

**Lixiviação de diferentes formulações de clomazone em resíduos de cana-de-açúcar**

**Leaching of different clomazone formulations in sugarcane residues**

**Lixiviación de diferentes formulaciones de clomazona em residuos de caña de azúcar**

Recebido: 29/10/2020 | Revisado: 14/11/2020 | Aceito: 18/11/2020 | Publicado: 22/11/2020

**Rafaella Gouveia Mendes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4849-0841>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Brasil

E-mail: [rafaellagouveiamendes@gmail.com](mailto:rafaellagouveiamendes@gmail.com)

**Amanda Fialho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4999-9591>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [amanda.fialho@uemg.br](mailto:amanda.fialho@uemg.br)

**Josef Gastl Filho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3492-1089>

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

E-mail: [josef.gastl@ufu.br](mailto:josef.gastl@ufu.br)

**Antônio dos Santos Júnior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4709-1942>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [antonio\\_agronomia@yahoo.com.br](mailto:antonio_agronomia@yahoo.com.br)

**Izabela Thais dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1238-8244>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil

E-mail: [iza\\_agro@yahoo.com.br](mailto:iza_agro@yahoo.com.br)

**Resumo**

O objetivo do presente estudo foi avaliar a lixiviação de diferentes formulações de clomazone em função da densidade da palhada e diferentes lâminas de irrigação. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, com quatro repetições. O experimento I utilizou dois herbicidas Gamit (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazone) e Gamit 360 CS (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazone microencapsulado), seis densidades de palhada (0, 5, 10, 15, 20, 25 t ha<sup>-1</sup>). Para o experimento II utilizou-se dois herbicidas Gamit (1.260 g ha<sup>-1</sup>

de clomazone) e Gamit 360 CS (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazone microencapsulado), seis lâminas de irrigação (5, 10, 15, 20, 25 e 30 mm). Realizou-se avaliações visuais da porcentagem de intoxicação aos 7, 14, 21 e 28 dias, a matéria seca foi determinada aos 28 dias. A porcentagem de intoxicação em solos contaminados com lixiviado de herbicida em diferentes densidades de palhada (0 e 5 t ha<sup>-1</sup>) se manteve iguais para os herbicidas clomazone na formulação convencional e microencapsulada. Todavia, quando em formulação microencapsulada observou-se nível de intoxicação entorno de 90% demonstrando a capacidade que este tem para transpor acamada de palhada. O incremento da lâmina de água proporcionou a maior transposição do herbicida pela barreira física imposta pela palha, o que refletiu no incremento da porcentagem de controle. Concluiu-se que a lixiviação do clomazone quando em formulação microencapsulada é maior que em formulações convencionais, independente da barreira física imposta pela palhada e pela lâmina de água aplicada.

**Palavras-chave:** Densidade de palha; Herbicida; Lâmina de Água.

### **Abstract**

The aim of the present study was to evaluate the leaching of different clomazone formulations as a function of straw density and different irrigation depths. The experiments were conducted in a completely randomized design, in a 2 x 6 factorial scheme, with four replications. Experiment I used two herbicides Gamit (1,260 g ha<sup>-1</sup> of clomazone) and Gamit 360 CS (1,260 g ha<sup>-1</sup> of microencapsulated clomazone), six straw densities (0, 5, 10, 15, 20, 25 t ha<sup>-1</sup>). For experiment II, two Gamit herbicides (1,260 g ha<sup>-1</sup> of clomazone) and Gamit 360 CS (1,260 g ha<sup>-1</sup> of microencapsulated clomazone) were used, six irrigation depths (5, 10, 15, 20, 25 and 30 mm). Visual assessments of the percentage of intoxication were carried out at 7, 14, 21 and 28 days, the dry matter was determined at 28 days. The percentage of intoxication in soils contaminated with herbicide leachate at different straw densities (0 and 5 t ha<sup>-1</sup>) remained the same for clomazone herbicides in the conventional and microencapsulated formulation. However, when in microencapsulated formulation, a level of intoxication around 90% was observed, demonstrating the capacity it has to overcome the layer of straw. The increase in the water depth provided the greatest transposition of the herbicide by the physical barrier imposed by the straw, which reflected in the increase in the percentage of control. It was concluded that the leaching of clomazone when in microencapsulated formulation is greater than in conventional formulations, regardless of the physical barrier imposed by the straw and the applied water layer.

**Keywords:** Density of straw; Herbicide; Waterblade.

## Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar la lixiviación de diferentes formulaciones de clomazona en función de la densidad de la paja y las diferentes profundidades de riego. Los experimentos se realizaron en un diseño completamente al azar, en un esquema factorial de 2 x 6, con cuatro repeticiones. En el experimento utilicé dos herbicidas Gamit (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazona) y Gamit 360 CS (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazona microencapsulada), seis densidades de paja (0, 5, 10, 15, 20, 25 t ha<sup>-1</sup>). Para el experimento II se utilizaron dos herbicidas Gamit (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazona) y Gamit 360 CS (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazona microencapsulada), seis profundidades de riego (5, 10, 15, 20, 25 y 30 mm). Se realizaron evaluaciones visuales del porcentaje de intoxicación a los 7, 14, 21 y 28 días, la materia seca se determinó a los 28 días. El porcentaje de intoxicación en suelos contaminados con lixiviados de herbicidas a diferentes densidades de paja (0 y 5 t ha<sup>-1</sup>) permaneció igual para los herbicidas de clomazona en la formulación convencional y microencapsulada. Sin embargo, cuando en formulación microencapsulada se observó un nivel de intoxicación cercano al 90%, demostrando la capacidad que tiene para superar la capa de paja. El aumento de la profundidad del agua proporcionó una mayor transposición del herbicida por la barrera física impuesta por la paja, lo que se reflejó en el aumento del porcentaje de control. Se concluyó que la lixiviación de clomazona cuando está en formulación microencapsulada es mayor que en formulaciones convencionales, independientemente de la barrera física impuesta por la paja y la capa de agua aplicada.

**Palabras clave:** Densidad de la paja; Herbicida; Capa de agua.

## 1. Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial da cultura e de acordo com a Companhia Brasileira de Abastecimento – CONAB (2018), a área plantada na safra 2017/18 foi de, aproximadamente, 8,84 milhões de hectares, produzindo em média 646,63 milhões de toneladas e com uma produtividade de 73,27 toneladas de cana-de-açúcar por hectare.

Todavía, em função das políticas ambientais, o manejo da cultura está passando por mudanças drásticas em função da extinção da queima pré-colheita, sendo denominada “cana-verde” (Toniêto et al., 2016).

Com o advento do sistema de produção cana-crua, tem-se o acúmulo de palhada sob o

solo que pode superar 20 t ha<sup>-1</sup> (Correia & Durigan, 2004), o que tem alterado significativamente a fitossociologia de plantas daninhas e a dinâmica de herbicidas nesse ambiente em função do impedimento físico proveniente dos resíduos da colheita. Assim, se faz necessário a revisão da estratégia referente ao manejo de plantas daninhas no ambiente produtivo.

A espessa camada de palha, formada pelos resíduos da colheita da cana-de-açúcar, tem causado impedimento à chegada dos herbicidas até o solo, dificultando o controle das plantas daninhas em pré-emergência, além de causar perda por volatilização e fotólise de produto retido na palhada. Estudos relatam o comportamento dos herbicidas sob os resíduos de cana, sendo necessária à adequação da densidade de palhada remanescente e uma lâmina de água no intuito de favorecer a transposição da calda química até o solo (Araldi et al., 2015; Carbonari et al., 2016; Guerra et al., 2015).

Dentre os herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar tem-se o clomazone {2-[(2-chlorophenyl) methyl]-4,4-dimethyl-3-isoxazolidinona}, que é empregado em pré e em pós emergência inicial das plantas daninhas. O clomazone apresenta elevada pressão de vapor, que é um fator limitante para o uso sob a palhada remanescente da colheita da cana-de-açúcar, todavia, com o microencapsulamento desta molécula tem-se, a redução da volatilização, que é favorável em aplicações sob palhada.

Dessa forma, o presente estudo buscou avaliar a lixiviação de diferentes formulações de clomazone em resíduos de cana-de-açúcar em função da densidade da palhada e diferentes lâminas de irrigação. Buscando assim, determinar a densidade de palha, a lâmina de água que permita melhor transposição do herbicida sob a camada de resíduos vegetais e a eficiência dos produtos; clomazone e clomazone microencapsulado.

## **2. Metodologia**

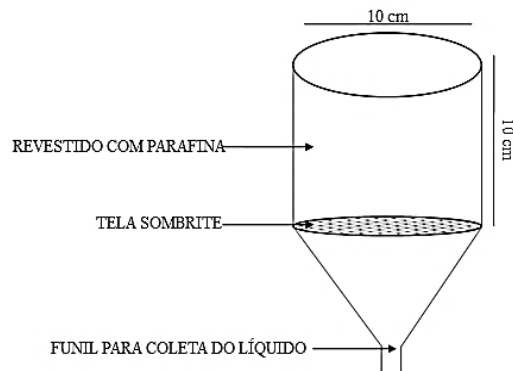
### **2.1 Local do estudo**

O presente estudo foi conduzido em casa de vegetação do *campus* da Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Ituiutaba, cujo georreferenciamento é 18°58'23.56" de latitude S e 49°26'51.53" de longitude W e 571m de altitude no município de Ituiutaba (MG), no ano agrícola 2018/2019 (dezembro à fevereiro). De acordo com a classificação de Köppen e Geiger, a região apresenta clima tropical Aw, definido por verões chuvosos e invernos secos.

## 2.2 Instalação do experimento

Para condução do experimento foram construídas unidades experimentais, que podem ser observadas na Figura 1.

**Figura 1.** Unidade experimental desenvolvida.



Fonte: Autores (2019).

As unidades experimentais foram constituídas, de um cilindro de PVC de 10 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro, vedado com tela sombrite na parte inferior, para reter a palhada da cana-de-açúcar. De modo a reduzir o fluxo preferencial da percolação de água nas paredes do cilindro, o interior deste, foi revestido com parafina. Na face inferior do cilindro foi acoplado um funil, para direcionar todo o líquido percolado para um copo plástico (Figura 1).

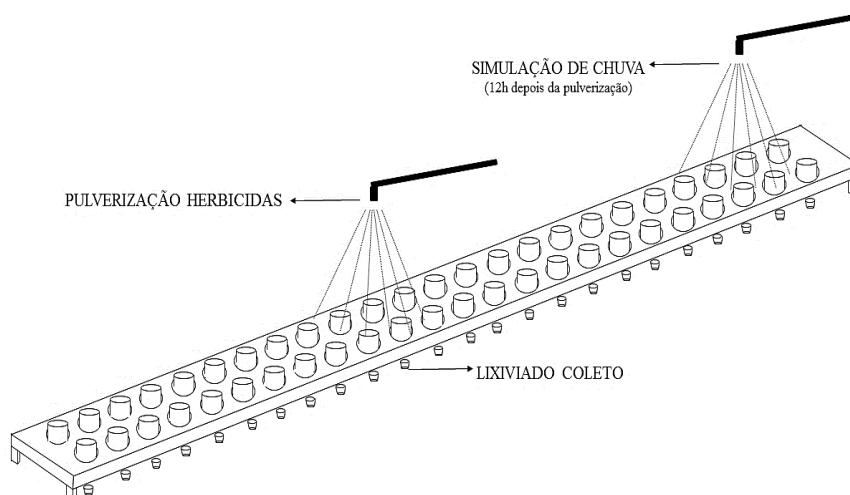
Para o preenchimento dos cilindros, os resíduos vegetais foram colhidos, devidamente mensurados e fracionado em tamanhos de aproximadamente 2 cm<sup>2</sup>. Posteriormente a palha foi acondicionada respeitando cada tratamento, sendo estas levemente compactadas em suas respectivas unidades experimentais para posterior aplicação dos herbicidas e simulação de chuva.

Imediatamente após o preenchimento, os cilindros foram dispostos sobre estruturas de madeira, de 4 m de comprimento por 30 cm de largura, com perfuração de 5,2 cm de raio, para comportar os cilindros. Os cilindros foram encaixados nas perfurações, com o funil para baixo, sendo colocados copos plásticos sob os mesmos, para coletar o líquido percolado.

A aplicação dos herbicidas foi realizada com o auxílio de um pulverizador costal de 20L, com bico pulverizador TT110.02 com pressão constante de 1,5 bar, mantida por válvula

reguladora de pressão, com volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>. Ainda, 24 horas após a aplicação dos herbicidas, foi realizada a simulação de chuva por meio de aspersão, com o auxílio de um pulverizador costal de 20L, com ponta 9505, com pressão constante de 1,5 bar, mantida por válvula reguladora de pressão. O volume da lâmina d'água aplicada na simulação de chuva variou de acordo com cada tratamento.

**Figura 2.** Pulverização do herbicida e simulação de chuva.



Fonte: Autores (2019).

Como se pode observar na Figura 2, foi realizada a pulverização de herbicida, após 24h foi realizada a simulação de chuva, o que resultou em um lixiviado de clomazone. O lixiviado obtido por meio da simulação de chuva foi coletado para posterior realização do bioensaio. Para este, a unidade experimental foi constituída de um vaso vedado contendo 0,2dm<sup>3</sup> de argissolo proveniente da camada arável de 0 – 20 cm de profundidade sem o histórico de aplicação de herbicidas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resultados da análise química e granulométrica do solo na camada 0 a 20 cm.

Ph	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	T	T	V	M
H <sub>2</sub> O	-----cmol.dm <sup>-3</sup> -----							---%---	
5,8	2,1	1,0	0,0	4,29	3,5	3,5	7,8	45	0,0
P	K <sup>+</sup>	Zn	Fe	Mn	Cu	B	MO	Tipo de Solo	
	mg dm <sup>-3</sup>						dag kg <sup>-1</sup>		
0,9	170	1,2	31,0	61,7	4,1	0,0	2,63	Argiloso	

pH em água; P e K<sup>+</sup> – Extrator Mehlich 1; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> – Extrator: KCl – 1 mol L<sup>-1</sup>; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0; SB – Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; MO – matéria orgânica. Fonte: Autores (2019).

O solo foi previamente corrigido e adubado de acordo com a análise de solo, seguindo as recomendações do livro 5ª aproximação para a cultura de cana-de-açúcar (Ribeiro et al., 1999). Foi incorporado ao solo, o equivalente a 0,72g do fertilizante Super Simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 0,02g de uréia (N) e 0,18g de calcário dolomítico por vaso. A mistura foi homogeneizada, e os vasos foram mantidos em repouso na casa de vegetação por 7 dias, recebendo irrigação diariamente.

Após esse período, foram semeadas três sementes por vaso de *Urochloa brizantha*, que é uma espécie bioindicadora da presença de clomazone no solo. O plantio foi seguido da aplicação de uma alíquota de 10ml do lixiviado coletado através da pulverização e da simulação de chuva. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação, sendo acompanhados e irrigados diariamente.

O presente trabalho foi dividido em dois experimentos referentes à densidade de palha e lâmina de chuva, conforme descrito abaixo:

### **2.3 Experimento I**

Para avaliação do comportamento de clomazone em resíduos vegetais da cultura da cana-de-açúcar, o arranjo experimental foi em esquema fatorial 2 x 6, sendo dois herbicidas, Gamit Star (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazone) e Gamit 360 CS (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazone microencapsulado), seis densidades de palhada (0, 5, 10, 15, 20 e 25 t ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, utilizando uma lâmina de chuva padrão de 10 mm.

### **2.4 Experimento II**

Para avaliação da influência da lâmina de água na dinâmica do clomazone em palha de cana-de-açúcar, o arranjo experimental foi em esquema fatorial 2 x 6, sendo dois herbicidas, Gamit Star (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazone) e Gamit 360 CS (1.260 g ha<sup>-1</sup> de clomazone microencapsulado), seis lâminas de irrigação (5, 10, 15, 20, 25 e 30 mm), com quatro repetições, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, utilizando uma densidade de palhada padrão de 10 t ha<sup>-1</sup>.

## 2.5 Avaliação dos experimentos

Em ambos os experimentos, aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação do herbicida (DAA), realizou-se avaliações visuais de controle seguindo a metodologia proposta pela Asociación Latino Americana de Malezas – ALAM (1974), adotando escala de 0 a 100 %, onde 0 % é ausência de intoxicação e 100 %, morte da planta. A determinação da massa da matéria seca total foi realizada aos 28 DAA, mediante a coleta de todo o material vegetal remanescente nos vasos, no qual foi acondicionado em sacos de papel e levados à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C, até atingir massa constante.

## 2.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F, utilizando o software estatístico SAS<sup>®</sup>, para determinação dos efeitos dos fatores herbicida e densidade de palha. Devido à significância, os dados foram ajustados a equações de regressão, levando em conta a explicação biológica do fenômeno, coeficiente de determinação da equação e a significância dos parâmetros.

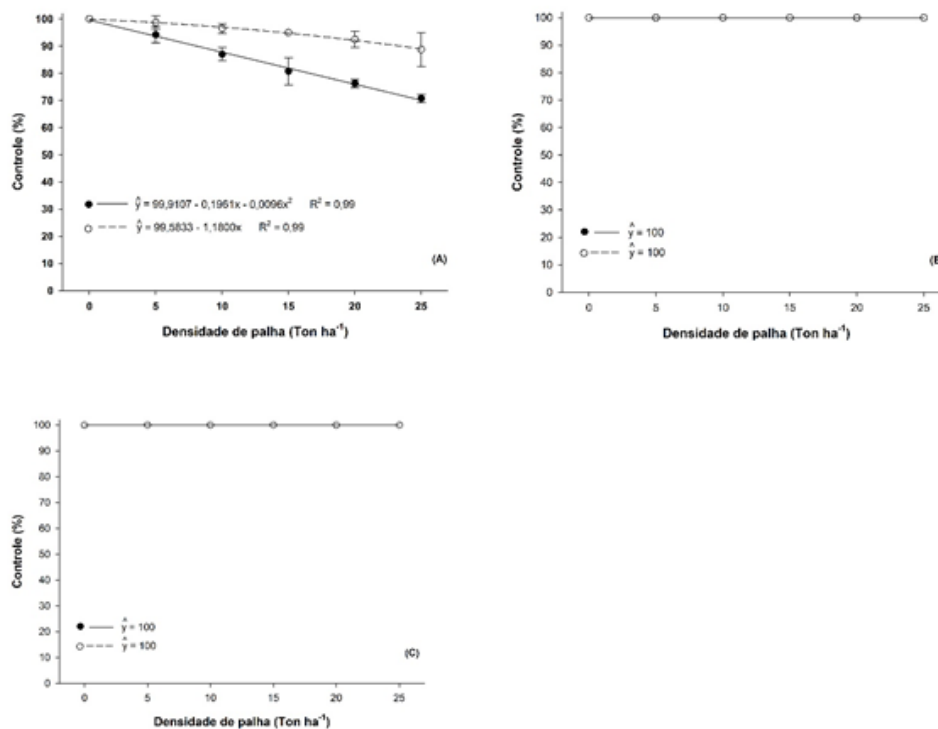
É válido ressaltar que todas as etapas da metodologia do presente estudo foram embasadas no livro de Metodologia Da Pesquisa Científica (Pereira et al., 2018).

## 3. Resultados e Discussão

É possível observar na Figura 3, os índices de controle de *Urochloa brizantha* cultivadas em solos contaminados por lixiviação de clomazone microencapsulado e clomazone convencional sob diferentes densidades de palha aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação.



**Figura 3.** Controle de *Urochloa brizantha* cultivadas em solos contaminados por lixiviação de clomazone microencapsulado (○---) e clomazone convencional (●—) sob diferentes densidades de palha aos 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias após a aplicação. Fonte: Autores (2019).



Fonte: Autores.

A Figura 3 demonstra que houve elevada fitointoxicação do estande de *Urochloa brizantha* quando cultivada em solo contaminado por lixiviado de herbicida, levando em consideração as densidades de palha de 0 e 5 t ha<sup>-1</sup>, tanto para os herbicidas clomazone na formulação convencional quanto na forma microencapsulada a fitointoxicação foram similares entre si. Ao observar a densidade de 10 t ha<sup>-1</sup> de palha, nota-se a influência negativa da palha na porcentagem de fitointoxicação utilizando o herbicida clomazone na formulação convencional, ou seja, houve a interferência por parte da palhada na fitointoxicação, uma vez que o percentual passou de 90% para 85% (Figura 3).

Todavia, quando observada à eficiência da formulação microencapsulada na densidade de palhada de 10 t ha<sup>-1</sup>, nota-se que o nível de intoxicação manteve-se entorno de 90%, ou seja, o herbicida na forma microencapsulado tem maior facilidade de transpor a barreira física proporcionada pela palha (Figura 3). O fato de ter ocorrido menor intoxicação com o aumento da densidade de palha deve-se a interação do herbicida com a barreira física imposta pela palhada (Araldi et al., 2015), dificultando que o princípio ativo do herbicida chegue ao alvo e favorecendo o crescimento da *U. brizantha*.

Os autores Velini e Negrisoni (2000), Gravena et al. (2004) e Durigan et al. (2004), estudaram a influência da densidade de palha na percolação de herbicidas até o solo. Velini e Negrisoni (2000), procurando determinar a porcentagem de interceptação do corante FDC-1 (simulando um herbicida), nas camadas de palha (0, 1, 2, 4, 6, 8, 10 e 15 t ha<sup>-1</sup>), verificaram que na camada de palha de 1 t ha<sup>-1</sup> ocorreu à interceptação de 35,5%, já com 10 e 15 t ha<sup>-1</sup>, as porcentagens de interceptação da calda pela palha foram de 99,4 e 99,5%, respectivamente. Conforme resultado obtido no presente trabalho, é possível inferir que a palhada não interferiu de modo a interceptar na totalidade os herbicidas como no trabalho de Velini e Negrisoni (2000).

Gravena et al. (2004) verificaram que, a presença de até 10 t ha<sup>-1</sup> de palha de cana-de-açúcar, o controle das plantas daninhas foi eficiente, porém em quantidades maiores ocorreu redução da ação do trifloxysulfuron sodium + ametryn no controle de plantas daninhas. Diferentemente do presente estudo, no qual o controle das plantas daninhas foi eficiente mesmo em densidades superiores a 10 t ha<sup>-1</sup> de palha, considerando todos os períodos avaliados.

Durigan, et al. (2004) observaram que os herbicidas sulfentrazone e imazapic foram eficazes, apenas quando não havia cobertura de solo com a palha da cana remanescente da colheita, resultado totalmente oposto ao averiguado no presente trabalho, no qual os herbicidas clomazone convencional e o clomazone na forma microencapsulada foram eficazes mesmo sob elevadas densidades de palha de cana-de-açúcar.

Simoni et al. (2006) verificaram a redução da eficácia do herbicida sulfentrazone, na presença de 20 t ha<sup>-1</sup> de palha de cana-de-açúcar, já para o herbicida imazapic houve bom desempenho tanto na ausência quanto na presença de palha. Azania et al. (2004), verificaram que uma camada de palha de 15 t ha<sup>-1</sup> possui potencial para reter o herbicida imazapic, especialmente sob períodos de pouca precipitação ou irrigação. Para o herbicida clomazone nas suas duas formas estudadas, houve queda branda em sua eficiência de controle aos 7 dias após a aplicação, no entanto a palha não foi fator limitador para que a eficiência no controle atingisse os 100% aos 14 dias e 21 dias após a aplicação (Figura 3).

Como visto na Figura 3, na avaliação de 7 DAA houve variação nos percentuais de controle para as diferentes densidades de palha. Contudo, nas avaliações de 14 DAA, e 21 DAA, a fitointoxicação atingiu 100%. O que pode ser explicado pela ação residual do herbicida com o passar dos DAA (Figura 3).

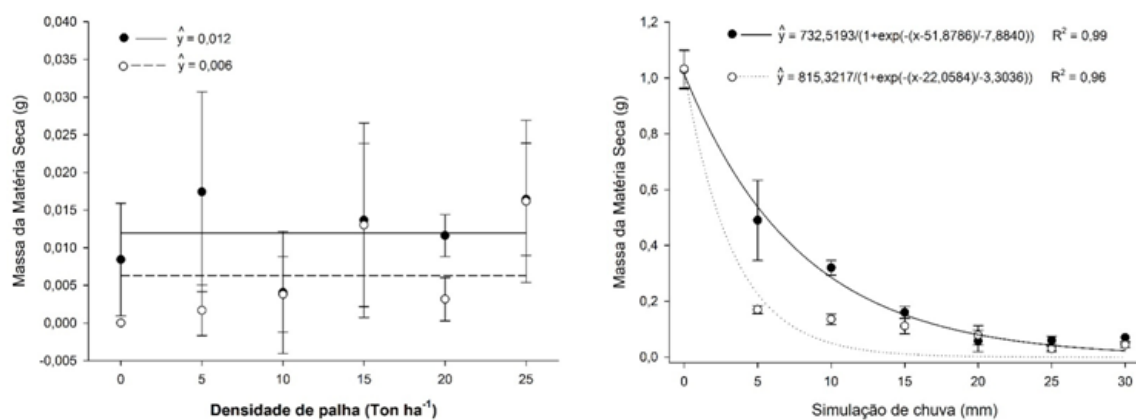
As plantas que aos 7 DAA, apresentavam apenas sinais de toxidez, tiveram o caso evoluído, sendo que a porcentagem de controle atingiu 100% aos 14 e 21 DAA. Este fato

pode ser atribuído ao princípio ativo de controle do clomazone, pois este, pertence ao grupo químico das isoxazolidinonas, que atuando indiretamente no processo da fotossíntese, inibindo a enzima deoxixilulose fosfato sintase (DXP sintase), responsável pela síntese de isoterpenoides, precursores básicos dos carotenoides (Ferhatoglu & Barret, 2006), estes possuem a função de proteção da clorofila à foto-oxidação. Na ausência dos carotenoides a clorofila vai sendo gradualmente oxidada, as folhas perdem a coloração verde, tornando-se brancas (Senseman, 2007), e posteriormente morrem.

É possível observar na Figura 4, através da matéria seca das plantas de *U. brizantha*, que o herbicida clomazone microencapsulado, interferiu de maneira mais significativa no desenvolvimento das plantas, quando comparado ao clomazone convencional. Vasilakoglou e Eleftherohorinos (1997) observaram maior atividade biológica, maior lixiviação e menor adsorção ao solo quando na formulação convencional.

Fleming et al. (1992), observaram que a formulação microencapsulada resulta em maior concentração dos herbicidas na superfície do solo. Isso se deve ao fato de que estes estão menos suscetíveis a perdas no ambiente, como verificado por Schreiber (2012), o qual afirma que o clomazone microencapsulado, tem seu potencial de volatilização reduzido. Com a perda reduzida, o produto permanece disponível por mais tempo, e assim a atuação sobre o metabolismo da planta é maior, refletindo em menor produção de matéria seca.

**Figura 4.** Massa da matéria seca das plantas de *Urochloa brizantha* cultivadas em solo contaminado por lixiviado de clomazone microencapsulado (○---) e clomazone (●—) sob diferentes densidades de palha aos 21 dias após a aplicação (à esquerda) e sob diferentes lâminas de chuva, aos 21 dias após a aplicação (à direita).



Fonte: Autores (2019).

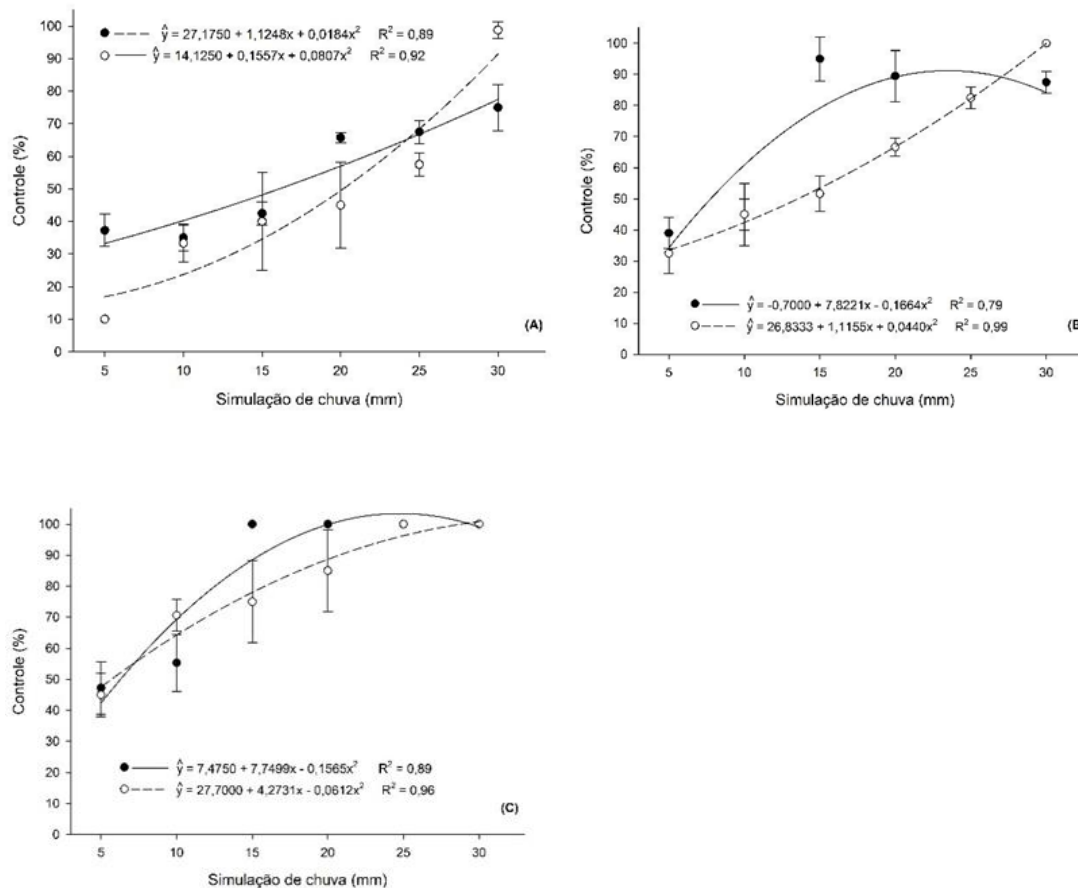
Observa-se na Figura 4, que maiores acúmulos de matéria seca estão relacionados a maiores densidades de palha. Isso pode ser atribuído ao fato de que parte de herbicida ficou retido nas palhas, em uma relação proporcional a densidade da mesma, ou seja, quanto maior a densidade de palha, maior a retenção do herbicida e menor a transposição desde até o solo, o que consequentemente reflete na ação deste sobre as plantas. Conforme relatado por Mills et al. (1989), ao aplicarem o clomazone em cobertura vegetal, mais de 40% do produto não atingiu o solo, sendo retido pela palha e/ou volatilizado.

O clomazone pode ter sua volatilidade ainda mais acentuada quando aplicado sobre cobertura morta do que em solo nu (Rodrigues, 1993). Em solo nu ( $0 \text{ t ha}^{-1}$ ), a produção de matéria seca foi 0,00, ou seja, houve eficiência de 100% de fitointoxicação, que pode ser atribuída à chegada do clomazone ao solo, devido à ausência da cobertura morta.

Como estímulo para chegada do clomazone ao solo, na presença de cobertura morta, é possível utilizar como artifício, a aplicação de uma lâmina de água, visando percolar, o herbicida retido na palha, até a superfície do solo. A eficiência desse método pode ser verificada claramente na Figura 4, onde o maior valor de massa seca foi obtido em 0,0 mm de lâmina de água e o menor valor foi obtido em 30mm de lâmina de água. Os baixos valores de massa seca indicam a chegada do herbicida ao solo e o consequente efeito sobre o desenvolvimento das plantas.

Como visto nas avaliações de controle de *U. brizantha* sob diferentes densidades de palha, a barreira física criada por esta, influencia diretamente na chegada do herbicida ao solo. A cobertura do solo com a palha da cana-de-açúcar pode aumentar a dificuldade de ação dos herbicidas, e nesse caso, a água da chuva é a principal via na transposição do herbicida até a superfície do solo (Maciel & Velini, 2005; Simoni et al. 2006). De fato, mesmo que chova, é possível que haja uma redução na quantidade de clomazone que atinge o solo, a qual será influenciada pelo período de exposição na palha antes da ocorrência de chuvas (Carbonari et al., 2010).

**Figura 5.** Controle de *Urochloa brizantha* cultivadas em solos contaminados por lixiviado de clomazone microencapsulado (○---) e clomazone convencional (●—) sob diferentes lâminas de chuva aos 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias após a aplicação.



Fonte: Autores (2019).

É possível observar no gráfico da Figura 5, que o aumento da lâmina de água aplicada na palha influenciou positivamente a eficácia do controle das plantas da espécie *U. brizantha*. O maior controle da planta infestante mediante ao aumento da lâmina de água aplicada se deve ao fato que, a água proporciona o maior carreamento do herbicida através da barreira física imposta pela palhada. Na avaliação de 7 DAA, o maior percentual de fitointoxicação foi observado no herbicida clomazone microencapsulado, submetido a uma lâmina de água de 30 mm, proporcionando uma fitointoxicação superior a 70%.

Cavenaghi et al. (2007) ao trabalharem com o herbicida amicarbazone, observaram que independentemente das lâminas de chuva aplicadas (2,5, 5, 10, 20, 35, 50 e 65 mm), a quantidade do produto lixiviado pelas lâminas de chuva diminuiu com o aumento do intervalo de tempo entre a aplicação do herbicida e a primeira chuva.

Ao se comparar os resultados obtidos por Cavenaghi et al. (2007), com os resultados do presente estudo, é possível inferir a necessidade de se aplicar a lâmina da água após a pulverização, pois, como citado por Locke e Bryson (1997), quando um herbicida é aplicado sobre a palhada, ele é retido na sua superfície e torna-se vulnerável à degradação causada pela volatilização e foto-oxidação, até o momento de ser percolado para o solo. Em relação ao clomazone, Rodrigues (1993), observou que o herbicida apresenta a alta volatilidade, o que reduz a sua capacidade em atingir o solo em sistema com presença de cobertura morta. Tal fato ressalta a necessidade da aplicação de uma lâmina d'água após a pulverização do produto, como realizado no presente estudo.

A eficiência da aplicação da lâmina de água após a pulverização pode ser vista de forma mais evidente na Figura 5, onde a fitointoxicação de *U. brizantha* passou de  $\pm 70\%$  aos 7 DAA para 100% aos 14 DAA, referente ao herbicida clomazone microencapsulado combinado com 30 mm de lâmina de água. Nesse caso, as plantas que no sétimo DAA, apresentavam apenas sinais de toxidez, tiveram o quadro evoluído devido à inibição da síntese de carotenoides e a consequente oxidação da clorofila, nesse processo as plantas ficaram brancas, e morrem em pouco tempo (Rodrigues & Almeida, 2005).

Na avaliação de 21 DAA (Figura 5), observou-se uma relação proporcional, onde o aumento da eficiência do herbicida clomazone microencapsulado, ocorreu junto ao aumento dos DAA. Para todas as lâminas de água que foram avaliadas, houve um aumento gradual, sendo o menor valor registrado aos 7 DAA, com aumento significativo aos 14 DAA, e atingindo o valor máximo aos 21 DAA. É possível observar que o fitointoxicação destas plantas infestantes pelo herbicida clomazone é influenciado negativamente em lâminas superiores a 25 mm.

De modo geral, o incremento da lâmina de água proporciona o maior carreamento do herbicida pela barreira física imposta pela palhada, o que reflete no incremento da porcentagem de fitointoxicação das *U. brizantha*, independente da época avaliada. Contudo, foi possível observar que quanto maior os DAA, mais visível a ação do herbicida. Isso pode ocorrer, pois, a partir do momento em que o herbicida ultrapassa a barreira da palha e atinge o solo, apresenta maior persistência, devido às características proporcionadas pela própria cobertura na amenização dos processos de perdas como, por exemplo, a fotodegradação (Jones et al., 1990; Maciel & Velini, 2005; Sorenson et al., 1991).

Ainda, na análise de 21 DAA, pode-se considerar que a lâmina de água de 25 mm apresenta a mesma capacidade de fitointoxicação que a lâmina de 30 mm (100%), sendo esta eficiente para percolar o herbicida até o solo. Cavenaghi et al. (2006) observaram que a

ocorrência de 20 mm de chuva foi suficiente para percolar o herbicida imazapic, por uma camada de 10 t ha<sup>-1</sup> de cana, até o solo. Corrêa (2006) observou que chuvas superiores a 20 mm são capazes de lixiviar mais de 98% dos herbicidas (diuron + hexazinona), para o solo, na presença de 5 a 20 t ha<sup>-1</sup> de palha de cana-de-açúcar. Selim et al. (2003), observaram uma retenção de cerca 22% do atrazine na camada de palha de cana-de-açúcar, mesmo após precipitação pluviométrica acumulada de 23 mm. Medeiros (2001) observou altos níveis de percolação do herbicida imazapic, através da palha de cana, independentemente da quantidade de água (10 ou 20 mm) aplicada após a pulverização do herbicida.

Carbonari et al. (2016) observaram que o incremento da lâmina de água proporciona uma maior lixiviação dos herbicidas aplicados sob a palha e conseqüentemente, o aumento da disponibilidade deste para ser absorvido pelas plantas daninhas. Araldi et al. (2015) observaram que os herbicidas atrazine, clomazone e diuron, que precisaram de uma quantidade superior de chuva para serem lixiviados da cobertura vegetal, em função da quantidade máxima removível dos herbicidas. No presente estudo, em relação ao volume da lâmina de água, foi possível estabelecer uma relação proporcional, onde, quanto maior o volume de água aplicada, maior o percentual de controle, independente do herbicida utilizado.

Tanto nas avaliações de densidade de palha, quanto nas avaliações de lâmina d'água é possível observar que o herbicida clomazone microencapsulado, apresentou maior fitointoxicação das plantas de *U. brizantha*. A microencapsulação do herbicida torna a ação do produto mais eficaz, minimizando as perdas por degradação, evaporação ou dissolução, volatilização e foto-oxidação (Bajpai & Giri, 2002; Kumbar & Aminabhavi, 2002). A microencapsulação consiste em revestir o ingrediente ativo com uma camada de polímero (Batycky et al., 1997; Linhard, 1988). Tal camada atua como uma proteção, que prolonga a vida útil dos herbicidas, proporciona a liberação adequada do princípio ativo, com maior biodisponibilidade, redução de efeitos nocivos sobre os organismos que não são alvos (Pereira et al., 2014; Ré, 2000).

De acordo com Barceló e Hennion (2003), o herbicida clomazone apresenta baixo valor de coeficiente de partição octanol-água ( $\log K_{ow} = 2,54$ ), o que explica sua tendência a sofrer lixiviação em presença de água. Dessa forma a aplicação de uma lâmina de água após a pulverização do herbicida, permite que ele seja transposto pela palha e atinja a superfície do solo.

Considera-se de suma importância que o herbicida ultrapasse a camada de palha e atinja o solo, para isso é necessário a aplicação de uma lâmina de água proporcional a densidade de palha, ou seja, quanto maior a densidade de palha sobre o solo, maior será o

volume da lâmina d'água necessário para fazer com que o herbicida chegue ao solo e seja absorvido pela planta.

A rápida absorção do herbicida pelas plantas daninhas é essencial para garantir que a infestação não atinja níveis de danos econômicos. Lorenzi (1995) relata que de acordo com a infestação, o controle das plantas daninhas pode representar entre 15 e 25% em cana-planta, chegando até 30% do custo total de produção em cana-soca. Além dos custos para o controle de plantas daninhas, a competição por água, luz, nutrientes e espaço pode levar a perdas na produtividade e na qualidade do produto colhido (Kuva et al., 2003; Negrisoli et al., 2007).

#### 4. Considerações Finais

A capacidade de transposição do clomazone quando em formulação microencapsulada é maior que em formulações convencionais, independente da barreira física imposta pela palhada e pela lâmina de água aplicada. Como observado no presente trabalho, a barreira física imposta pela palha pode reter determinados tipos de produtos, o que afetaria diretamente o manejo de tratamentos culturais. Dessa forma, sugere-se que outros trabalhos sejam realizados, avaliando a percolação de outros produtos, como vinhaça, fertilizantes, inseticidas e até mesmo outros herbicidas, sob a camada de palha.

#### Referências

- Araldi, R., Velini, E. D., Gomes, G. L. G. C., Tropaldi, L., Silva, I. P. F., & Carbonari, C. A. (2015). Performance of herbicides in sugar cane straw. *Ciência Rural*, 45(12), 2106-2112.
- Asociación Latino Americana de Malezas. (1974). Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. *ALAM*, 1, 35-8.
- Azania, C. A. M., Azania, A. A. P. M., Centurion, M. A. P. C., & Alves, P. L. C. A. (2004). Seletividade do imazapic para duas cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea*) cultivados na ausência e na presença de palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 22(1), 145-150.
- Bajpai, A. K., & Giri, A. (2002). Swelling dynamics of a ternary interpenetrating polymer network (IPN) and controlled release of potassium nitrate as a model agrochemical. *Journal of Macromolecular Science*, 39(1-2), 75-102.



Barceló, D., & Hennion, M. C. (2003). Pesticides and their degradation products: characteristics, usage and environmental behavior. Trace determination of pesticides and their degradation products in water. Amsterdam: *Elsevier Science B*. Cap. 1, 19, 89-94.

Batycky, R. P., Hanes, J., Langer, R., & Edwards, D. A. (1997). A theoretical model of erosion and macro molecular drug release from biodegrading microspheres. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 86(12), 1464-1477.

Carbonari, C. A., Gomes, G. L. G. C., Trindade, M. L. B., Silva, J. R. M., & Velini, E. D. (2016). Dynamics of Sulfentrazone Applied to Sugar cane Crop Residues. *Weed Science*, 64, 201- 206.

Carbonari, C. A., Velini, E. D., Correa, M. R., Negrisoni, E., Rossi, C. V., & Oliveira, C. P. (2010). Efeitos de períodos de permanência de clomazone + hexazinona no solo e na palha de cana-de-açúcar antes da ocorrência de chuvas na eficácia de controle de plantas daninhas. *Planta daninha*, 28(1), 197-205.

Cavenaghi, A. L., Rossi, C. V. S., Negrisoni, E., Costa, E. A. D., Velini, E. D., & Toledo, R. E. B. (2007). Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). *Planta Daninha*, 25(4), 831-837.

Cavenaghi, A.L., Velini, E. D., Corrêa, M. R., Medeiros, D., & Degaspari, N. (2006). Dinâmica do herbicida imazapic aplicado sobre a palha de cana-de-açúcar. In *Resumos 25º Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas*. Brasília: SBCPD; UNB; Embrapa Cerrados, 360.

Companhia Nacional de Abastecimento. (2018). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. *Safra 2017/18*,4(4), 77.

Corrêa, M. R. (2006). *Dinâmica e eficácia da mistura formulada de diuron e hexazinane no sistema de produção de cana crua*. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP.

Correia, N. M., & Durigan, J. C. (2004). Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 22(1), 11-17.

Durigan, J. C., Timossi, P. C., & Leite, G. J. (2004). Controle químico da tiririca (*Cyperus rotundus*), com e sem cobertura do solo pela palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 22(1), 127-135.

Ferhatoglu, Y., & Barret, M. (2006). Studies of clomazone mode of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. San Diego, 85(1), 7-14.

Fleming, G. F., Wax, L. M., Simmons, F. W., & Felsot, A. S. (1992). Movement of alachlor and metribuzin from controlled release formulations in a sandy soil. *Weed Science*, 40(2), 606-613.

Gravena, R., Rodrigues, J. P. R. G., Spindola, W., Pitelli, R. A., & Alves, P. L. C. A. (2004). Controle de plantas daninhas através da palha de cana-de-açúcar associada à mistura dos herbicidas trifloxysulfuron sodium + ametryn. *Planta Daninha*, Viçosa, 22(3), 419-427.

Guerra, N., Oliveira JR, R. S., Constantin, J., Oliveira Neto, A. M., Puton, G., & Garrido, T. H. P.(2015). Influence of precipitation and sugar cane straw in aminocyclopyrachlor and indaziflam control efficiency. *Planta Daninha*, 33(3), 535-542.

Jones, R.E., Banks, P.A., & Radcliffe, D. E. (1990). Alachlor and metribuzin movement and dissipation in a soil profile as influenced by soil surface condition. *Weed Science*, 38(2), 589-597.

Kumbar, S. G., & Aminabhavi, T. M. (2002). Preparation and characterization of inter penetrating network beads of poly (vinyl alcohol)-grafted-poly (acrylamide) with sodium alginate and their controlled release characteristics for cypermethrin pesticide. *Journal of Applied Polymer Science*, 84(3), 552-560.

Kuva, M. A., Gravena, R., Pitelli, R. A., Christoffoleti, P. J., & Alves, P. L. C. A. (2003). Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana de açúcar. III- Capim

Brachiaria (*Brachiaria decumbens*) e capim colônia (*Panicum maximum*). *Planta Daninha*, 21(1), 37- 44.

Linhard, R. (1988). Biodegradable polymers for controlled release of drugs. In: *Rosoff M. Controlled release of drugs: Polymers and aggregate systems*. VCH Publisher Inc, 53-85.

Locke, M. A., & Bryson, C. T. (1997). Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. *Weed Science*, 45(2), 307-320.

Lorenzi, H. (1995). Plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. In *Anais 4º Encontro Técnico Goal, Cana-de-açúcar*. Recife: Dow Agro Sciences, 10-20.

Maciel, C. D. G., & Velini, E. D. (2005). Simulação do caminamento da água da chuva e herbicidas em palhadas utilizadas em sistemas de plantio direto. *Planta Daninha*, 23(3), 471-481.

Medeiros, D. (2001). *Efeitos da palha de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) sobre o manejo de plantas daninhas e dinâmica do banco de sementes* (Dissertação de Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

Mills, J. A., Witt, W. W., & Barrett, J. (1989). Effects of tillage on the efficacy and persistence of clomazone in soybean (*Glycine max*). *Weed Science*, 37(2), 217-222.

Negrisoli, E., Rossi, C. V. S., Velini, E. D., Cavenaghi, A. L., Costa, E. A. D., & Toledo, R. E. B. (2007). Controle de plantas daninhas pelo amicarbazone aplicado na presença de palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 25(3), 603-611.

Pereira, A. E. S., Grillo, R., Mello, N. F. S., Rosa, A. H., & Fraceto, L. F. (2014). Application of poly (epsilon-caprolactone) nanoparticles containing atrazine herbicide as an alternative technique to control weeds and reduce damage to the environment. *Journal of Hazardous Materials*, 268, 207–215.

Ré, M. I. (2000). Microencapsulação: Em busca de produtos inteligentes. *Ciência Hoje*, 27(162), 24-29.

Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., & Alvarez, V. A. H. (1999). *Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Mina Gerais – 5º aproximação*. Viçosa, 359.

Rodrigues, B. N. (1993). Influência da cobertura morta no comportamento dos herbicidas imazaquin e clomazone. *Planta Daninha*, 11(1/2), 21-8.

Rodrigues, B. N., & Almeida, F. S. (2005). *Guia de herbicidas*. Londrina: Grafmarke, 592.

Schreiber, F. (2012). *Volatilization of clomazone and occurrence of steroid hormones and pesticides in drinking water and showers of rice production regions of southern Brazil*. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

Selim, H. M., Zhou, L., & Zhu, H. (2003). Herbicide retention in soil as affected by sugarcane mulch residue. *J. Environ. Quality*, 32(4), 1445-1454.

Senseman, S. A. (2007). *Herbicide handbook*. 9º Ed. Champaign: *Weed Science Society of America*, 458.

Simoni, F., Victoria Filho, R., San Martin, H. A. M., Salvador, F. L., Aalves, A. S. R., & Bremer Neto, H. (2006). Eficácia de imazapic e sulfentrazone sobre *Cyperus rotundus* em diferentes condições de chuva e palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 24(4), 769-778.

Sorenson, B. A., Shea, P. J., & Roeth, F.W. (1991). Effects of tillage, application time and rate on metribuzin dissipation. *Weed Research*, 31(5), 333-345.

Toniêto, T. A. P., Pierri, L., Tornisielo, V. L., & Reginato, J. B. (2016). Fate of Tebuthiuron and Hexazinone in Green-Cane Harvesting System. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 3960 - 3966.

Vasilakoglou, I. B., & Eleftherohorinos, I. G. (1997). Activity, adsorption, mobility, efficacy and persistence of alachlor as influenced by formulation. *Weed Science*, 45(2), 579-585.

Velini, E. D., & Negrisoni, E. (2000). Controle de plantas daninhas em cana-crua. In *Anais 22º Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas*. Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 148-164.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Rafaella Gouveia Mendes – 30%

Amanda Fialho – 20%

Josef Gastl Filho – 20%

Antônio dos Santos Júnior – 20%

Izabela Thais dos Santos – 10%