

PROTÓTIPO DE MICROSILO LABORATORIAL SUPRIDO COM DISCO DE EFUSÃO/DIFUSÃO DE OE's NO CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* ARMAZENADOS E TRANSPORTE DE MILHO (*Zea mays*)

Guilherme Lopes de Sousa¹; Mariano Oscar A. I. Rojas²; Douglas Rafael e S. Barbosa³; Izaias S. Marques⁴; Joao Pedro de Azevedo Lopes Silva⁵; Giovana L. da Silva⁶.

RESUMO

Silos, depósitos e outros usados no armazenamento e transporte de grãos requer controle de pragas, mas o uso de pesticidas sintéticos tornou-se ineficaz devido à resistência dos insetos, além de eliminar espécies não-alvo, causar contaminação ambiental e oferecer riscos à saúde humana. Por outro lado, óleos essenciais (OE's) têm sido estudados por sua ação inseticida contra pragas de grãos armazenados. No entanto, não existem dispositivos laboratoriais específicos para difundir esses óleos, nem propostas de mecanismos físicos de difusão/efusão voltados ao uso em silos. Além disso, há poucos estudos sobre seus efeitos quando aplicados em grandes volumes de grãos. Este trabalho objetivou avaliar a eficiência dos OE's *O. americanum* no controle e erradicação de *Sitophilus zeamais* em grãos de milho (*Zea mays*) usando um micro silo protótipo suprido de um novo disco de efusão/difusão de OE's. Os resultados mostraram a eficiência inequívoca e elevada eficácia do OE's de estoraque (*Ocimum americanum*) no controle de *Sitophilus zeamais*, com ação letal rápida, elevada mortalidade acumulada e redução expressiva (98,2%) da taxa instantânea de crescimento populacional. O ajuste ao modelo de Probit e, de forma inédita, à modelagem logística com termo de latência, evidenciou a robustez da abordagem analítica, permitindo compreender de maneira mais acurada a cinética de mortalidade induzida pelo tratamento. Também o emprego de microsilos e discos de difusão é uma tecnologia promissora, passível de registro de propriedade intelectual, abrangendo tanto os dispositivos quanto os processos de aplicação. Tais perspectivas reforçam o caráter original deste estudo e abrem caminho para futuras inovações tecnológicas para o manejo de pragas em grãos armazenados.

Palavras-Chaves: Microsilo, Novo disco efusor/difusor; Óleo essencial; *Sitophilus zeamais*; Bioinseticidas.

Financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) está entre as maiores culturas produzidas mundialmente a estimativa de produção total na safra 2022/23 foi de 131,9 milhões de toneladas com

¹Estudante do Curso Técnico de Agropecuária do IFMA do Campus Codó; E-mail: lopesguilherme@acad.ifma.edu.br

²Professor Coordenador Dr. em Ciências, IQSC/USP; E-mail: ibanez@ifma.edu.br

³Professor subcoordenador Dr. de Entomologia Agrícola do Curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Codó; E-mail: douglas.barbosa@ifma.edu.br

⁴PGQ.MTC - Mestrado em Química do Campus São Luís Monte Castelo; E-mail: izaias-santosmarques@ifma.edu.br

⁵Estudante do Curso de Técnico de Agropecuária do IFMA Campus Codó; E-mail pedroazevedo@acad.ifma.edu.br

⁶Professora Dr. de Ecologia e Recursos Naturais do Curso Bacharelado Agronomia do Campus Codó; E-mail: giovana.silva@ifma.edu.br

aumento de 16,6% que contrasta com a estimativa da safra 2021/22 que previa uma produção total de 113,3 milhões de toneladas. (DUARTE, 2021; CONAB, 2022; CONAB,2023)

No armazenamento do milho verificam-se perdas quantitativas e qualitativas que são provocadas principalmente por pragas, com destaque do *Sitophilus zeamais*, praga primária, que tem ciclo de 150 dias no grão.

Larvas pupas e adultos tem ação direta e ocasiona a perda de peso e valor nutricional, diminuindo a taxa de germinação da semente, afetando, também, a saúde humana gerando alérgenos e o aparecimento de fungos como *Aspergillus flavus* (Oliveira et al., 2020; Silva et al., 2021; Achimón et al., 2022; Altunç et al., 2023)

Para o controle do *Sitophilus zeamais*, é efetuado pela fosfina, produto químico, composto tóxico que afeta a saúde humana, contamina o meio ambiente e elimina organismos não-alvos favorecendo o surgimento de populações resistentes (Oliveira et al., 2020; Silva et al., 2021; Achimón et al., 2022).

O uso de Óleos Essenciais (OEs) que possuem complexos metabolitos secundários voláteis, são usados para inibir atividade inseticida e fungicida contra insetos e microrganismos tendo diversas atividades biológicas, entre elas inibição de ovoposição, atividade repelente, inibição de alimentação, crescimento e desenvolvimento de insetos pragas apresentando manejo sustentável do *Sitophilus zeamais*, (Achimón et al., 2022; Opiyo, Noroge, Ndirangu, 2022).

O óleo essencial de *Ocimum basilicum* extraído do estoraque apresenta atividade inseticida a diferentes grupos de pragas de grãos armazenados e está sendo estudo como um método de controle alternativo ao químico (Moura et al., 2021).

O objetivo deste trabalho teve como meta o uso do óleo essencial *O. basilicum* na inibição de *S. zeamais*.

2. OBJETIVOS

Uso de Protótipo de Microsilo suprido/atrelado com novo disco de efusão/difusão de óleos essenciais (*Ocimum americanum*) na maximização dos efeitos no controle de *S. zeamais* em grãos de milho armazenado.

3. METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados no Laboratório Multidisciplinar do Instituto Federal do Maranhão com temperatura de 28±2 °C e umidade monitoradas de 60±10%.

3.1 Extração do óleo essencial

O processo envolveu a extração do óleo essencial das folhas de estoraque através de hidrodestilação, utilizando um aparelho Clevenger modificado, juntamente com um condensador. As folhas do vegetal foram primeiramente separadas e introduzidas no sistema, onde permaneceram durante todo o processo

de extração. Após três horas da extração o óleo essencial foi coletado. Para garantir a pureza do óleo, foi realizado um tratamento utilizando sulfato de sódio anidro P.A. com o objetivo de remover qualquer resquício de água. Vale ressaltar que foram utilizadas apenas folhas frescas, recém-colhidas, para garantir a qualidade do óleo essencial obtido (Figura 1).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 1- *Ocimum americanum* e Hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger

Montagem dos Ensaio em Microssilos:

Microssilos de acrílico (5 unidades) com capacidade de 5 litros foram empregados, os quais foram preenchidos com milho seco (4 kg), equilibrado em relação à umidade de armazenamento (aproximadamente 13%). Então, foi instalado o sistema de difusão dos gases, o qual foi composto de disco difusor (com mangueira externa para injeção dos óleos essenciais e está vedada após o procedimento) inserido na superfície inferior do microssilo na região central e a 20 cm da borda. Os discos em cada microssilo foram acoplados a bombas de circulação de ar, sendo a bomba externa ao disco, conectada a um timer e uma fonte de energia.

Disseminação dos Compostos Voláteis e instalação dos discos de difusão:

O óleo essencial estoraque (*Ocimum americanum*) foi injetado nos discos de difusão em um volume de 4 mL. A circulação de ar no microssilo foi programada em 4h diárias.

Ensaio Biológicos de Eficácia:

A infestação inicial foi padronizada em 100 insetos adultos de *S. zeamais* por microssilo e estes liberados na superfície superior da massa de grãos. Após a liberação dos insetos, os discos foram vedados com fita para garantir o não escape de gases e a mortalidade avaliada após 24, 48 e 72, 96 e 120 horas.

Para a análise estatística dos dados de mortalidade, foram consideradas cinco repetições (unidades de microssilos) em delineamento experimental inteiramente casualizado. Os dados de mortalidade foram usados para estimar tempos letais TL_{50} e TL_{90} através do modelo de Probit, calcular a mortalidade diária e a mortalidade acumulada. As análises foram realizadas utilizando o programa estatístico R.

Modelo logístico da cinética de mortalidade com latência

A mortalidade acumulada dos organismos ao longo do tempo foi modelada utilizando uma equação logística com termo de latência, de forma a representar adequadamente o comportamento dinâmico da curva em função do tempo. O modelo adotado foi:

$$y(t) = \frac{M_t \max}{1 + e^{-k(t-t_{inf})}} \cdot (1 - e^{-\alpha t})$$

Onde:

Parâmetro	Descrição
$y(t)$	Mortalidade acumulada prevista (%) no tempo t
$Mtmax(\%)$	Mortalidade máxima teórica atingida (100%).
k	Coefficiente logístico de crescimento. Controla a inclinação da curva : valores maiores de k produzem curvas mais íngremes (mortalidade mais rápida).
t_{inf}	Tempo de inflexão (em horas), ou seja, o ponto no tempo em que a mortalidade se acelera mais rapidamente — o "meio da curva".
α	Termo de latência. Controla o atraso no início da mortalidade . Valores maiores de α direcionam um tempo de latência menor.
t	Tempo. Horas após o início do experimento.

O termo $(1 - e^{-\alpha t})$ introduz um retardo no início da curva, permitindo uma melhor representação de padrões biológicos que envolvem períodos iniciais sem mortalidade, como adaptação ou tolerância inicial ao tratamento.

O modelo foi ajustado individualmente para cada tratamento por meio de regressão não linear usando o algoritmo de Levenberg–Marquardt (nlsLM) (Martínez 2024), disponível no pacote minpack.lm do R. Foram realizadas tentativas sucessivas de inicialização dos parâmetros para garantir a convergência do modelo, especialmente em tratamentos com comportamento mais atípico.

Os parâmetros iniciais utilizados nas tentativas de ajuste foram:

- $Mt = 100$
- $k = 0,1$
- $t_{inf} = 48$
- $\alpha = 0,05$

Os limites definidos para a busca dos parâmetros durante o ajuste foram:

- $0 < k < 5$
- $0 < t_{inf} < 200$
- $0 < \alpha < 1$
- $0 < Mt \leq 100$

O desempenho do ajuste foi avaliado pelo coeficiente de determinação (R^2), calculado com base na soma dos quadrados dos resíduos.

Crescimento populacional.

A taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) foi calculada após 45 dias da aplicação do óleo essencial nos discos de difusão inseridos internamente nos microssilos. Foram avaliados os cinco tempos de exposição e ainda um tratamento controle. Para o cálculo foi utilizada a equação sugerida por Walthall e Stark (1997): $r_i = [\ln(N_f/N_0)]/\Delta t$

Em que:

N_f = Número final de insetos;

N_0 = Número inicial de insetos; e

Δt = Número de dias em que o ensaio foi executado.

Para a análise dos dados, estes foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e os dados comparados pelo teste t a 5% de probabilidade através do programa R.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de mortalidade de *S. zeamais* ajustaram-se ao modelo de Probit ($p=0,33$), sendo estimados os tempos letais TL_{50} de 24,12 h (17,58-26,66 h IC95%) e TL_{90} de 63,59 h (59,48-67,71 h IC95%). A inclinação da reta (slope = $0,044 \pm 0,002$) indica que

pequenas variações no tempo de exposição resultaram em incrementos consistentes na mortalidade, refletindo uma relação clara entre tempo e efeito inseticida. A equação ajustada para o efeito linear foi $y = -1,344 + 0,044 \cdot t$, com coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,88$) e significância estatística ($p = 0,0174$), indicando que a cada incremento de volume de óleo há uma redução de 0,04 h no tempo letal (Figura 2). Dessa forma, os parâmetros obtidos demonstram a eficiência do óleo de estoraque no controle progressivo da praga ao longo do tempo.

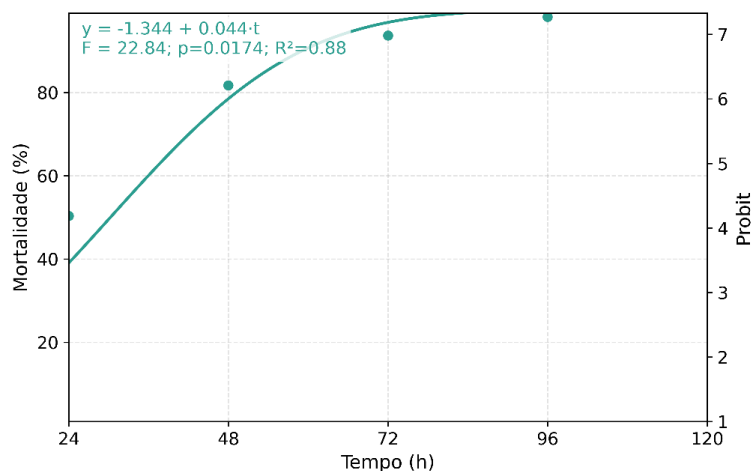


Figura 2. Curva tempo–resposta da mortalidade de *Sitophilus zeamais* exposto ao óleo essencial de estoraque (*Ocimum americanum*).

A avaliação da mortalidade diária revelou que o efeito inseticida do óleo de estoraque foi mais intenso nas primeiras 24 horas de exposição, com mortalidade próxima a 50% dos indivíduos. Posteriormente, observou-se um declínio gradual nos percentuais diários, atingindo valores em torno de 30% em 48 h, 12% em 72 h e inferiores a 5% em 96 e 120 h (Figura 3). Esses dados demonstram que o impacto inicial foi expressivo, mas que o efeito residual do óleo tendeu a decrescer com o passar do tempo, o que sugere rápida ação inicial seguida de estabilização.

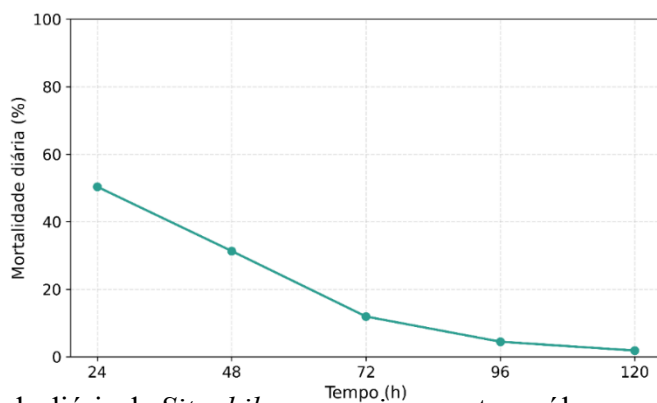


Figura 3. Mortalidade diária de *Sitophilus zeamais* exposto ao óleo essencial de estoraque (*Ocimum americanum*).

Os resultados de mortalidade acumulada confirmaram a elevada eficácia do óleo de estoraque, uma vez que o percentual de insetos mortos atingiu aproximadamente 94% em 72 h. Após 96 h, a mortalidade ultrapassou 98%, alcançando praticamente 100% em 120 h de exposição (Figura 4).

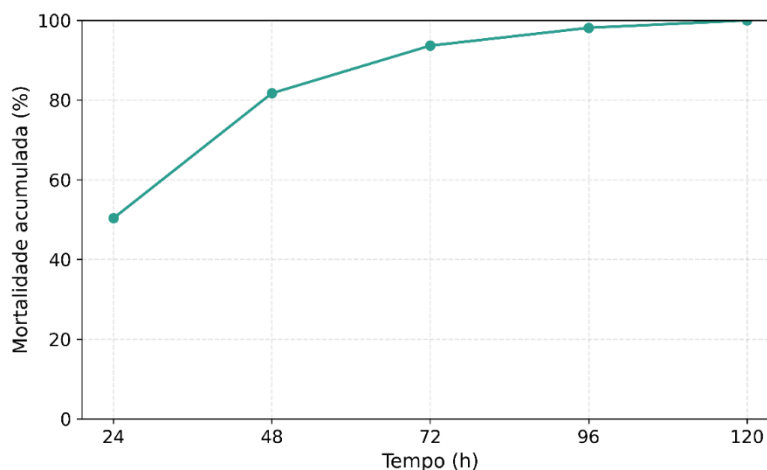


Figura 4. Mortalidade acumulada de *Sitophilus zeamais* exposto ao óleo essencial de estoraque (*Ocimum americanum*).

O ajuste do modelo logístico com termo de latência para o óleo essencial de estoraque apresentou excelente qualidade de predição, com coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,999$), indicando forte aderência entre os valores observados e estimados. O modelo descreveu a mortalidade acumulada em função do tempo pela equação:

$$y = \frac{89}{1 + e^{-0.061(t-24.0)}} \cdot (1 - e^{-0.250t})$$

Onde o valor assintótico máximo (M_t) estimado foi de 89%, representando a mortalidade máxima alcançada. O tempo de inflexão da curva foi de 24,0 horas, momento em que se observou a transição mais acentuada na taxa de mortalidade. Além disso, o parâmetro de latência indicou que o tempo para atingir 5% de mortalidade ($t_{lat5\%}$) foi de apenas 0,2 horas, sugerindo que o efeito inseticida se inicia rapidamente após a exposição ao óleo (Figura 5).

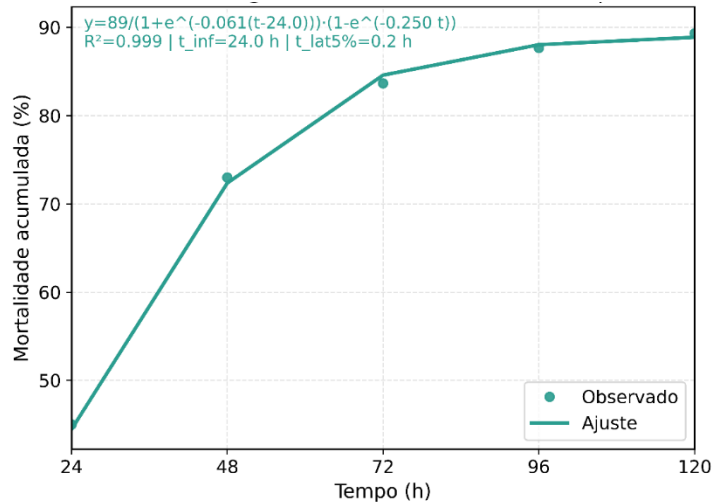


Figura 5. Ajuste do modelo logístico com latência para a mortalidade acumulada de *Sitophilus zeamais* exposto ao óleo essencial de estoraque (*Ocimum americanum*).

De maneira geral, o modelo revelou que o estoraque exerce ação tóxica inicial praticamente imediata, seguida de um aumento expressivo da mortalidade nas primeiras 48 horas, estabilizando-se após 120 horas. Esses resultados destacam o potencial do óleo de estoraque como uma alternativa eficiente no manejo de pragas, considerando tanto a rapidez no início da ação quanto a elevada mortalidade final observada.

Para o crescimento populacional, o tratamento testemunha apresentou uma taxa média (r_i) de 0,060, indicando expansão constante da população de *S. zeamais*. Já no tratamento com óleo essencial de estoraque (*O. americanum*), a taxa foi reduzida drasticamente para 0,0011. Esse valor representa uma redução de aproximadamente 98,2% na taxa de crescimento populacional em relação à testemunha, evidenciando o forte impacto inibitório do óleo sobre a dinâmica populacional da praga.

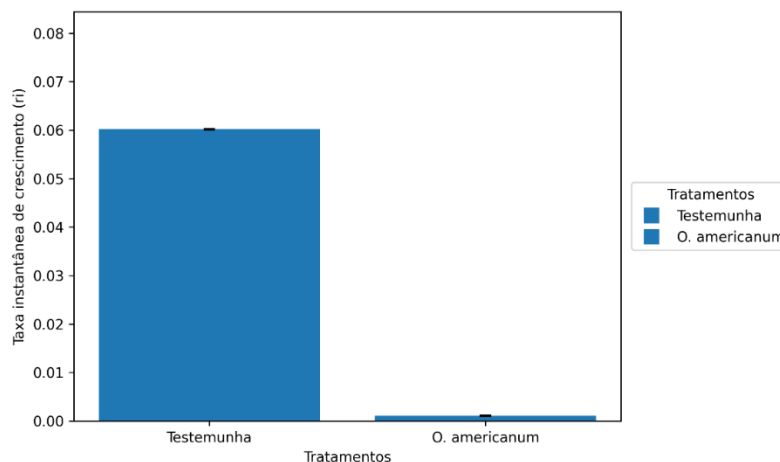


Figura 6. Taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) de *Sitophilus zeamais* exposto ao óleo essencial de estoraque (*Ocimum americanum*) em comparação à testemunha. *Significativo pelo test t a 5% de probabilidade.

Conclusão

Os resultados obtidos demonstram de forma inequívoca a elevada eficácia do óleo essencial de estoraque (*Ocimum americanum*) no controle de *Sitophilus zeamais*, com ação letal rápida, elevada mortalidade acumulada e redução expressiva (98,2%) da taxa instantânea de crescimento populacional. O ajuste ao modelo de Probit e, de forma inédita, à modelagem logística com termo de latência, evidenciou a robustez da abordagem analítica, permitindo compreender de maneira mais acurada a cinética de mortalidade induzida pelo tratamento.

Trata-se de um resultado inovador e inédito, não apenas pela comprovação do potencial inseticida do estoraque, mas também pelo uso da modelagem matemática avançada na descrição da cinética de mortalidade. Além disso, o emprego de microsilos e discos de difusão representam uma tecnologia promissora, passível de registro de propriedade intelectual, abrangendo tanto os dispositivos quanto os processos de aplicação. Tais perspectivas reforçam o caráter original deste estudo e abrem caminho para futuras inovações tecnológicas para o manejo de pragas em grãos armazenados.

6. REFERÊNCIAS

ACHIMÓN et al. **Exploring Contact Toxicity of Essential Oils against *Sitophilus zeamais* through a Meta-Analysis Approach.** *Plants*, v. 11, n. 3070, p.1-2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11223070> Acesso em: 28 de setembro de 2025.

ALTUNÇ et al. **Population growth of *Prostephanus truncatus* and *Sitophilus zeamais* and infestation patterns in three maize hybrids.** *Journal of Stored Products Research*, v. 101, n. 102091, p.1-2 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102091> Acesso em: 29 de setembro de 2025

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos.** Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n.12 decimo segundo levantamento, setembro 2022.

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos.** Brasília, DF, v.10, safra 2022/23, n.12, decimo segundo levantamento, setembro de 2023

DUARTE, J.O; MATTOSO, M.J; GARCIA, J.C. **Milho Importância Socioeconômica.** Embrapa milho e sorgo (2021). Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica> Acesso em: 29 de setembro de 2025.

Martínez, J.M. **Levenberg-marquardt revisited and parameter tuning of river regression models.** *Comp. Appl. Math.* **43**, 14 (2024). <https://doi.org/10.1007/s40314-023-02535-z> Acesso em: 30 de setembro de 2025.

MOURA et al. **Toxicological Stability of *Ocimum basilicum* Essential Oil and its Major Components in the Control of *Sitophilus zeamais*.** *Molecules*, v.26, n. 6483, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules26216483> Acesso em: 30 de setembro de 2025.

OPIYO, S.A; NJOROGE, P.W; NDIRANGU, E.G. **A Review Pesticidal Activity of Essential Oils against *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus granaries* and *Sitophilus zeamais*.** *Journal of Applied Chemistry*, v. 15, n.4, p.39-40, 2022. Disponível em: www.iosrjournals.org Acesso em: 29 de setembro de 2025.

OLIVERA et al. **Evaluation of the insecticidal activity of *Moringa oleifera* seed extract and lectin (WS MoL) against *Sitophilus zeamais*.** *Journal of Stored Products Research*, v.17, n. 101615, p.1-2, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101615> Acesso em: 28 de setembro de 2025

SILVA et al. **Convolutional Neural Networks Using Enlaced Radiographs for Real-Time Detection of *Sitophilus zeamais* in Maize grain.** *Foods*, v.10, n. 879, p. 1-2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods10040879> Acesso em: 28 de setembro de 2025.

Walthall, W.K., Stark, J.D. A comparison of acute mortality and population growth rate as endpoints of toxicological effect. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **37**, 45–52 (1997). <https://doi.org/10.1006/eesa.1997.1521>