

Efeito do extrato aquoso de *Simarouba versicolor* sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório

Effect of aqueous extract of *Simarouba versicolor* on *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in laboratory

Efecto del extracto acuoso de *Simarouba versicolor* sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) en laboratorio

Recebido: 31/08/2022 | Revisado: 19/09/2022 | Aceitado: 28/09/2022 | Publicado: 06/10/2022

Bruno Pavan Alexandre

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8272-6128>
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
E-mail: bruno.pavan.alexandre@gmail.com

Silvana Aparecida de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6118-7890>
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: silvanaadesouza@gmail.com

Marcia Regina Faima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1664-134X>
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
E-mail: marcia.faima@gmail.com

Rosilda Mara Mussury Franco Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8961-9146>
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: maramussury@ufgd.edu.br

Alex Sandro Poltronieri

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4906-5273>
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
E-mail: alex.poltronieri@ufsc.br

Resumo

O uso de inseticidas sintéticos no manejo de *Sitophilus zeamais* tem causado problemas, como a seleção de insetos resistentes, tornando desejável a busca por estratégias de controle menos agressivas. *Simarouba versicolor* é uma planta nativa do Brasil, com propriedades inseticidas. Devido à ausência de informações sobre a ação de *S. versicolor* em pragas de grãos armazenados, foi avaliado o efeito de *S. versicolor* sobre adultos de *S. zeamais*. O efeito letal foi avaliado pela exposição via contato direto e residual ao extrato foliar de *S. versicolor* nas concentrações de 0,1% e 0,01%, água destilada (controle negativo) e Citromax[®] na concentração 0,1% (controle positivo). O efeito subletal foi avaliado por meio de parâmetros de desenvolvimento populacional (r_i) do gorgulho em milho previamente exposto aos diferentes tratamentos e a repelência foi verificada em testes com chance de escolha. O contato direto com *S. versicolor* causou uma baixa mortalidade de *S. zeamais*. A mortalidade causada por Citromax[®] foi 72,7% superior à observada para *S. versicolor* após 24h da exposição. O contato residual com *S. versicolor* e Citromax[®] causaram uma baixa mortalidade de *S. zeamais*. Em avaliações após 120h a mortalidade causada por *S. versicolor* não superou 5,0%, enquanto para Citromax[®] a mortalidade foi de 5,4%. A população de *S. zeamais* exposta a água destilada teve a maior r_i (0,014), sendo $\approx 28,5\%$ superior ao r_i das populações de *S. zeamais* expostas a *S. versicolor*. Citromax[®] apresentou uma r_i negativa, indicando a provável extinção da população. *S. versicolor* não apresentou atividades repelente.

Palavras-chave: Gorgulho do milho; Produtos armazenados; Inseticida natural.

Abstract

The use of synthetic insecticides in the management of *Sitophilus zeamais* has caused problems, such as the selection of resistant insects, making the search for less aggressive control strategies desirable. *Simarouba versicolor* is a plant native to Brazil, with insecticidal properties. Due to the lack of information on the action of *S. versicolor* on stored grain pests, the effect of *S. versicolor* on *S. zeamais* adults was evaluated. The lethal effect was evaluated by direct and residual exposure to leaf extract of *S. versicolor* at concentrations of 0.1% and 0.01%, distilled water (negative control) and Citromax[®] at 0.1% concentration (positive control)). The sublethal effect was evaluated through population development parameters (r_i) of the weevil in corn previously exposed to different treatments and repellency was verified in free-choice tests. Direct contact with *S. versicolor* caused a low mortality of *S. zeamais*.

Mortality caused by Citromax[®] was 72.7% higher than that observed for *S. versicolor* 24h after exposure. Residual contact with *S. versicolor* and Citromax[®] caused a low mortality of *S. zeamais*. In evaluations after 120h the mortality caused by *S. versicolor* did not exceed 5.0%, while for Citromax[®] the mortality was 5.4%. The population of *S. zeamais* exposed to distilled water had the highest r_i (0.014), being $\approx 28.5\%$ higher than the r_i of the populations of *S. zeamais* exposed to *S. versicolor*. Citromax[®] had a negative r_i , indicating the probable extinction of the population. *S. versicolor* did not show repellent activities.

Keywords: Corn weevil; Stored products; Natural insecticide.

Resumen

El uso de insecticidas sintéticos en el manejo de *Sitophilus zeamais* ha causado problemas, como la selección de insectos resistentes, haciendo deseable la búsqueda de estrategias de control menos agresivas. *Simarouba versicolor* es una planta originaria de Brasil, con propiedades insecticidas. Debido a la falta de información sobre la acción de *S. versicolor* sobre plagas de granos almacenados, se evaluó el efecto de *S. versicolor* sobre adultos de *S. zeamais*. El efecto letal se evaluó por exposición directa y residual an extracto de hoja de *S. versicolor* a concentraciones de 0.1% y 0.01%, agua destilada (control negativo) y Citromax[®] a concentración de 0.1% (control positivo). Se evaluó el efecto subletal a través de parámetros de desarrollo poblacional (r_i) del picudo en maíz previamente expuesto a diferentes tratamientos y se verificó la repelencia en pruebas de libre elección. El contacto directo con *S. versicolor* provocó una baja mortalidad de *S. zeamais*. La mortalidad provocada por Citromax[®] fue un 72,7% superior a la observada por *S. versicolor* 24h después de la exposición. El contacto residual con *S. versicolor* y Citromax[®] provocó una baja mortalidad de *S. zeamais*. En evaluaciones a las 120h la mortalidad provocada por *S. versicolor* no superó el 5,0%, mientras que para Citromax[®] la mortalidad fue del 5,4%. La población de *S. zeamais* expuesta a agua destilada presentó el r_i más alto (0,014), siendo $\approx 28,5\%$ superior al r_i de las poblaciones de *S. zeamais* expuestas a *S. versicolor*. Citromax[®] tuvo un r_i negativo, indicando la probable extinción de la población. *S. versicolor* no mostró actividades repelentes.

Palabras clave: Picudo del maíz; Productos almacenados; Insecticida natural.

1. Introdução

O armazenamento do milho é uma das etapas mais importantes para sua conservação, com a cadeia produtiva enfrentando desafios quantitativos e qualitativos devido ao ataque de pragas (Reed *et al.*, 2007; Park *et al.*, 2012). O gorgulho *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) é uma das principais pragas do milho armazenado (Faroni, 1992; Silveira *et al.*, 2006). O inseto penetra nos grãos causando perdas significativas (Faroni, 1992; Caneppele *et al.*, 2003), comprometendo a massa de grãos em um curto período (Faroni, 1992; Lorini *et al.*, 2015).

O uso de inseticidas fumigantes é a principal estratégia no manejo de *S. zeamais*. Entretanto, o emprego de fumigantes pode ser ineficaz devido à aplicação inadequada, contribuindo para seleção de insetos resistentes (Santos *et al.*, 2009). Além da fumigação, inseticidas piretroides e organofosforados são utilizados no manejo de *S. zeamais* (AGROFIT, 2022), com o uso intensivo destes produtos gerando resíduos na massa de grãos e a seleção populações resistentes (Muzemu *et al.*, 2003; Rosa *et al.*, 2020).

O uso de inseticidas botânicos é uma alternativa ao controle químico de *S. zeamais*. Espécies vegetais podem produzir compostos com atividade inseticidas e repelentes, sendo empregadas como extratos, óleos essenciais ou pó (McLaren, 1986; Koul *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2018). Entre as vantagens do uso de inseticidas botânicos está a possibilidade de serem inócuos a mamíferos, rapidamente degradados, possuem menor risco de resíduos (Roel, 2001; Koul *et al.*, 2008; Prates *et al.*, 2019) e menor custo de produção (Mazzonetto e Vendramim, 2003). O menor custo de produção pode estar ligado ao emprego de extratos aquosos de folhas. O extrato aquoso de folhas é de fácil preparo, permitindo uma produção abundante e viabilizando seu emprego em pequenas propriedades rurais (Viana *et al.*, 2006).

A família Simaroubaceae possui potencial para emprego no controle de pragas agrícolas (Coelho *et al.*, 2009; Lima *et al.*, 2020). A família Simaroubaceae produz metabólitos secundários (Barbosa *et al.*, 2011) que podem apresentar atividade inseticida ou repelente (Simmonds, 2003; Koul, 2005; Piubelli *et al.*, 2005; Saraiva *et al.*, 2006; Almeida *et al.*, 2007; Alves *et al.*, 2014). Nesse contexto, a espécie *Simarouba versicolor* possui propriedades inseticidas, causando mortalidade e afetando o

desenvolvimento de insetos de importância médica e agrícola (Coelho *et al.*, 2006a; Coelho *et al.*, 2009; Peñafior *et al.*, 2009). Assim, com o objetivo de reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos no manejo de *S. zeamais* em grãos armazenados, este trabalho avaliou a ação letal, subletal e repelente do extrato aquoso de folhas de *S. versicolor* sobre *S. zeamais* em laboratório.

2. Metodologia

2.1 Criação de *Sitophilus zeamais*

A criação de *S. zeamais* foi iniciada a partir da inoculação de 200 adultos, não sexados, em gaiolas plásticas (5000 mL), contendo 500g de milho. A criação foi mantida em condições controladas de $26 \pm 1^\circ\text{C}$, umidade Relativa (UR): 70% e fotofase de 12h.

2.2 Preparo dos extratos de *Simarouba versicolor*

O preparo do extrato aquoso de *S. versicolor* foi baseado em metodologia descrita por Souza *et al.* (2021). As folhas de *S. versicolor* foram coletadas entre 07 e 09 horas da manhã, em Campo Grande, Mato Grosso do Sul ($21^\circ13'28''$ S, $54^\circ11'28''$ W e 437 m de altitude), sendo armazenadas em sacos plásticos higienizados e transportadas ao laboratório onde foram higienizadas em água corrente e secas em estufa de circulação de ar forçada por 72h a 45°C ($\pm 1^\circ\text{C}$). Posteriormente, foram trituradas por um moinho industrial, até se obter um pó fino, utilizado para obtenção do extrato aquoso. Parte do material vegetal coletado está depositado no herbário da Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais da Universidade Federal da Grande Dourados sob o número 6481. A coleta do material botânico foi autorizada pelo Conselho Nacional do Brasil Conselho de Pesquisa (CNPq) / Conselho de Gestão do Patrimônio Genético (CGEN / MMA), no sob o número A9ECAC6.

O extrato aquoso foi obtido pela diluição de 0,03g e 0,3g de pó fino de *S. versicolor* em 30mL de água destilada de modo a se obter concentrações de 0,01% e 0,1%, respectivamente. Estas concentrações foram selecionadas por inibirem a oviposição de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) (Souza *et al.*, 2020). Após a diluição, os recipientes contendo as soluções com 0,01 e 0,1% de *S. versicolor* foram mantidos em ambiente refrigerado (10°C) durante 24h. Após esse período, as soluções foram filtradas para reter o material sólido e empregadas nos bioensaios.

2.3 Bioensaios

2.3.1 Contato direto

A ação do contato direto de *S. versicolor* sobre *S. zeamais* foi baseada em metodologia adaptada de Potrich *et al.* (2006). Para isso, adultos não sexados de *S. zeamais*, com até 15 dias de vida, foram colocados em placa de Petri e pulverizados, por meio de um pulverizador manual, com 1 mL de extrato aquoso de *S. versicolor* nas concentrações de 0,01% ($1,0 \text{ mg.mL}^{-1}$) e 0,1% ($10,0 \text{ mg.mL}^{-1}$), além de um controle negativo, formado por água destilada esterilizada, e um controle positivo, 1 mL de Original Neem Citromax[®] (Ingrediente ativo: *Azadirachta indica* (A. Juss), grupo químico: Tetratriterpenoide, concentração 0,12% p/p) na concentração 0,1%. Após a pulverização, grupos com 10 insetos foram acondicionados em placas de Petri com 10g de milho e mantidos a $26 \pm 1^\circ\text{C}$, UR: 70% e fotofase de 12h.

As avaliações de mortalidade ocorreram em intervalos de 24h, durante cinco dias. Para isso, insetos foram estimulados por meio de um pincel de cerdas finas e aqueles que não reagiram foram considerados mortos. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, formado pelos tratamentos *S. versicolor* 0,01% e 0,1%, Original Neem Citromax[®] (controle positivo) e água destilada esterilizada (Controle negativo) e 10 repetições. Cada repetição foi formada por uma placa de Petri contendo 10 insetos.

2.3.2 Contato residual

A ação do contato residual de *S. versicolor* sobre *S. zeamais* foi baseada em metodologia adaptada de Pimentel e Ferreira (2012). Uma massa com 10g de milho foi pulverizada com 1,0 mL de extrato aquoso de *S. versicolor* nas concentrações de 0,01 e 0,1%, água destilada esterilizada (controle negativo) e Original Neem Citromax® na concentração 0,1% (controle positivo). As pulverizações foram realizadas por meio de um pulverizador manual, mantendo-se uma distância de 20 cm da massa de grãos. Posteriormente, a massa com 10g de milho, pulverizado com cada um dos tratamentos, foi acondicionado em gaiolas plásticas (50 mL) e após 1h foram introduzidos 10 adultos de *S. zeamais*, não sexados, com até 15 dias de idade. As gaiolas foram mantidas a $26 \pm 1^\circ\text{C}$, UR: 70% e fotofase de 12h.

As avaliações de mortalidade ocorreram em intervalos de 24h, durante cinco dias. Para isso a massa de grãos era vistoriada e os insetos estimulados com o auxílio de um pincel de cerdas finas, sendo que aqueles que não reagissem ao estímulo foram considerados mortos. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, sendo formado pelos tratamentos *S. versicolor* 0,01% e 0,1%, Original Neem Citromax® (controle positivo) e água destilada esterilizada (Controle negativo) e 10 repetições. Cada repetição era constituída por uma gaiola (50 mL), contendo 10g de milho pulverizado com cada um dos tratamentos e 10 adultos de *S. zeamais*.

2.4 Teste de atratividade (com chance de escolha)

O teste de atratividade foi realizado empregando-se uma metodologia adaptada de Nunes e Rizental (2015). Para isso, uma gaiola plástica (50 mL) teve fixada ao seu redor, de modo equidistante, quatro gaiolas (50 mL). Cada uma das quatro gaiolas se ligava à gaiola central por meio de um tubo transparente com 2cm de comprimento e 0,5cm de Ø. No interior de cada gaiola lateral foi acondicionado 20g de milho pulverizado com extrato aquoso de *S. versicolor*, nas concentrações de 0,01 e 0,1%, um controle negativo (água destilada esterilizada) e um controle positivo (Original Neem Citromax® na concentração 0,1%). Posteriormente, 10 adultos de *S. zeamais*, não sexados e mantidos por 24h sem alimentação, foram liberados no interior da gaiola central. As gaiolas foram mantidas em condições controladas ($26 \pm 1^\circ\text{C}$, UR: 70% e fotofase de 12h). Após 24h efetuou-se a contagem dos adultos de *S. zeamais* em cada uma das massas de grãos. Este experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, sendo formado por quatro tratamentos e cinco repetições. Cada repetição foi formada por cinco gaiolas (uma gaiola central interligada com quatro gaiolas laterais).

2.5 Taxa instantânea de Crescimento (r_i)

O efeito subletal de *S. versicolor* foi avaliado considerando os parâmetros demográficos de *S. zeamais*, de acordo com metodologia adaptada de Pereira *et al.*, (2009). Para isso, 500g de milho foi pulverizada com 2 mL do extrato aquoso de *S. versicolor*, nas concentrações de 0,01 e 0,1%, água destilada esterilizada (controle negativo) e Original Neem Citromax® na concentração 0,1% (controle positivo). Após a pulverização, a massa de grãos foi homogeneizada por cinco minutos e, posteriormente, foram acondicionadas 50g em gaiolas plásticas (50 mL). Posteriormente as gaiolas foram mantidas em condições controladas ($26 \pm 1^\circ\text{C}$, UR: 70% e fotofase de 12h). Após uma hora da pulverização, foram introduzidos, em cada gaiola, 10 adultos não sexados de *S. zeamais*, com até quinze dias de vida.

As avaliações sobre os parâmetros populacionais de *S. zeamais* iniciaram após 90 dias do início do experimento. Para isso, foi utilizada a taxa instantânea de crescimento populacional (r_i), descrita por Stark *et al.* (1997) e Walthall e Stark (1997):

$$r_i = \frac{[\ln(N_f - N_0)]}{\Delta t}$$

Onde: r_i = Taxa instantânea de crescimento, N_0 = Número inicial de indivíduos, N_f = Número final de indivíduos e Δt = Período de duração do experimento.

Os valores de N_f de cada gaiola foram transformados pela somatória de 0,1 na presença de N_f igual a zero e N_f maior que zero num mesmo tratamento, pois quando N_f é igual a zero não é possível estimar a taxa instantânea de crescimento (r_i) (Stark e Banken, 1999). Este experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, sendo formado por quatro tratamentos e dez repetições. Cada repetição foi formada por uma gaiola (50 mL) contendo 50g de milho previamente tratado com cada um dos quatro tratamentos, e 10 adultos de *S. zeamais*.

2.6 Análise estatística

A mortalidade de *S. zeamais*, expostos via contato direto ou residual, ao extrato aquoso de *S. versicolor*, nas concentrações de 0,01 e 0,1% e Original Neem Citromax® (0,1%), foi corrigida por Abbott (1925). Posteriormente, os dados foram transformados por arcsen da raiz quadrada para normalização das distribuições e homogeneidade das variâncias (Haddad e Vendramin, 2000). Os dados de mortalidade foram transformados e o percentual de adultos de *S. zeamais* obtidos no teste com chance de escolha foram submetidos a análise de variância (One-Way ANOVA) e as interações significativas pelo teste *F* tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (Zar, 2009).

As diferenças entre as taxas instantâneas de crescimento (r_i) de *S. zeamais* expostas às diferentes concentrações do extrato aquoso *S. versicolor* (0,01 e 0,1%) e Original Neem Citromax® (0,1%), foram comparadas por meio de Modelos Lineares Generalizados ($p < 0,05$). Os valores de r_i também foram comparados entre os tratamentos: r_i positivo = houve crescimento populacional; r_i zero = estabilidade populacional; r_i negativo = população em declínio com provável extinção (Walthall e Stark, 1997). Para todas as análises foi usado o programa estatístico Minitab 18.0 (Statte College, PA).

3. Resultados e Discussão

A exposição por contato direto às concentrações de *S. versicolor* causou uma baixa mortalidade de *S. zeamais*, não indicando ação inseticida (Tabela 1). Citromax® causou uma mortalidade 72,7% superior à verificada para *S. versicolor* após 24h. Apesar da significativa mortalidade inicial, em avaliações após 120h da exposição, houve um baixo incremento na mortalidade (4,5%), com Citromax® matando 77, 2% dos insetos (Tabela 1).

Tabela 1. Mortalidade corrigida (%) (\pm Erro Padrão da Média) de *Sitophilus zeamais* expostos, via contato direto a diferentes concentrações de *S. versicolor* (0,01% e 0,1%) e Citromax® (0,1%).

Tratamento	Horas após a exposição				
	24	48	72	96	120
<i>S. versicolor</i> 0,01%	0,0 ($\pm 0,0$)b ¹	0,0 ($\pm 0,0$)b	0,0 ($\pm 0,0$)b	2,2 ($\pm 1,2$)b	7,0 ($\pm 4,0$)b
<i>S. versicolor</i> 0,1%	0,6 ($\pm 0,0$)b	2,3 ($\pm 1,7$)b	2,7 ($\pm 1,7$)b	3,8 ($\pm 2,0$)b	4,4 ($\pm 2,3$)b
Citromax®	73,5 ($\pm 5,6$)a	76,0 ($\pm 5,8$)a	76,5 ($\pm 6,4$)a	77,1 ($\pm 6,7$)a	77,2 ($\pm 7,5$)a
Valor <i>F</i>	169,62	155,49	130,12	107,75	65,88
<i>P</i> -valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

¹Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (p-valor < 0,05). Fonte: Autores.

A exposição por contato residual às concentrações de *S. versicolor* e Citromax® causaram uma baixa mortalidade de *S. zeamais*. Em avaliações após 120h da introdução de adultos do gorgulho em uma massa de grãos tratados com os extratos e o bioinseticida, a mortalidade causada por *S. versicolor* não ultrapassou 5,0%, enquanto para Citromax® a maior mortalidade foi de 5,4% (Tabela 2).

Tabela 2. Mortalidade corrigida (%) (\pm EPM¹) de *Sitophilus zeamais* expostos, via contato residual a diferentes concentrações de *S. versicolor* (0,01% e 0,1%) e Citromax[®] (0,1%).

Tratamento	Horas após a exposição				
	24	48	72	96	120
<i>S. versicolor</i> 0,01%	1,0 (1,0)ab ²	0,0 (0,0)b	0,0 (0,0)b	2,0 (1,3)a	2,0 (1,3)a
<i>S. versicolor</i> 0,1%	0,0 (0,0)b	2,0 (1,3)ab	4,0 (2,2)ab	5,0 (3,1)a	5,0 (3,1)a
Citromax [®]	5,0 (2,2)a	7,3 (2,7)a	7,3 (2,7)a	5,4 (2,3)a	5,4 (2,3)a
Valor <i>F</i>	3,50	4,62	3,25	0,61	0,61
<i>P</i> -valor	0,04	0,02	0,05	0,55	0,55

¹Erro Padrão da Média; ²Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (*p*-valor < 0,05). Fonte: Autores.

A taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) de *S. zeamais* foi menor para as populações expostas à *S. versicolor* e Citromax[®], quando comparadas com a população controle. A população controle apresentou o maior r_i (0,014), sendo \approx 28,5% superior ao r_i das populações de *S. zeamais*, expostas às duas concentrações de *S. versicolor* (Tabela 3). Apesar de *S. versicolor* ter proporcionado um baixo r_i , as populações apresentaram um crescimento populacional positivo (Tabela 3). Citromax[®] apresentou um crescimento populacional negativo, indicando o declínio e provável extinção da população, pois após 90 dias o número final de *S. zeamais* foi menor que o inicial (Tabela 3).

Tabela 3. Número médio de adultos por tratamento (\pm Erro Padrão da Média) e taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) após 90 dias da inoculação de 10 adultos de *Sitophilus zeamais* em 50 g de grãos de milho tratados com diferentes concentrações de *S. versicolor* (0,1 e 0,01%) e Citromax[®] (0,1%).

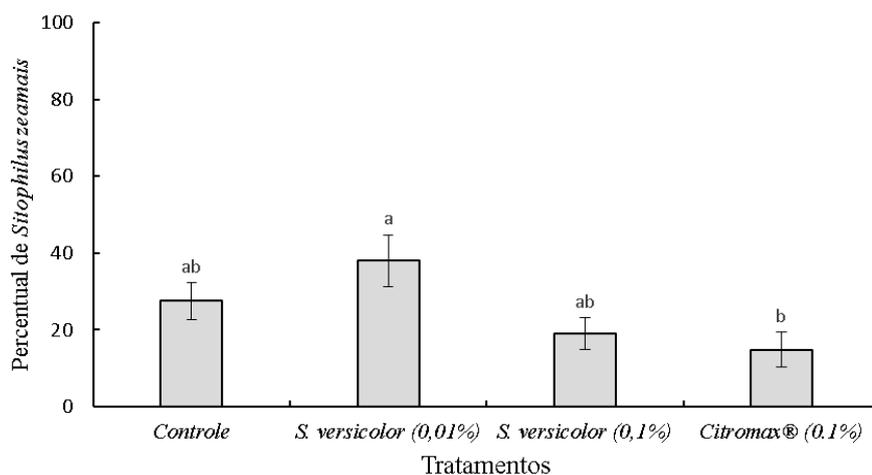
Tratamento	Número de insetos		r_i
	Inicial ¹ (dia zero)	Final ² (Após 90 dias)	
<i>S. versicolor</i> 0,01%	10	110 (\pm 2,9)b	0,001b
<i>S. versicolor</i> 0,1%	10	253 (\pm 12,4)ab	0,001b
Citromax [®]	10	4 (\pm 0,4)b	-0,001b
Controle	10	435 (\pm 10,3)a	0,014a
Valor <i>F</i>		5,20	4,98
<i>P</i> -valor		0,004	0,005

¹ Número total de insetos nas dez repetições de um mesmo tratamento no dia zero.

² Número total de insetos nas dez repetições de um mesmo tratamento após 90 dias do início do experimento. Fonte: Autores.

O percentual de adultos de *S. zeamais* atraídos para o controle (27,5%), *S. versicolor* 0,1 (19%) e *S. versicolor* 0,01 (38%) não apresentaram diferenças significativas (Figura 1). Diferenças significativas ocorreram entre *S. versicolor* 0,01 e Citromax[®] (14,8%), com o extrato atraindo 61% mais insetos que o bioinseticida comercial (Figura 1).

Figura 1. Porcentagem de adultos de *Sitophilus zeamais* nos tratamentos controle (água destilada), *S. versicolor* nas concentrações 0,01% e 0,1% e Citromax® 0,1% após 24h do início de teste com chance de escolha.



Fonte: Autores.

4. Discussão

A exposição, via contato direto e residual, de *S. zeamais* a 0,01% (1,0 mg. mL⁻¹) e 0,1% (10,0 mg. mL⁻¹) do extrato de *S. versicolor*, causou uma baixa mortalidade do inseto ($\leq 7,0\%$). Apesar de *S. versicolor* causar efeitos letais em insetos (Simote, 2006; Penãflor *et al.*, 2009), a ausência de mortalidade pode ser justificada por fatores associados a planta e ao inseto. Entre os efeitos ligados a planta estão o emprego de uma concentração inadequada do extrato (Shalan *et al.*, 2005), local e época de coleta do material vegetal (Frankenberger *et al.*, 2022), parte da planta utilizada para obtenção dos extratos e método de exposição do inseto ao extrato (Price e Mills, 1988). A tolerância de um inseto a extratos vegetais é uma característica inerente a espécie, com diferentes espécies apresentando uma tolerância diferenciada a um mesmo extrato vegetal com propriedades inseticidas (Yaman e Şimşek, 2021). Embora não tenha sido verificada a ação letal sobre *S. zeamais*, ocorreram efeitos subletais por meio da redução de parâmetros demográficos. A ocorrência de efeitos subletais causada por *S. versicolor* em insetos é reportada em literatura (Souza *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2020). Nesse contexto, as mesmas concentrações de *S. versicolor*, utilizadas neste trabalho, causaram efeitos subletais em *P. xylostella* inibindo a sua oviposição (Souza *et al.*, 2020).

O bioinseticida Citromax® foi o mais letal a *S. zeamais* em bioensaios de contato direto (>77% mortalidade), em detrimento ao contato residual (5,4% mortalidade). A maior mortalidade causada pelo contato direto pode estar associada ao método mais drástico de exposição (Afonso *et al.*, 2005). Nesse contexto, *A. indica* possui metabólitos secundários (Mordue e Nisbet, 2000; Martinez e Van Emden, 1999, Sousa, 2018) que poderiam causar a morte do inseto de forma mais efetiva ao entrarem em contato diretamente com o seu exoesqueleto.

Apesar da mortalidade ser um dos parâmetros mais avaliados, seus resultados estão limitados ao efeito da concentração do produto utilizada, fase de desenvolvimento do inseto e o período de exposição. O uso de metodologias tradicionais não permite uma ampla avaliação do efeito tóxico de um inseticida (Stark e Banken, 1999). Assim, a mortalidade causada por *S. versicolor* e Citromax® não fornece uma visão ampla sobre os efeitos destes produtos sobre *S. zeamais*. O emprego de análises toxicológicas demográficas na avaliação de um inseticida é uma importante ferramenta em ecotoxicologia (Bechmann, 1994), com a r_i permitindo uma avaliação abrangente da ação dos efeitos letais e subletais de *S. versicolor* e Citromax® sobre *S. zeamais*.

A exposição à Citromax[®] e *S. versicolor* afetou a r_i de *S. zeamais*. A r_i das populações expostas à *S. versicolor* mostraram uma tendência a redução, indicando a ação de efeitos subletais. Trabalhos com *S. versicolor* mostram a ocorrência de efeitos subletais, por meio do comprometimento de parâmetros biológicos e comportamentais para lepidópteros (Lima *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2020) e Hemípteros (Coelho *et al.*, 2009), sendo recomendado investigações sobre os metabólitos envolvidos de modo a integrar estes compostos biorracionais no manejo de pragas (Coelho *et al.*, 2009). A exposição à Citromax[®] causou um r_i negativo, indicando a extinção da população de *S. zeamais*. O bioinseticida Citromax[®] tem como ingrediente ativo a planta *A. indica*, reconhecida por sua ação inseticida sobre *S. zeamais* (Coitinho *et al.*, 2006), além de promover efeitos subletais sobre o inseto (Borsonaro *et al.*, 2013).

As concentrações do extrato de *S. versicolor* não causaram ação repelente em *S. zeamais*. Em um programa de manejo de pragas de grãos armazenados, a integração de estratégias é desejável, sendo a repelência uma importante ferramenta. Apesar de não se diferenciar do tratamento controle, houve uma tendência de ocorrer um menor número de insetos na massa de grãos tratadas com *S. versicolor*, sendo possível que concentrações mais elevadas cause ação repelente, pois *S. versicolor* pode sintetizar metabólitos secundários com estas características (Souza *et al.*, 2020). Citromax[®] apresentou atividade repelente contra *S. zeamais*, sendo reportado a atividade repelente de *A. indica* diferentes ordens de insetos (Simmonds, 2003; Sousa *et al.*, 2010; Koul, 2004).

5. Considerações Finais

A busca por estratégias alternativas a inseticidas no manejo de pragas é altamente desejável. Nesse contexto, os testes com extratos de folhas de *S. versicolor* nas concentrações 1,0 e 10,0 mg.mL⁻¹ não foram efetivos na mortalidade de *S. zeamais* em bioensaios de contato direto e residual. Entretanto, *S. versicolor* causou efeitos subletais sobre o inseto, sendo isto verificado pela redução do desenvolvimento populacional e repelência. Deste modo, um aprofundamento destes estudos é importante para que se tenha um melhor conhecimento sobre os efeitos letais e subletais de *S. versicolor* sobre *S. zeamais* de modo a viabilizar o emprego de *S. versicolor* no manejo de pragas de grãos armazenados, pois o extrato aquoso é facilmente obtido, o que pode viabilizar o seu emprego por pequenos produtores rurais.

Referências

- Abbott, W. S. (1925). A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide Journal of Economic Entomology, 18(2), 265–267.
- Afonso, A. P. S., Faria, J. L., Botton, M., & Loeck, A. E. (2005). Controle de *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (Coleoptera: Curculionidae) com inseticidas empregados em frutíferas temperadas. Ciência Rural, 35, 253-258.
- AGROFIT - Sistema de agrotóxicos fitossanitários. (2022). https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.
- Almeida, M. M. B., Arriaga, A. M. C., Santos, A. K. L., Lemos, T. L. G., Braz-Filho, R., & Vieira, I. J. (2007). Ocorrência e atividade biológica de quassinóides da última década. Química Nova, 30, 935-951.
- Alves, I. A. B. S., Miranda, M. H., Soares, L. A. L., & Randau, K. P. (2014). Simaroubaceae Family: botany, chemical composition and biological activities. Brazilian Journal of Pharmacognosy, 24 (4), 481-501.
- Barbosa, L. F., Braz-Filho, R., & Vieira, I. J. C. (2011). Chemical constituents of plants from the genus *Simaba* (Simaroubaceae). Chemistry e Biodiversity, 8 (12), 2163- 2178.
- Bechmann, R. K. (1994). Use of life tables and LC₅₀ tests to evaluate chronic and acute toxicity effects to copper on the marine copepod *Tisbe furcata* (Baird.). Environmental Toxicology Chemistry, 13, 1509-1517.
- Borsonaro, M. T., Imaguti, P. S., Neves, M. C. T., & Seno, K. C. A. (2013). Extrato aquoso de folhas de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) no controle de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em milho (*Zea mays* L) armazenado. Nucleus, 10 (1), 155-161.
- Caneppele, M. A. B., Caneppele, C., Lazzari, F. A., & Lazzari, S. M. N. (2003). Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). Revista Brasileira de Entomologia, 47 (4), 625-630.

- Coelho, A. A. M. (2006a). Análise inseticida de extratos de plantas do bioma cerrado sobre triatomíneos e larvas de *Aedes Aegypti*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências de Saúde. Universidade Federal de Brasília.
- Coelho, A. A. M., Paula, J. E., & Espíndola, L. S. (2009). Efeito do extrato de plantas do Cerrado em *Dipetalogaster maxima* (Uhler) (Hemiptera: Reduviidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 53 (3), 444-451.
- Coitinho, R. L.B. C., Oliveira, J. V., Godim Junior, M. G. C., & Câmara, C. A. G. (2006). Efeito residual de inseticidas naturais no controle de *Sitophilus zeamais* Mots. em milho armazenado. *Revista Caatinga*, 19 (2), 183-191.
- Faroni, L. R. D. A. (1992). Manejo das pragas dos grãos armazenados e sua influência na qualidade do produto final. *Revista Brasileira de Armazenamento*, 17, p.36-43.
- Frankenberger, L., Rover, S., Silva, T. L., Faita, M. R., Barcelos-Oliveira, J. L., Poltronieri, A. S., Meyre-Silva, C., & Biavatti, M. W. (2022). Chemical Composition of *Dysphania ambrosioides* from Hydroponics and Soil and Its Activity Against *Sitophilus zeamais*. *Brazilian Journal of Pharma Cognosy*, 1, p. 1-8.
- Haddad, M. L., & Vendramim, J. D. (2000). Comparison of percentage data with cases of extreme values of 0 and 100%. *Anais Sociedade Entomologica Brasileira*, 29 (4), 835- 837.
- Koul, O. (2004). A global perspective. In: Koul, O., Wahab, S. *Neem: Today and in the New Millennium*. Kluwer Academic Publishers, 1-19.
- Koul, O. (2005). *Insect Antifeedants*. GRG Press, 1024p.
- Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. S. (2008). Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopesticides International*, 4 (1), 63-84.
- Lima, D. B., Barros, A. C. S., Padilha, A. L., Campos, C. F. V., Figueiredo, E. L., Mendes, F. H. S., Araujo, F. C., Becker, J. M. M., Rebelatto, M. M. L., Solano, R. D., & Carvalho, W. L. S. (2020). Atividade inseticidas de extratos de plantas coletadas no cerrado sobre lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1979). In: Spers, E. E. *Agrárias: Pesquisa e inovação nas ciências que alimentam o mundo*. Editora Artêmis, 23-31.
- Lorini, I., Krzyzanowski, F. C., França-Neto, J. B., Henning, A. A., & Henning, F. A. (2015). **Manejo Integrado de Pragas de Grãos e Sementes Armazenadas**. Embrapa Soja, 86 p.
- Martinez, S. S., & Van Emden, H. F. (1999). Sublethal concentrations of azadirachtin affect food intake, conversion efficiency and feeding behaviour of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bulletin of Entomological Research*, 89, 65-71.
- Mazzonetto, F., & Vendramim, J. D. (2003). Efeito de pós de origem vegetal sobre *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) em feijão armazenado. *Neotropical Entomology*, 32 (1), 145-149.
- McLaren, J. S. (1986). Biologically active substances from higher plants: status and future potential. *Pesticide Science*, 17 (5), 559-578.
- Mordue, A. J., & Nisbet A. J. (2000). Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its actions Against insects. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 29 (4), 615-632.
- Muzemu, S., Chitamba, J., & Goto, S. (2003). Screening of stored maize (*Zea mays* L.) varieties grain for tolerance against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motsch.). *International Journal Plant*, 3 (3), 17-22.
- Nunes, M. P., & Rizental, M. (2015). Preferência alimentar de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em variedades de milho transgênico. *Revista Connection Online*, 12, 84-89.
- Park, C. E., Kim, Y. S., Park, K. J., & Kim, B. K. (2012). Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. *Journal of Stored Products Research*, 48, 25-29.
- Peñaflor, M. F. V. (2009). Toxicity of substances isolates from *Simarouba versicolor* St. Hil. (Simaroubaceae) to the leaf-cutting Ant *Atta Sexdens* L. (Hymenoptera: Formicidae) and the symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Singer). *BioAssay*, 4, 1-7.
- Pereira, C. J., Pereira, E. J. G., Cordeiro, E. M. G., Delia, L. T. M. C., Totola, M. R., & Guedes, R. N. C. (2009). Organophosphate resistance in the maize weevil *Sitophilus zeamais*: magnitude and behavior. *Crop Protection*, 28 (2), 168-173.
- Pimentel, M. A. G., & Ferreira, E. G. (2012). Toxicidade de Produtos Formulados à Base de Fungos Entomopatogênicos para o Caruncho-do-Milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 11 (2), 209-215.
- Piubelli, G. C., Hoffmann-Campo, C. B., Moscardi, F., Miyakubo, S. H., & Oliveira, M. C. N. (2005). Are chemical compounds important for soybean resistance to *Anticarsia gemmatilis*? *Journal of Chemical Ecology*, 31 (7), 1509-1525.
- Potrich, M., Alves, L. F. A., Mertz, N., & Lozano, E. R. (2006). Avaliação de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. para Controle de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Sociedade Entomológica do Brasil*, 12 (1), 1-9.
- Prates, L. H. F., Faroni, L. R. A., Heleno, F. F., Queiroz, M. E. L. R., Sousa, A. H., & Silva, M. V. A. (2019). Eugenol diffusion coefficient and its potential to control *Sitophilus zeamais* in rice. *Scientific Reports*, 9, 1-11.
- Price, L. A., & Mills, K. A. (1988). The toxicity of phosphine to the immature stages of resistant and susceptible strains of some common stored product beetles and implications for their control. *Journal Stored Products Research*, 24, 51-59.
- Reed, C., Doyungan, S., Ioerger, B., & Getchell, A. (2007). Response of storage molds to different initial moisture contents of maize (corn) stored at 25 °C, and effect on respiration rate and nutrient composition. *Journal of Stored Products Research*, 43 (4), 443-458.

- Roel, A. R. (2001). Utilização de plantas com propriedades inseticidas: uma contribuição para o desenvolvimento rural sustentável. *Interações-Revista Internacional de Desenvolvimento Local*, 1 (2), 43- 50.
- Rosa, J. S., Oliveira, L., Sousa, R. M. O., Escobar, C. B., & Fernandes-Ferreira, M. (2020). Bioactivity of some Apiaceae essential oils and their constituents Against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Bull Entomol Res*, 110 (3), 406-416.
- Santos, J. C., Faroni, L. R. A., Simões, R., & Pimentel, M. (2009). Toxicity of pyrethroids and organophosphorus insecticides to Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Bioscience Journal*, 25 (6), 75-81.
- Santos, V. S. V., da Cunha, J. R., & Soares da Silva, P. H. (2018). Atividade ovicida e repelente de pó de citronela sobre o caruncho do feijão-caupi. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 13 (2), 146-149.
- Saraiva, R. C. G., Pinto, A. C., Nunomura, S. M., & Pohlit, M. A. (2006). Triterpenos e alcalóide tipo cantinona dos galhos de *Simaba polyphylla* (Cavalcante) WW Thomas (Simaroubaceae). *Química Nova*, 29 (2), 264-268.
- Shaalan, E. A., Canyon, D., Younes, M. W. F., Abdel-Wahaba, H., & Mansour, A. (2005). A review of botanical phytochemicals with mosquitocidal potential. *Environment International*, 31, 1149-66.
- Silveira, R. D., Faroni, L. R. D. A., Pimentel, M. A. G., & Zocolo, G. J. (2006). Influência da temperatura do grão de milho, no momento da pulverização, e do período de armazenamento, na mortalidade de *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, pela mistura bifenthrin e pirimifós-metil. *Revista Brasileira de Armazenamento*, 31, 120-124.
- Simmonds, M. S. J. (2003). Flavonoid–insect interactions: recent advances in our knowledge. *Phytochemistry*, 64 (1), 21-30.
- Simote, S. Y. (2006). Estudo Fitoquímico de *Helietta puberula* (Rutaceae), *Simarouba versicolor* (Simaroubaceae) e Busca de um Processo de Microencapsulação de Compostos Ativos, visando o Controle de Formigas Cortadeiras. Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos, 232p.
- Sousa, J. V. P., Gomes, W. F., Tavares, G. F. A., Vieira, C. L., Batista, A. N., & Santos, C. C. S. M. (2018). Triagem Fitoquímica do extrato alcóolico das folhas de neen. <<http://www.abq.org.br/cbq/2018/trabalhos/7/1268-26364.html>>.
- Sousa, M. N., Vitória, A. C., Tanamati, A., Lima, A. P., & Lima, H. O. S. (2010). Pós de folhas, ramos e sementes de nim (*Azadirachta indica* A. juss) como repelente de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em milho armazenado. *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos*, 1 (1), 21-24.
- Souza, S. A., Padiál, I. M. P. M., Ferreira, E. A., Domingues, A., & Mussury, R. M. (2020). Extrato aquoso de *Simarouba versicolor* A. St-Hill (Simaroubaceae) afeta a oviposição de traça-das-crucíferas. In: Santos, C. C. *Agrobiodiversidade: Manejo e produção sustentável*, Editora Pantanal, 116-125.
- Souza, S. A., Padiál, I. M. P. M., Silva, M. M. M., Ferreira, E. A., Domingues, A., Carvalho, E. M., Mauad, M., & Mussury, R. M. (2021). Extratos aquosos de espécies do gênero *Campomanesia* (Myrtaceae) afeta a oviposição de *Plutella xylostella* (L. 1758) (Lepidoptera, Plutellidae). In: Freitas, D. R. J. *Ciências Biológicas: Gênese na formação multidisciplinar*, 7, ab58-67.
- Stark, J. D., & Banken, J. A. (1999). Importance of population structure at the time and toxicant exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 42 (3), 282-287.
- Stark, J. D., Tanigoshi, L., Bounfour, M., & Antonelli, A. (1997). Reproductive Potential: its influence on the susceptibility of a species to pesticides. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 37 (3), 273-279.
- Viana, P. A., Prates, H. T., & Ribeiro, P. E. A. (2006). Uso do extrato aquoso de folhas de Nim para controle de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho. *EMBRAPA, Circular Técnica* 88, p. 1-5.
- Walthall, W. K., & Stark, J. D. (1997). Comparison of two population-level ecotoxicological endpoints: the intrinsic (r_m) and instantaneous (r_i) rates of increase. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16 (5), 1068-1073.
- Yaman, C. & Şimşek, Ş. (2021). Insectical effect of from three *Hypericum* species extracts against *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus oryzae* e *Tribolium confusum*. *Ciência e Agrotecnologia*, 45, 1-9.
- Zar, J. H. (2009). Two-Factor Analysis of Variance. In: ZAR, Jerrold H. *Biostatistical analysis*. Pearson Prentice Hall, 11, 249-284.