem das lâminas, elas foram retiradas e armazenadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório, onde foram lavadas com um volume de 25 mL de álcool metílico P.A., para extração e quantificação do produto presente, de forma semelhante à mencionada anteriormente.

Para a determinação da deriva, foram colocados a 5 m de distância paralelamente e externamente às parcelas, no sentido de deslocamento do vento, fios de nylon de 2 mm de diâmetro (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO, 2005) e com comprimento de 4 m, a 2 m de altura. Após a aplicação, os fios foram recolhidos, acondicionados em sacos plásticos e levados ao laboratório para

determinação do ingrediente ativo. Eles foram lavados com um volume de 25 mL de álcool metílico P.A., para extração e posterior quantificação do produto presente.

Para o depósito nas plantas infetantes, procedeu-se, então, à divisão do depósito total pela massa da amostra de remoção, obtendo-se a quantidade em mg kg^{-1} de massa úmida. Para perda para o solo e deriva, procedeu-se à divisão do depósito total pela área de remoção, obtendo-se a quantidade em $\mu\text{g cm}^{-2}$.

No estudo de deposição, perdas para o solo e deriva por meio da quantificação do traçador, a amostragem foi feita de forma semelhante à anterior, tomando-se o cuidado, neste caso, de adicionar água às amostras. Após a aplicação, recolheu-se todo o material separadamente: plantas, lâminas de vidro e fios de nylon. Foram, então, colocados em sacos plásticos, adicionando-se 200 mL de água destilada. Esses sacos foram fechados, agitados por 30 s e acondicionados em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso para o transporte até o laboratório. Posteriormente, foi feita a quantificação da coloração por absorbância em 630 nm (faixa de detecção do corante azul utilizado), com o uso de espectrofotômetro (fotômetro fotoelétrico, Biospectro SP22), com lâmpada de tungstênio-halogênio, conforme metodologia apresentada por Palladini et al. (2005). De acordo com Pinto et al. (2007), o traçador Azul Brilhante é estável por um período de 5 h de exposição solar.

Com o uso da curva de calibração, obtidas por meio de soluções-padrão de corante, os dados de absorbância foram transformados em concentração. A curva padrão, apresentada na Figura 3 (Anexo), teve como intervalo de concentração 0,50 mg L^{-1} e 50,00 mg L^{-1} . O coeficiente de correlação da curva foi de 0,99, e obteve-se um limite de quantificação de 0,50 $\mu\text{g L}^{-1}$.

De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se a massa de corante retida no alvo. Para o depósito nas plantas infetantes, procedeu-se, então, à divisão do depósito total pela massa seca da amostra de remoção, obtendo-se, assim, a quantidade, em mg kg^{-1} , de massa seca. As plantas foram secas em estufa, a 65°C, por 72 h. Para perda para o solo e deriva, procedeu-se à divisão do depósito total pela área de remoção, obtendo-se a quantidade em $\mu\text{g cm}^{-2}$.

Antes da aplicação do herbicida, foi realizada uma estimativa da percentagem de cobertura do solo pelas plantas infestantes incidentes na área, bem como a determinação do percentual de cada espécie de planta infestante. Após a aplicação, o referencial visual de controle foi determinado e comparado com a testemunha, sendo que a avaliação percentual de notas foi realizada para cada parcela separadamente.

As principais plantas infestantes com características de folha larga dicotiledôneas, bem como os respectivos percentuais de infestação que estavam presentes nas parcelas durante a condução do experimento foram às seguintes: *Acanthospermum hispidum* DC. (Carrapicho carneiro) (40%), *Ageratum conyzoides* L. (Mentrasito) (40%), *Amaranthus deflexus* (Caruru) (30%), *Commelina benghalensis* L. (Trapoeiraba) (50%), *Raphanus raphanistrum* (Nabo ou nabiça) (80%) e *Chamaesyce hirta* L. (Erva de santa luzia) (20%).

Na análise da eficácia de controle das plantas infestantes, foram realizadas duas avaliações visuais de controle, aos 10 e aos 20 dias após a aplicação do herbicida, mediante a escala de avaliação visual de controle de plantas infestantes por meio de herbicida, desenvolvida pela Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM, 1974), com as respectivas notas de porcentagem de controle.

TABELA 2. Escala de avaliação visual de controle das plantas infestantes por meio de herbicida (ALAM, 1974)

Notas	% de controle	Denominação
1	0-40	Nenhum/pobre
2	41-60	Regular
3	61-70	Suficiente
4	71-80	Bom
5	81-90	Muito bom
6	91-100	Excelente

Os dados de deposição, perdas para o solo e eficácia foram submetidos à análise de variância e, quando pertinente, as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. Foram aplicados os testes de Lilliefors e Bartlett para verificar a normalidade dos erros e a homogeneidade das variâncias.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de massa do traçador encontrados nas folhas das plantas infestantes, após a aplicação, encontram-se na Tabela 3. Nota-se que a interação entre pontas e volumes não foi significativa, bem como o efeito individualizado. Segundo Souza et al. (2007), as plantas infestantes são expostas à pulverização por um tempo extremamente curto, o que, somado a fatores como oscilações e altura da barra, vento, tamanho de gota e estágio de desenvolvimento, implica grande variabilidade dos depósitos unitários obtidos, dificultando a diferenciação de tratamentos. Ainda segundo os autores, o ideal seria estudar cada planta daninha e não uma população, de forma a minimizar este problema. Contudo, para análise cromatográfica, este método é inviável economicamente.

TABELA 3. Massa de traçador retida na folhagem das plantas infestantes (mg de corante kg⁻¹ de matéria seca), após a aplicação do herbicida com diferentes pontas de pulverização, em dois volumes de aplicação

Ponta	Volume de aplicação (L ha ⁻¹)		Média
	80	130	
Jato plano duplo de pré-orifício	380,37	371,00	375,69
Jato plano defletor	351,28	360,92	356,10
Jato plano defletor com indução de ar	280,17	301,90	291,04
Média	337,27	344,61	
CV (%): 28,89			
Valor F (Pontas x Volume): 1,124 ^{ns} Valor F (Pontas): 0,546 ^{ns} Valor F (Volume): 0,033 ^{ns}			

^{ns} Não significativo.

A diminuição do volume de calda na aplicação não causou diferença significativa na cobertura da folhas das plantas infestantes, mostrando a viabilidade técnica da redução dos volumes de água empregados por unidade de área. Menores volumes de calda proporcionam maior capacidade operacional dos equipamentos de pulverização, o que tende a reduzir os custos e aumentar o aproveitamento de boas condições climáticas.

Com relação às pontas, o uso de gotas muito grossas (ponta de jato plano defletor com indução de ar) também não resultou em menor deposição, mostrando que seu uso

pode ser feito em situações climáticas mais adversas ou em casos onde se deseje minimizar ao máximo o risco de deriva.

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

Na Tabela 4, tem-se a massa de traçador direcionada ao solo após a aplicação do herbicida. Nota-se que a interação entre pontas e volumes não foi significativa, indicando a independência entre os dois fatores. Contudo, o efeito isolado das pontas foi significativo.

TABELA 4. Massa de traçador retida na placa junto ao solo (μg de corante cm^{-2}), após a aplicação do herbicida com diferentes pontas de pulverização, em dois volumes de aplicação

Ponta	Volume de aplicação (L ha ⁻¹)		Média
	80	130	
Jato plano duplo de pré-orifício	0,51	0,64	0,57 b
Jato plano defletor	0,74	0,75	0,75 ab
Jato plano defletor com indução de ar	0,96	1,00	0,98 a
Média	0,74 A	0,80 A	

CV (%): 26,29

Valor F (Pontas x Volume): 0,192 ^{ns}

Valor F (Pontas): 8,103**

Valor F (Volume): 0,557 ^{ns}

^{ns} Não significativo. ** Significativo, a 1%. Médias seguidas por letras distintas minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

A ponta de jato plano duplo de pré-orifício promoveu menores perdas de calda para o solo, enquanto que a ponta de jato plano defletor com indução de ar resultou em maiores perdas para o solo. Provavelmente, isso ocorreu em função dos espectros de gotas dessas pontas: gotas muito grossas tendem a promover perdas para o solo ao colidir com o alvo, ocasionando perdas para o solo.

Com relação aos volumes de aplicação, não foi encontrada diferença significativa. Vale ressaltar que os dois volumes utilizados estão abaixo dos volumes comumente empregados a campo (em geral superiores a 150 L ha⁻¹), explicando o fato de não haver diferença quanto a perdas para o solo.

Estes dados estão de acordo com os apresentados por Matuo et al. (2004). Os autores afirmam que gotas grandes não conseguem penetrar na cultura, colidindo com a primeira camada de folhas e proporcionando perdas para o solo.

Com relação à deriva, usando as metodologias empregadas neste trabalho, tanto baseadas na espectrofotometria, quanto na cromatografia, a mesma não foi detectada. Vale destacar que a cromatografia é atualmente o método mais sensível para análise de resíduos de produtos fitossanitários, o que indica a pequena magnitude do fenômeno nas aplicações realizadas.

Apesar da deriva durante a aplicação de agrotóxicos ainda ser considerada um dos maiores problemas da agricultura, nota-se que a mesma pode ser minimizada. Possivelmente, isso ocorreu em razão da aplicação ter sido feita em condições adequadas de vento e em virtude do uso de gotas médias, grossas e muito grossas.

Antuniassi et al. (2004) afirmam que usualmente as aplicações de volume muito pequeno acabam sendo realizadas com gotas muito finas, o que aumenta o risco de perdas, principalmente por evaporação ou deriva. Cunha et al. (2003), avaliando estratégias para o controle de deriva, também afirmam que as pontas que produzem gotas grossas permitem redução da deriva, diminuindo o arrastamento de partículas e diminuindo significativamente o número de gotas fora da área-alvo.

Na Tabela 5, tem-se massa de 2,4-D Amina retida na folhagem das plantas infestantes. A interação entre pontas e volumes não foi significativa, indicando a independência entre os dois fatores, contudo o efeito de pontas e volumes foi significativo. Comparando-se os volumes de aplicação, nota-se que o menor (80 L ha^{-1}) produziu melhor deposição na folhagem das plantas infestantes, após a aplicação do herbicida, quando comparado com o maior volume (130 L ha^{-1}).

Tomazela (1997), utilizando a ponta de jato plano XR 8001, verificou que a redução do volume da calda de pulverização promoveu incrementos significativos na porcentagem de depósitos nas plantas de *B. plantaginea*.

A redução do volume de aplicação aliada à utilização de uma ponta com característica de gotas média e grossa não comprometeu a eficiência de aplicação e a cobertura do alvo após a aplicação do herbicida 2,4-D Amina. A uniformidade na deposição é fator importante no desempenho dos produtos fitossanitários, principalmente quando se considera produtos de ação de contato, que exigem maior área de cobertura do alvo.

TABELA 5. Massa de 2,4-D Amina retida na folhagem das plantas infestantes (mg de 2,4-D kg⁻¹ de matéria úmida), após a aplicação do herbicida com diferentes pontas de pulverização, em dois volumes de aplicação

Ponta	Volume de aplicação (L ha ⁻¹)		Média
	80	130	
Jato plano duplo de pré-orifício	45,08	42,39	43,73 a
Jato plano defletor	44,87	41,05	42,96 ab
Jato plano defletor com indução de ar	44,63	37,62	41,13 b
Média	44,86 A	40,35 B	

CV (%): 4,37

Valor F (Pontas x Volume): 2,898 ^{ns}

Valor F (Pontas): 4,115 *

Valor F (Volume): 35,092 **

^{ns} Não significativo. ** Significativo, a 1%. * Significativo, a 5%. Médias seguidas por letras distintas minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

As pontas avaliadas promoveram diferenças na deposição. A ponta de jato plano duplo de pré-orifício, com tamanho de gotas médio, gerou maior deposição (43,73 mg de 2,4-D kg⁻¹ de matéria úmida) na folhagem das plantas infestantes, quando comparada com a de jato plano defletor com indução de ar, com tamanho de gotas muito grosso, porém não se diferenciou da ponta de jato plano defletor, com tamanho de gotas grosso.

Na Tabela 6, observa-se a massa de 2,4-D Amina retida na placa junto ao solo. A interação entre pontas e volume de aplicação foi significativa, indicando a dependência entre os fatores. Balan et. al. (2006), avaliando depósito e perdas em sistema de pulverização com turboatomizador em videira, também comentam que há relação entre o tamanho de gota e o volume de calda, quando se avaliam perdas. Assim, é importante evitar generalizações.

O volume de 130 L ha⁻¹ proporcionou maiores perdas para o solo em todas as pontas, quando comparado ao de 80 L ha⁻¹. Com esse volume, a ponta de jato plano duplo com pré-orifício levou à menor perda e a de jato plano defletor, com indução de ar, à maior. As gotas muito grossas têm maior peso e, por isso, maior dificuldade de retenção na folhagem, tendo como destino final, muitas vezes, o solo.

Para o volume de 130 L ha⁻¹, a ponta de jato plano defletor com indução de ar também ocasionou maior perda, porém não se diferenciou da ponta de jato plano defletor.

TABELA 6. Massa de 2,4-D Amina retida na placa junto ao solo (μg de 2,4-D cm^{-2}), após a aplicação do herbicida com diferentes pontas de pulverização, em dois volumes de aplicação

Ponta	Volume de aplicação (L ha^{-1})		Média
	80	130	
Jato plano duplo de pré-orifício	0,99 cB	1,05 bA	1,02
Jato plano defletor	1,16 bB	1,36 aA	1,26
Jato plano defletor com indução de ar	1,22 aB	1,41 aA	1,32
Média	1,12	1,27	

CV (%): 2,57

Valor F (Pontas x Volume): 12,318** Valor F (Pontas): 202,457** Valor F (Volume): 133,380**

^{ns} Não significativo. ** Significativo, a 1%. Médias seguidas por letras distintas minúsculas, nas colunas, e maiúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

Nos últimos anos, o uso de pontas com indução de ar tem crescido muito pelo potencial de redução de deriva. No entanto, em alvos com pequeno índice de área foliar, podem comprometer a cobertura das plantas e promover maior aumento no potencial de escorrimento e perdas para o solo, em razão de as gotas serem de maior tamanho.

Em geral, gotas muito pequenas aumentam o risco de perdas, principalmente por evaporação e deriva, enquanto gotas grandes podem escorrer sobre o alvo, não dando tempo para o produto penetrar e atingir seu objetivo. Gotas pequenas e grandes possuem diferentes características para cada situação de pulverização. Gotas pequenas são recomendadas quando é necessária boa cobertura e boa penetração no dossel das plantas. As gotas medianas ou grandes são melhores para aplicação em condições de maior risco de deriva, mas pode ocorrer uma penetração e cobertura insatisfatórias (ANTUNIASSI; BAIIO, 2004). Além disso, quanto mais uniforme for o tamanho das gotas produzidas pela pulverização, maior poderá ser o controle da aplicação por parte do aplicador (RUAS, 2007).

Comparando as duas metodologias empregadas, nota-se que os resultados da espectrofotometria levou a um coeficiente de variação muito superior à cromatografia. Como consequência, não permitiu a diferenciação dos tratamentos quanto à deposição nas plantas infestantes. A cromatografia levou a uma diferenciação mais clara, permitindo conclusões mais objetivas. Souza et al. (2007) comentam sobre a dificuldade de se avaliar depósitos em plantas infestantes, em virtude da desuniformidade de um processo de pulverização realizado em condições de campo.

A análise cromatográfica tem como vantagem o fato de analisar diretamente o ingrediente ativo em questão, estando menos sujeitas a erros. Já segundo Palladini (2000), o estudo da deposição com o uso de traçadores, como Azul Brilhante, tem-se demonstrado vantajoso, devido sua estabilidade na luz solar e, por não serem absorvidos pelas folhas, permitindo, assim, determinações quantitativas e qualitativas. Contudo, a espectrofotometria se baseia em uma avaliação indireta e, desta forma, impurezas das amostras que tenham coloração semelhante a do traçador podem interferir nas leituras de absorbância.

Com relação à perda de calda para o solo, a tendência dos resultados foi semelhante nas duas metodologias, embora o resultado da análise estatística tenha sido diferente. Ambos indicaram maior perda de produto com o emprego das pontas de jato plano defletor com indução de ar, e menor com as de jato plano duplo de pré-orifício.

Segundo Smelt et al (1993), a utilização do próprio ingrediente ativo para estudo de deposição gera custos elevados e necessita de equipamentos sofisticados para as análises e de pessoas treinadas para o trabalho. Desta forma, o uso de corantes como traçadores é atrativo pela facilidade de remoção diretamente das folhas ou de alvos coletores. Esses autores compararam o depósito do traçador Brilhante Sulfoflavina com o próprio produto fitossanitário (Captan), detectados por fluorimetria e cromatografia gasosa, respectivamente, em aplicações em macieira. As diferenças constatadas entre os depósitos foram pequenas, permitindo concluir que o uso do corante foi uma alternativa útil e econômica para estudos de deposição.

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

Analisando o percentual de controle das plantas infestantes (Tabela 7), aos 10 dias após a aplicação do herbicida, observa-se que não houve diferença entre os tratamentos. O controle das plantas infestantes promovido pelo herbicida 2,4-D no momento da avaliação visual, realizada aos 10 dias após a aplicação, classificou-se como suficiente, pela escala proposta pela ALAM. As plantas apresentavam sintomas de epinastia das folhas, crescimento anormal de ramos, curvamento do caule e das folhas das plantas para baixo, diminuindo a superfície de absorção de luz. Sintomas semelhantes foram

observados por Giafagna (1987), após a aplicação do herbicida 2,4-D, com epinastia, caracterizada pelo curvamento da folha para baixo, causando colapso de tecido.

Resultados contraditórios quanto à eficácia de herbicida, em relação ao volume de aplicação utilizado, foram relatados por vários pesquisadores. Trabalhos realizados com 100 e 200 L ha⁻¹ de calda para os herbicidas lactofen e fomesafen não apresentaram diferenças no controle de plantas infestantes na cultura da soja (FERREIRA et al., 1998). Também Galon et al. (2007) afirmam que a variação do volume de calda aplicada (100 e 200 L ha⁻¹) não exerceu interferência na eficácia dos tratamentos herbicidas, empregando vários princípios ativos. Por outro lado, Roman et al. (2004) obtiveram controle mais eficiente de *Brachiaria plantaginea*, utilizando volumes de calda menores.

TABELA 7. Percentual de controle das plantas infestantes, avaliado aos 10 dias após a aplicação do herbicida

Ponta	Volume de aplicação (L ha ⁻¹)		Média
	80	130	
Jato plano duplo de pré-orifício	68,75	70,00	69,37
Jato plano defletor	67,50	71,25	69,37
Jato plano defletor com indução de ar	70,00	70,00	70,00
Média	68,75	70,42	
CV (%): 6,34			
Valor F (Pontas x Volume): 0,375 ^{ns} . Valor F (Pontas): 0,054 ^{ns} . Valor F (Volume): 0,857 ^{ns} .			

^{ns} Não significativo.

Segundo Galon et al. (2007), é possível afirmar que a eficácia de controle das plantas infestantes, por herbicidas sistêmicos ou de contato, pode aumentar ou diminuir com a variação do volume de calda aplicado, demonstrando que a sensibilidade das plantas infestantes aos herbicidas pode variar em função de fatores intrínsecos a espécie e do meio ambiente. Assim, pode-se sugerir que, em condições propícias de aplicação, a utilização de menores volumes de calda reduz o tempo gasto na operação e, conseqüentemente, os custos da aplicação, sem reduzir os níveis de eficácia.

O percentual de controle das plantas infestantes, avaliado aos 20 dias após a aplicação (Tabela 8), alcançou valores entre 87,50% e 92,50%. Também não houve

diferença significativa entre os tratamentos realizados. O controle aproximou-se de 100%, portanto considerado como muito bom a excelente, segundo a escala da ALAM.

Independente da ponta e do volume de aplicação utilizado, pode-se considerar que, com a utilização do herbicida 2,4-D Amina, obteve-se um eficiente controle das plantas infestantes dicotiledôneas presentes na área experimental. A utilização de volumes de aplicação abaixo dos geralmente utilizados não comprometeu o controle das plantas infestantes e a eficiência de aplicação do herbicida. O emprego de pontas de pulverização novas, com correta tecnologia de pulverização e as boas condições climáticas no momento da aplicação, devem ter contribuído para o percentual de controle considerado como muito bom.

Os sintomas principais observados em plantas de *Raphanus raphanistrum*, *Commelina benghalensis* e *Amaranthus deflexus*, que apresentavam percentuais de infestação na área experimental de 80, 50 e 30%, respectivamente, após a aplicação da dose de 1 L ha⁻¹ do produto comercial, foram enrolamento de margens apicais, murchamento e clorose das folhas, conforme análise visual.

Em trabalhos realizados com a utilização de mistura de outros herbicidas em associação com o princípio ativo de 2,4-D Amina, Galli (1991) verificou que os melhores níveis de controle de *Commelina virginica* L. foram obtidos com a mistura pronta de glyphosate + 2,4-D, em todas as avaliações, alcançando, aos 28 dias após a aplicação, um controle médio de 95 a 98%.

TABELA 8. Percentual de controle das plantas infestantes, avaliado aos 20 dias após a aplicação do herbicida

Ponta	Volume de aplicação (L ha ⁻¹)		Média
	80	130	
Jato plano duplo de pré-orifício	92,50	88,75	90,62
Jato plano defletor	92,50	87,50	90,00
Jato plano defletor com indução de ar	91,25	87,50	89,37
Média	92,08	87,92	

CV (%): 6,28

Valor F (Pontas x Volume): 0,033^{ns}. Valor F (Pontas): 0,098^{ns}. Valor F (Volume): 3,2617^{ns}.

^{ns} Não significativo.

Tollervey et al. (1979) indicaram a mistura glyphosate + 2,4-D Amina para controlar *Commelina benghalensis* em diversas culturas, provavelmente devido ao sinergismo entre os produtos. No entanto, para controlar essa mesma planta infestante, especificamente na cultura de cacau (*Theobroma cacao* L.), Carvalho et al. (1991) utilizaram glyphosate e 2,4-D Amina, aplicados de forma isolada em três diferentes doses e na forma de mistura, mas não obtiveram controle satisfatório. Também não encontraram bom controle para *Digitaria insularis* e *Emilia sonchifoli*.

Segundo Furness e Pinczewski (1985), a comparação do desempenho de sistemas de pulverização deve ser finalizada pela avaliação da eficiência biológica, no entanto, variações nas condições operacionais dos equipamentos podem não ser suficientes para detectar diferenças significativas no controle, pelo fato de o ingrediente ativo estar em quantidade superior à necessidade em formulações comerciais, conforme citado por Raetano e Matuo (1999).

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, pôde-se concluir que:

- O volume de aplicação de 80 L ha⁻¹ pode ser utilizado na dessecação de plantas infestantes com o herbicida 2,4-D, sem comprometer a cobertura do alvo;
- Pontas de jato plano defletor com indução de ar promoveram maior perda de herbicida para o solo;
- As diferentes pontas de pulverização empregadas, com gotas médias, grossas e muito grossas, bem como os volumes de aplicação de 80 L ha⁻¹ e 130 L ha⁻¹, não influenciaram o controle das plantas infestantes;
- Não foi possível detectar perdas por exoderiva, pelas metodologias empregadas;
- Os resultados do estudo de deposição e perdas para o solo, obtidos com a metodologia da cromatografia líquida, não foram semelhantes aos obtidos com a espectrofotometria.

REFERÊNCIAS

- AL-KHATIB, K. CLAASSEN, M. M.; STAHLMAN, P. W.; GEIER, P.W.; REGEHR, D. L.; DUNCAN, S. R.; HEER, W. F. Grain sorghum response to simulated drift from glufosinate, glyphosate, imazethapyr and sethoxydim. **Weed Technololy**, Champaign, v. 17, n. 2, p. 261-265, 2003.
- AMARANTE JÚNIOR, O. P; SANTOS, T. C. R; NUNES, G. S. Breve revisão de métodos de determinação de resíduos do herbicida ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D). **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 223-229, 2003. Disponível em:< <http://www.scielo.br>>. Acesso em: 27 maio 2010.
- ANDREI, E. **Compêndio de defensivos agrícolas**. 7. ed. São Paulo: Andrei 2005. 1141p.
- ANTUNIASI, U. R.; BAIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 145-184.
- ASSOCIACION LATINO AMERICANA DE MALEZAS. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluacioón en ensayos de conrtole de malezas. **ALAM**, Bogotá, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.
- BALAN, M. G.; SAAB, O. J. G. A.; SILVA, C. G. Depósito e perdas em sistema de pulverização com turboatomizador em videira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.470-477, 2006.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 307p.
- BARCELLOS, L. C.; CARVALHO, Y. C.; SILVA, A. L. Estudo sobre a penetração de gotas de pulverização no dossel da cultura da soja [Glycine max. (L.) Merrill]. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 6, n. 2, p. 81-94, 1998.
- BAUER, F; RAETANO, C. G. Perfis de distribuição volumétrica de pontas XR11003 e TXVK-4 em diferentes condições de pulverização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 364-373, 2004.
- BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 8. ed. New York: Macmillan, 1974.
- BUHLER, R.; HARTZLER, R. G.; FORCELLA, F. Implications of weed seedbank dynamics to weed management. **Weed Science**, Champaign, v. 45, p. 329-336, 1997.
- BURNSIDE, O. C. **Biologic and economic assessment of benefits from use of phenoxy herbicides in the United Stades**. [Washington.]: National Agricultural Pesticide Impact Assessment Program, [1996]. 227 p. (NAPIAP Report n.1-PA-96).
- CARRERO, J. M. **Maquinaria para tratamientos fitosanitarios**. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 159 p.

CARVALHO, J. E. B.; REZENDE, G.O; FOLONI, L.L.; MOTA, P.P. Estudo da eficiência da mistura pronta de 2,4-D + glyphosate no controle de plantas daninhas em citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 18, 1991, Brasília. **Resumos...** Brasília: SBHED, 1991 b, p.103-104.

CHRISTOFFOLETI, J. C. **Pulverização ou aplicação?** São Paulo: Teejet South América, 1999. 5 p.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F; NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P. Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR, 2, 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/POTAFOS, 2005. 11 p.

COLLINS, C. H. Princípios básicos de cromatografia. In: COLLINS, C. H., BRAGA, G. L; BONATO, P. S. (Coord.). **Introdução a métodos cromatográficos**. Campinas, UNICAMP, 1997. p.11-27.

COSTA, A. G. F; VELINI, E. D; NEGRISOLI, E; CARBONARI, C. A; ROSSI, C. V. S; CORRÊA, M. R; SILVA, F. M. L. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.

CUNHA, J. P. A. R; TEIXEIRA, M. M. Características técnicas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5 n.3 p.344-348, 2001.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para a redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.

CUNHA, J. P. A. R.; REIS E. F.; SANTOS R. O. Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.5, p.1360-1366, 2006.

DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal, FUNEP, 1992. v. 1. 431 p.

DEVINE, M. D.; BANDEEN, J. D.; McKERSEI, B. D. Temperature effects on glyphosate absorption, translocation and distribution in quakgrass (*Agropyron repens*). **Weed Science**, Champaign, v. 31, p. 461-464, 1983.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja** - região central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2003.237 p.

FERNANDES, H. C. **Aplicação de defensivos agrícolas: teoria da gota**. Viçosa, MG: AEAGRI-MG/DEA/UFV, 1997. 14p. (Engenharia na Agricultura. Caderno Didático, 24).

FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C.; SAAVEDRA, M. S.; GARCIA TORRES, L. Ecologia de lâs malas hierbas. In: GARCIA TORRES, L.; FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. **Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas**. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. cap. 2, p. 49-69.

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

FORNAROLLI, D. A; RODRIGUES, B. N; CHEHATA, A. N; VALÉRIO, M. A.. Influência do horário de aplicação no comportamento de atrazine e misturas aplicadas em pós-emergência na cultura do milho. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 17, n. 1, p. 119-130, 1999..

FU, F.; XIAO, L; WANG, W.; XU, X.; XU, L. J.; QI, J. M.; CHEN, G. N. Study on the degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic sodium (MCPA sodium) in natural agriculture-soils of Fuzhou, China using capillary electrophoresis. **Science of the Total Environment**, London, v. 407, n. 6, p. 1998-2003, 2009.

FURNESS, G. O.; PINCZEWSKI, W. V. A comparison of the spray distribution obtained from sprayers with converging and diverging airjets with low volume air assisted spraying on citrus and grapevines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.32, n. 4, p.291-310, 1985.

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

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

GAZZIERO, D. L. P. **Efeito de três herbicidas pósemergentes aplicados em diferentes horas do dia sobre ervas daninhas e plantas de soja (Glycine max (L.) Merrill)**. 1980. 98 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.

GIAFAGNA, T. J. Natural and synthetic growth regulators and their use in horticultural agronomic crops. In: DAVIES, P. J. (Ed.). **Plant hormones and their role in plant growth and development**. Dordrecht: Kluwer, 1987. cap. 19, p. 614-634.

GONÇALVES, M. L. S. S. **Métodos instrumentais para análise de soluções, análise quantitativa**. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996. 789p.

GONÇALVES, P. C. T. **Manual Zeneca de manuseio e aplicação para agrotóxicos**. São Paulo: Zeneca Agrícola, 1999. 17p.

- HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. **Palha**: fundamento do sistema de plantio direto. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2002. 29 p.
- HEMPHILL Jr., D. D.; MONTGOMERY, M. L. Response of vegetable crops to sublethal application of 2,4-D. **Weed Science**, Champaign, v. 29, p. 632-635, 1981.
- HERTWIG, V. K. O uso de herbicidas. In: HERTWIG, V. K. (Ed.). **Manual de herbicidas desfolhantes, fitorreguladores e bio-estimulantes** 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1983. p. 46-50.
- HISLOP, E. C.; COOKE, B. K.; HERRINGTON, P. M.; WESTERN, N. M.; WOODLEY, S. E. **Efficient use of agrochemicals**. Bristol: Long Ashton Research Station, 1987. p.48-49.
- HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. Princípios de análise instrumental. In: HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. **Cromatografia Líquida**. Tradução de Celio Pasquini. Porto Alegre: Bookman, 2009. p. 830-869.
- INDUSTRY task force II on 2,4-D research data: 24d.org. [2009-]. Disponível em: <<http://www24d.org>>. Acesso em: 06 out 2009.
- KAMRIN, M. A. **Pesticides Profile**: toxicity, environmental impact, and fate. New York: Lewis, 1999. 675 p.
- KNEWITZ, H.; WEISSER, P.; KOCH, H. Drift-reducing spray application in orchards and biological efficacy of pesticides. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v.66, n.esp., p.231-236, 2002.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**: plantio direto e convencional. 5.ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. 383 p.
- MARTINS, D. **Deposição de calda de pulverização em cultivares de batata**. 2004. 249 f. Tese (Doutorado em livre docência em Agricultura/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
- MATUO, T.; PIO, L. C.; RAMOS, H. H **Curso de proteção de plantas**. Mod. 2., Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas e equipamentos e técnicas de aplicação. In: CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO POR TUTORIA À DISTÂNCIA. Brasília: ABEAS; 2004. 71 p. 1 CD-Rom.
- MATTHEWS, G.A. The application of chemicals for plant disease control. In: WALLER, J. M.; LENNÉ, J. M.; WALLER, S. J. (Ed.). **Plant pathologist's pocketbook**. London: CAB, 2002. p. 345-353.
- MELHORANÇA, A. L. **Tecnologia de dessecação de plantas daninhas no sistema plantio direto**. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2002. 6 p. (Circular técnica, 10).

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Dinâmica do banco de sementes em áreas com aplicação freqüente do herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. 1, p. 63-69, 2003.

MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H; PARKIN, C. S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **J. Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 75, p. 127-137, 2000.

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

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

PALLADINI, L. A; RAETANO, C. G; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 440-445, 2005.

PERGUNTAS e Respostas sobre 2,4-D: força-tarefa. [S.l.]: Dow AgroSciences, [2004].

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

PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

PRATA, F. **Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrazina**. 2002. 161f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PROCÓPIO, S. O; SILVA, E. A. M; SILVA, A. A; FERREIRA, E. A. **Anatomia foliar de plantas daninhas do Brasil**. Viçosa, MG: Universo, 2003. v. 1.

RAETANO, C. G.; MATUO, T. Efeito da pulverização com turboatomizadores em diferentes condições operacionais no controle de ácaros em citros. **An. Soc. Entomol. Bras.**, Londrina, v. 28, n.1, p.131-140, 1999.

RAMOS, H. H. No lugar certo. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 6, p. 16-19, 2001.

RAMOS, H. H.; PIO, L. C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. Viçosa, MG: UFV, 2003. p.133-201.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. DE; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPTU, 2002. 332 p.

- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. de. **Guia de herbicidas**. Londrina: Ed. dos Autores, 1998. 648 p.
- ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIBEIRO, M. C. F. Influência do orvalho e volume de calda de aplicação na eficácia do glyphosate na dessecação de *Brachiaria plantaginea*. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.22, n.3, p.479-482, 2004.
- RUAS, R. A. A. **Tecnologia de aplicação do glyphosate para certificação de produtos agrícolas**. 2007. 107 f.Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- SALYANI, M.; WHITNEY, J. D. Evaluation of methodologies for field studies of spray deposition. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 31, n. 2, p. 390-395, 1988.
- SANTOS, J. M. F. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo: Instituto Biológico, 2002. 62 p.
- SCHROEDER, G. L.; COLE, D. F.; DEXTER, A. G. Sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) response to simulated herbicide spray drift. **Weed Science**, Champaign, v. 31, p. 831-836, 1983.
- SILVA, O. C. Tecnologia de aplicação de fungicidas. In: CANTERI, M. G.; PRIA, M. D.; SILVA, O. C. (Ed.) **Principais doenças fúngicas do feijoeiro**. Ponta Grossa: UEPG, 1999. p. 127-137.
- SKUTERUD, R.; BJUGSTAD, N.; TYLDUM, A.; TØRRESEN, K. Effect of herbicides applies at diferent times of the day. **Crop Protection**, London, v. 17, n. 1, p. 41-46, 1998.
- SMELT, J. H.; SMIDT, R. A.; HUIJSMANS, J. F. M. Comparison of spray deposition on apple leaves of captan and the dye brilliant sulfoflavine. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LES TECHNIQUES D'APPLICATION DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES, 2., 1993. Strasbourg, **Annales...** Strasbourg: British Crop Protection Council, 1993. p.191-197.
- SOUZA, R. T.; VELINI, E. D.; PALLADINI, L. A. Aspectos metodológicos para análise de depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 195-202, 2007.
- SUMNER, P. E. **Reducing spray drift**. Georgia: University of Georgia, 1997. 11 p. (ENG97-005)
- TEIXEIRA, M. M. **Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica**. 1997. 310 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1997.
- TOLLERVEY, F. E.; FRANS, R.; PANIAGUA, O.; LARA, R. Weed control investigations in Bolivian crops 1977-1978. **Weed Abstract**, v. 29, n. 7, p. 225, 1979.

TOMAZELA, M. S. **Avaliação de calda de pulverização em função da densidade populacional de *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch, volume e ângulo de aplicação**, 1997. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu. **Anais ...** Botucatu: UNESP, 1992. p. 44-64.

VELINI, E. D., ANTUNIASSI, U. R., MARTINS, D., TRINDADE, M. L. B., SILVA, M. A. S. Utilização da condutividade elétrica para avaliação do depósito da calda de pulverização em alvos ou folhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIAS DAS PLANTAS DANINHAS, 20, 1995, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira da Ciências das Plantas Daninhas, 1995. p. 427-429.

VICTORIA FILHO, R. Fatores que influenciam a absorção foliar dos herbicidas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 129, p. 31-37, 1985.

VICTÓRIA FILHO, R. Estratégias de Manejo de Plantas Daninhas. In: ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. Viçosa: UFV, 2003. p. 317-375.

VOLL, E.; TORRES, E.; BRIGHENTI, A. M.; GAZZIERO, D. L. P. Dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo de solo. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.19, n.2, p.171-178, 2001.

VOLL, C. E.; CASTRO, J. A. V.; GADANHA JÚNIOR, C. D. Uniformidade de distribuição volumétrica do bico de pulverização hidráulico de jato plano XR11003 sob diferentes condições operacionais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3, 2004 Botucatu, **Resumos...** Botucatu: FEPAF, 2004. p. 256-259.

WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. Kansas: Kansas State University, 2000. 4 p. (Application Technology Series).

ANEXOS

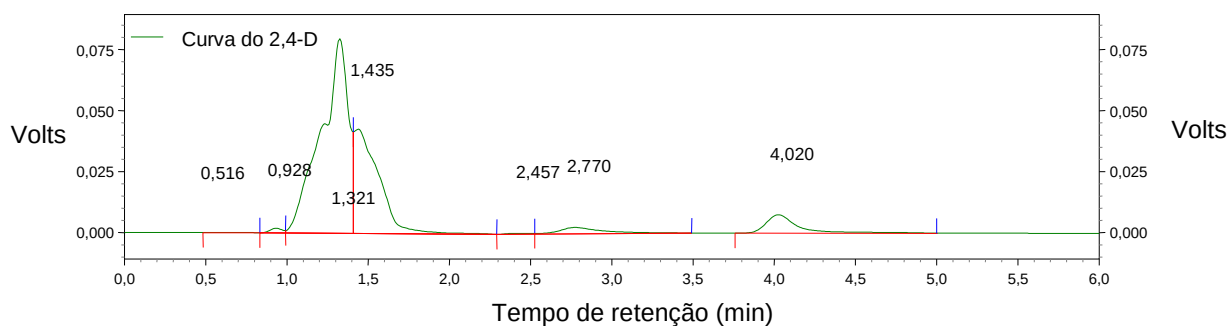


FIGURA 1. Cromatograma da solução padrão de 2,4-D na concentração de $700 \mu\text{g L}^{-1}$ (tempo de retenção de 4,0 minutos).

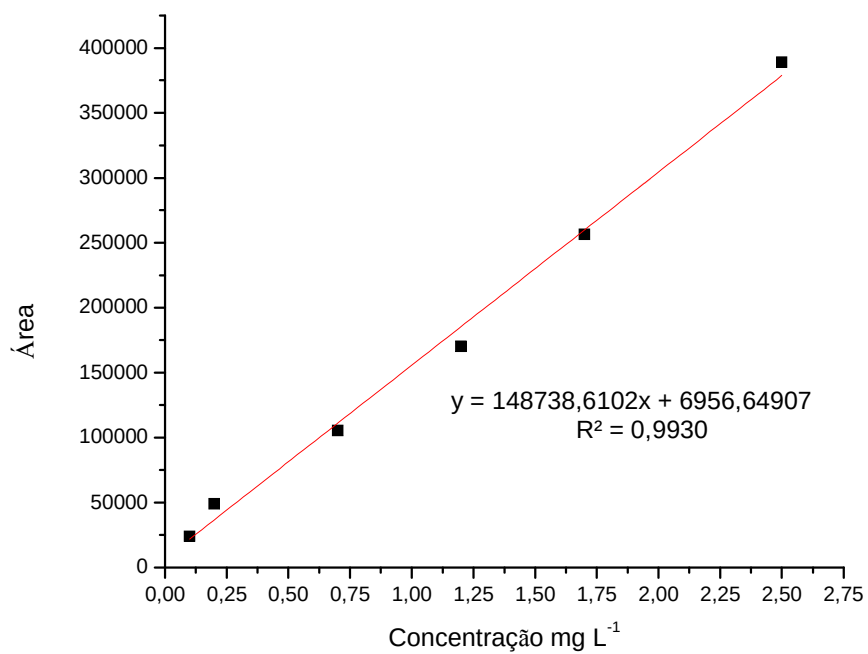


FIGURA 2. Curva padrão do 2,4 D com a técnica da cromatografia líquida.

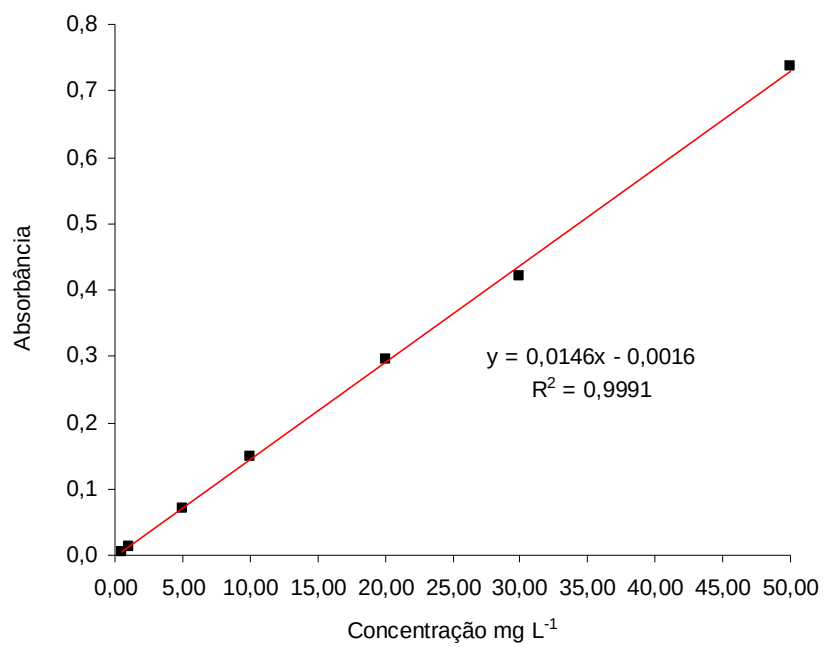


FIGURA 3. Curva padrão do traçador Azul Brilhante com a técnica da espectrofotometria.