

ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

DIÓXIDO DE CARBONO ASSOCIADO À FOSFINA NO CONTROLE DO GORGULHO-DO-MILHO (*Sitophilus zeamais*)¹

Talita Lacaze de Camargo Casella², Lêda Rita D'Antonino Faroni³,
Pedro Amorim Berbert⁴ e Paulo Roberto Cecon⁵

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da utilização de fosfina, associada a atmosferas ricas em dióxido de carbono, no controle efetivo de *Sitophilus zeamais*, em todas as suas fases de desenvolvimento, em grãos de milho, a temperatura de 29°C e 65% de umidade relativa. Os tratamentos compreenderam a combinação de atmosfera controlada (21% de CO₂ e 79% de N₂) e três doses de fosfina (0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³) e atmosfera ambiente e duas doses de fosfina (0,0 e 1,0g.m⁻³) em três períodos de exposição (24, 72 e 120h) totalizando 15 tratamentos. Para o trabalho, construiu-se uma câmara hermética, à qual foram acoplados um sistema para injeção e exaustão do gás e um dispositivo para umidificação do gás *in loco* e para controle da temperatura. Para se avaliar a eficácia dos gases em todas as fases de desenvolvimento do *S. zeamais*, fez-se a contagem do número de insetos adultos sobreviventes e como conclusão, verificou-se que, em se aumentando o período de exposição aumenta-se, também, a eficácia de controle, exceto para larvas de 2º ínstar. O controle efetivo (100%) das fases de desenvolvimento do *Sitophilus* foi obtido com os tratamentos de atmosfera sintética e 0,50 e 0,75g.m⁻³, no período de exposição de 120h.

Palavras-chave: atmosfera controlada, *Sitophilus zeamais*, armazenamento

CARBON DIOXIDE ASSOCIATED WITH PHOSPHINE ON THE CONTROL OF MAIZE WEEVIL (*Sitophilus zeamais*)

ABSTRACT

The object of this study was to evaluate the effect of the use of phosphine, associated with atmospheres rich in carbon dioxide, on the effective control of *Sitophilus zeamais*, in all developmental phases, in corn stored at 29°C and 65% relative humidity. Treatments consisted of a combination of controlled atmosphere (21% CO₂ and 79% N₂) with three phosphine doses (0.25, 0.50 and 0.75g.m⁻³) and ambient atmosphere with two phosphine doses (0.0 and 1.0 g.m⁻³), plus three exposure periods (24, 72 and 120h), resulting in 15 treatments. To achieve this a hermetic chamber was built, consisting of a system for the gas injection and exhaustion, a device for gas humidification and another for temperature control. To evaluate the efficiency of the modified atmosphere in all developmental phases of *S. zeamais*, the number of surviving adult insects was counted. It is concluded that by increasing the exposure period, the efficiency of control is increased, except for the second instar larvae. The effective control (100%) of all developing stages of *Sitophilus* was achieved with the synthetic atmosphere and 0.50 and 0.75 g.m⁻³ of phosphine, for an exposition period of 120h.

Key words: controlled atmospheres, *Sitophilus zeamais*, stored grain

¹ Parte da dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa com apoio financeiro do CNPq

² MS em Pré-Processamento de Produtos Agrícolas, DEA/UFV, 36571-000 Viçosa, MG, fone (031)899-1874

³ Professor Adjunto III, DEA/UFV, 36571-000 Viçosa, MG, fone (031)899-1874. E-mail: lfaroni@mail.ufv.br

⁴ Doutor/FAPEMIG, DEA/UFV, 36571-000 Viçosa, MG, fone (031)899-1919. E-mail: pberbert@mail.ufv.br

⁵ Professor Adjunto, DPI/UFV, 36571-000 Viçosa, MG, fone (031)899-1781. E-mail: cecon@dpi.ufv.br

INTRODUÇÃO

No Brasil, uma praga que tem causado muitos danos à cultura do milho, principalmente durante o armazenamento, é o gorgulho do milho (*Sitophilus* sp.). Pertencentes à ordem Coleoptera, família Curculionidae, as três espécies de *Sitophilus*: *S. granarius* (L.), *S. oryzae* (L.) e *S. zeamais* Motschulsky, também chamados vulgarmente gorgulho do trigo, do arroz e do milho, respectivamente, são, sem dúvida, as pragas primárias mais comuns e principais, com grande capacidade destrutiva, tanto na fase adulta como na fase larval (Rees, 1996). O inseto adulto causa danos aos grãos sadios e intactos, enquanto as larvas se alimentam em seu interior; por esta razão, é considerado praga primária. Ao crescer, o adulto deixa típicos orifícios nos grãos, primeiro sinal da infestação (Newman, 1927). Frequentemente, causam destruição quase completa dos grãos em armazéns, navios ou outros lugares onde as condições são favoráveis ao seu desenvolvimento.

As três espécies encontram-se distribuídas em todo o mundo; *S. zeamais* e *S. oryzae* são encontrados principalmente nas regiões quentes e tropicais e o *S. granarius* predomina nas regiões frias e temperadas (Trivelli & Velasquez, 1985).

Para realizar o controle de insetos-praga dos grãos armazenados utilizam-se, no Brasil, diversos métodos: expurgo ou fumigação, aplicação de inseticidas protetores ou produtos naturais. A fumigação é utilizada como tratamento curativo, eliminando a infestação existente, enquanto os inseticidas protetores, que são misturados aos grãos, evitam que o produto seja reinfestado, atuando por contato e/ou por ingestão, sendo recomendados para armazenamento a longo prazo. A fosfina é, atualmente, o fumigante mais utilizado contra as pragas de grãos armazenados; todavia, sua utilização de forma indevida levou ao surgimento de populações de insetos resistentes e à detecção de resíduos em grãos expurgados, com alto teor de umidade (Faroni, 1997). A partir de tais fatos, outros métodos começaram a ser investigados, um dos quais consiste na modificação da atmosfera no interior da estrutura armazenadora. Atmosferas modificadas e controladas oferecem alternativas atrativas para a prática da fumigação. Em atmosferas controladas, em geral a concentração de oxigênio é reduzida e/ou, a concentração de dióxido de carbono é aumentada (níveis acima de 20%). A redução substancial de oxigênio possui potencial para matar animais (insetos, ácaros e roedores), reduzir outras atividades biológicas (fungos e respiração dos grãos) e reduzir a degradação oxidativa; entretanto, atmosferas controladas com altas concentrações de CO₂ no ar e que possuem conteúdo significativo de oxigênio agem apenas como gases tóxicos (White & Leesch, 1996). Embora aptos para, a longo prazo, reduzirem a infestação por insetos, é pouco provável que esses gases possuam qualquer outro efeito direto na preservação da qualidade (Banks, 1984, Bond & Miller, 1988) porém White & Jayas (1991) observaram que altos níveis de CO₂ podem afetar a qualidade de cozimento da farinha.

Apesar de não ser considerado um fumigante, o dióxido de carbono, quando em altas concentrações, é reconhecidamente tóxico aos insetos (Annis & Morton, 1997; Bond & Buckland, 1979). White et al. (1996) demonstraram que o CO₂ é tóxico para pragas de grãos armazenados por longos períodos em níveis produzidos pela própria respiração dos insetos. Em geral, os trabalhos, têm mostrado que o CO₂ é um possível agente de

controle de insetos, mas há impedimentos para o seu uso. Esses impedimentos incluem o custo, a lentidão de ação e a necessidade de alto nível de hermeticidade (Annis & Morton, 1997).

Na tentativa de reduzir o tempo de exposição necessário ao controle efetivo dos insetos, Mueller (1994) trabalhou com uma combinação de baixos níveis de fosfina (em torno de 0,23g.m⁻³), temperatura na faixa de 32 a 37°C e CO₂ (4 a 6%) em três moinhos. Utilizou, em seus experimentos, *S. oryzae* em vários estágios de desenvolvimento. Para adultos de *S. oryzae*, o controle eficaz (100% de mortalidade) foi obtido no período de exposição de 12h; para o restante das fases (ovos, larvas e pupas) o controle eficaz foi obtido no período de exposição de 24h.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da utilização de fosfina, associada a atmosferas ricas em dióxido de carbono, no controle do gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*) em todas as suas fases de desenvolvimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Setor de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, MG, no período de janeiro de 1996 a maio de 1998. Para avaliação do efeito de atmosferas modificadas associadas a níveis reduzidos de fosfina no controle de pragas de grãos armazenados, utilizou-se milho (*Zea mays* L.) infestado com *Sitophilus zeamais*.

Criação dos insetos

Em frascos de vidro com capacidade de 250ml, contendo 150g de milho (íntegros e limpos, com teor de umidade em torno de 13% b.u.) foram colocados 500 exemplares adultos de *S. zeamais*. A criação foi mantida em câmaras climáticas, do tipo B.O.D., sob temperatura de 28±2°C e umidade relativa de 65±5%. A cada seis dias, os adultos eram separados, utilizando-se o funil de Barlesi, sendo posteriormente transferidos para outros frascos contendo milho.

A quantificação dos grãos contendo ovos de *S. zeamais* foi feita pela sua visualização, com o auxílio do corante fucsina ácida (C₂₀H₁₇N₃Na₂O₉S₃) segundo os procedimentos descritos por Smith (1966); desta forma, os grãos foram imersos numa tintura de fucsina ácida (1%) por 3 a 5min; em seguida, lavou-se a amostra com água corrente, secando-a com papel-filtro. A fucsina dá cor vermelha ao tampão formado pela massa de secreção, produzido pela fêmea depois da postura do ovo, possibilitando a sua contagem. Fez-se, então, a sua separação em placas de Petri, em número de 50 grãos com ovos por placa. Conhecendo-se o ciclo biológico da espécie em estudo, ou seja, os dias necessários para cada fase do inseto depois da postura do ovo até a emergência do adulto, e as condições ótimas para o seu desenvolvimento (Rees, 1996; Santos, 1995; Golebiowska, 1969) a quantidade necessária de larvas e de pupas foi obtida a partir dos ovos individualizados.

Atmosfera modificada

O experimento foi realizado utilizando-se três doses de fosfina (0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³), inferiores à recomendada pelo fabricante (1,0g.m⁻³) associadas a uma atmosfera modificada contendo 79% de N₂ e 21% de CO₂.

Para comparação dos resultados, os insetos foram também submetidos a dois tratamentos com ar atmosférico (79% de N₂, 0,03% de CO₂ e 21% de O₂) utilizando-se as doses de zero e 1,0g.m⁻³ de fosfina (PH₃) obtida a partir da reação do fosfeto de alumínio (AIP) com a água contida no ar atmosférico.

Foram analisados três períodos de exposição (24, 72 e 120h) e apenas um nível de temperatura e umidade relativa, 29°C e 60%, respectivamente. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto de 15 tratamentos com três repetições para cada tratamento, num total de 45 parcelas. Este procedimento visava à identificação das condições ideais de controle dos insetos com atmosfera modificada, tomando-se como base o controle obtido com a dosagem recomendada (1,0g.m⁻³) em ar ambiente.

Recipientes para contenção das amostras de milho infestadas com insetos

Para contenção das amostras foram construídos três cilindros de 0,15m de diâmetro e 0,20m de altura, em chapa galvanizada, com o fundo de tela metálica, para permitir melhor difusão dos gases, e a parte superior aberta. Inicialmente, foi colocado 1,5kg de grão de trigo (*Triticum aestivum* L.) não-infestado em cada cilindro e sobre a superfície desses grãos colocaram-se amostras de milho infestadas com *S. zeamais*, em todas as suas fases de desenvolvimento, acondicionadas em saquinhos de tecido de organza, para evitar a fuga dos insetos adultos. Foram colocados, em cada saquinho, 50 insetos adultos e 300 grãos contendo o restante das fases de desenvolvimento de *S. zeamais*.

Câmara para expurgo

Construiu-se uma câmara de paredes metálicas com volume útil de 1,3m³, contendo um dispositivo para controle da temperatura, constituído de uma resistência elétrica de 100W, conectada a um termostato com intervalo de trabalho entre 10 e 60°C e precisão de ±1°C. Foi instalado, também, no interior da câmara, um conjunto de termopares Tipo T para medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido.

Para criação e manutenção da atmosfera modificada, um sistema para injeção e exaustão do gás sintético foi acoplado à câmara, o qual era constituído por um cilindro contendo gás, válvulas, conexões, tubulações e dispositivo para umidificação do gás sintético. A câmara era constituída também de um fundo em chapa perfurada, para apoio dos recipientes contendo grãos infestados com insetos e possuía uma abertura lateral de seção quadrática de 0,35m de lado.

Procedimento experimental

O procedimento inicial consistia no acionamento do dispositivo para controle da temperatura da câmara. Assim que a temperatura se estabilizava em torno de 29°C, os cilindros contendo as amostras infestadas com *Sitophilus zeamais* eram colocados sobre o fundo falso da câmara; logo a seguir, pesava-se a quantidade necessária de fosfeto de alumínio, em balança com precisão de ±0,01g, e o produto era colocado no interior da câmara, junto aos cilindros contendo as amostras. A abertura lateral de acesso era então fechada, utilizando-se uma tampa com juntas de borracha e parafusos e a vedação era feita com borracha de silicone. Com as válvulas de admissão e exaustão da câmara abertas, iniciava-se o processo de injeção do gás sintético. Como não foi possível fabricar gás sintético contendo

a quantidade de água necessária para produzir uma atmosfera com a umidade relativa desejada (60%), foi preciso se construir um dispositivo para umidificação do gás *in loco*. O gás umidificado penetrava na câmara pela parte lateral inferior e ia gradualmente expulsando o ar ambiente. As concentrações dos componentes do gás de exaustão (O₂ e CO₂) eram continuamente monitoradas e, quando se verificava que o percentual desses gases havia atingido 0 e 21%, respectivamente, a válvula de exaustão era imediatamente fechada; eram fechadas em seguida, também, a válvula de segurança do cilindro, a válvula de controle de vazão e a válvula de admissão à câmara. Para o monitoramento da concentração dos componentes da atmosfera modificada, utilizou-se um analisador de gases modelo 7800P, fabricado pela Nova Analytical Systems.

As temperaturas de bulbo seco e úmido no interior da câmara, além da temperatura ambiente, eram registradas automaticamente a cada intervalo de 5min, utilizando-se termopares do tipo T acoplados a um sistema automático de aquisição de dados modelo Hydra 2625A, fabricado pela Fluke Corporation.

Avaliação dos ensaios experimentais

Para avaliação do efeito dos gases sobre o desenvolvimento de *S. zeamais* nos grãos de milho, depois do término de cada tratamento, as amostras foram retiradas dos cilindros e colocadas em câmaras climáticas do tipo B.O.D.; depois de 48h, contava-se o número de insetos adultos sobreviventes. Para as demais fases do inseto, as avaliações foram feitas de seis em seis dias, até que ovos, larvas e pupas tivessem tido tempo suficiente para atingir a forma adulta. Em todos os casos, corrigiu-se a mortalidade encontrada mediante a fórmula de Abbot, apresentada a seguir, para a qual a testemunha foi considerada a dosagem de zero g.m⁻³ de PH₃, em atmosfera normal.

$$\text{Eficácia(\%)} = \frac{\text{Mtrat} - \text{Mtest}}{100 - \text{Mtest}} \times 100$$

em que:

Mtrat - mortalidade do tratamento

Mtest - mortalidade da testemunha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação dos insetos

A determinação da eficácia dos tratamentos no controle do *Sitophilus zeamais*, em todas as fases de desenvolvimento, foi realizada por meio da contagem dos insetos que alcançaram a fase adulta.

Avaliação da fase de ovo (0 a 6 dias de idade)

Na Figura 1 apresentam-se os valores médios da eficácia, obtidos em cada tratamento com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) contendo 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina, em cada período de exposição, na fase de ovo de *S. zeamais*. Observa-se que a eficácia dos tratamentos em ovos de *S. zeamais* aumenta a medida em que aumenta o período de exposição.

Estes resultados confirmam os relatos de Mueller (1994) que observou que, com a associação de CO₂ e fosfina, menores períodos de exposição são necessários. Annis & Morton (1997)

observaram que a fase de ovo do *S. oryzae* foi a mais susceptível para uma atmosfera de 20% de CO₂, levando 8,51h para obter 99% de mortalidade; no entanto, Santos (1995) não obteve controle para uma mesma concentração de CO₂ (20%) no maior período de exposição estudado: 20 dias.

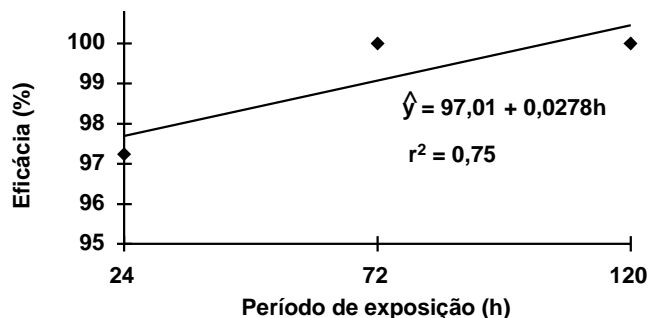


Figura 1. Estimativa da eficácia sobre ovos de *S. zeamais*, em função do período de exposição

Avaliação da fase de larva de 1ª ínstar (7 a 12 dias de idade)

Apresentam-se, na Figura 2, os valores médios da eficácia obtidos em cada tratamento com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina sobre larvas de 1ª ínstar de *S. zeamais*, em função do período de exposição. Verifica-se que a eficácia sobre larvas de 1ª ínstar de *S. zeamais* aumenta a medida em que aumenta o período de exposição. Comportamento semelhante foi observado em ovos de *S. zeamais* (Figura 1).

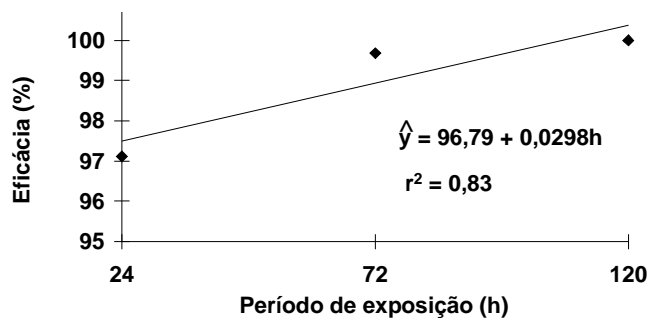


Figura 2. Estimativa da eficácia sobre larvas de 1ª ínstar de *S. zeamais*, em função do período de exposição

Avaliação da fase de larva de 2ª ínstar (13 a 18 dias de idade)

Apresentam-se, na Tabela 1, os valores médios da eficácia na fase de larva de segundo ínstar de *S. zeamais*. No período de exposição de 24h, nenhum dos tratamentos apresentou 100% de eficácia sobre larvas de 2ª ínstar de *S. zeamais*. Para os

Tabela 1. Valores médios da eficácia dos tratamentos (%) com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina em larvas de 2ª ínstar de *S. zeamais* nos três períodos de exposição, 24, 72 e 120h

| Dose | Período de exposição (h) | | |
|---|--------------------------|-------|-------|
| | 24 | 72 | 120 |
| (0,25g.m ⁻³ de PH ₃) + CO ₂ | 98,6 | 90,0 | 100,0 |
| (0,50g.m ⁻³ de PH ₃) + CO ₂ | 94,5 | 93,5 | 100,0 |
| (0,75g.m ⁻³ de PH ₃) + CO ₂ | 97,3 | 93,5 | 100,0 |
| 1,00g.m ⁻³ de PH ₃ | 95,9 | 100,0 | 100,0 |

períodos de exposição de 72 e 120h, obtiveram-se 100% de eficácia quando se utilizou atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina. Os tratamentos com atmosfera sintética de 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina somente alcançaram 100% de eficácia no controle de larvas de 2ª ínstar de *S. zeamais* quando o período de exposição foi de 120h.

Avaliação da fase de larva de 3ª ínstar (19 a 24 dias de idade)

Na Tabela 2 apresentam-se os valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina sobre larvas do 3ª ínstar de *S. zeamais*. Observa-se que a eficácia do tratamento com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina, não diferiu dos tratamentos com atmosfera sintética e 0,25 e 0,50g.m⁻³ de fosfina; que os tratamentos com atmosfera sintética e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina não diferiram entre si e que apenas o tratamento de atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina diferiu do tratamento de atmosfera sintética e 0,75g.m⁻³ de fosfina.

Tabela 2. Valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina sobre larvas de 3ª ínstar de *S. zeamais*, com os respectivos períodos de exposição (24, 72 e 120h)¹

| Período de Exposição | Tratamento | | | |
|----------------------|---|---|---|---|
| | Atmosfera Ambiente + 1,0g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,25g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,50g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,75g.m ⁻³ |
| 24 | 91,4 | 86,9 | 94,8 | 75,0 |
| 72 | 100,0 | 91,3 | 85,4 | 76,7 |
| 120 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| | 97,1a | 93,4ab | 92,7ab | 83,9b |

¹ Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Apresentam-se, na Figura 3, os valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina sobre larvas de 3ª ínstar de *S. zeamais*, em função do período de exposição. Observa-se que a eficácia sobre larvas de 3ª ínstar de *S. zeamais* aumenta a medida em que aumenta também o período de exposição; observações semelhantes foram feitas para ovos e larvas de 1ª ínstar de *S. zeamais* (Figuras 1 e 2).

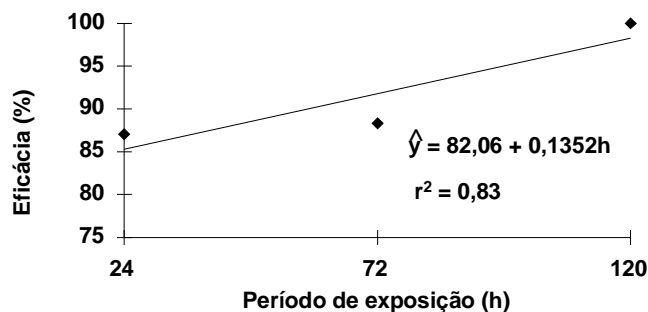


Figura 3. Estimativa da eficácia sobre larvas de 3ª ínstar de *S. zeamais*, em função do período de exposição

Avaliação da fase de larva de 4º instar (25 a 30 dias de idade)

Na Tabela 3 têm-se os valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina para larvas de 4º instar de *S. zeamais*, em função dos tratamentos e dos três períodos de exposição. Observa-se que, para os períodos de exposição de 24 e 120h, as médias da eficácia dos tratamentos não diferiram; no entanto, para o período de exposição de 72h, a maior eficácia (100%) sobre larvas de 4º instar de *S. zeamais* ocorreu quando se utilizou atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina, e a menor (56%), com atmosfera sintética e 0,75g.m⁻³ de fosfina.

Tabela 3. Valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera ambiente e 1,0 g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina para larvas de 4º instar de *S. zeamais*, com os respectivos períodos de exposição (24, 72 e 120h)¹

| Período de Exposição | Tratamento | | | |
|----------------------|---|---|---|---|
| | Atmosfera Ambiente + 1,0g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,25g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,50g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,75g.m ⁻³ |
| 24 | 94,7a | 100,0a | 100,0a | 18,3a |
| 72 | 100,0a | 82,9b | 80,4b | 56,0c |
| 120 | 100,0a | 100,0a | 100,0a | 100,0a |

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Nas Figuras 4, 5 e 6, apresentam-se os valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina, respectivamente, sobre larvas

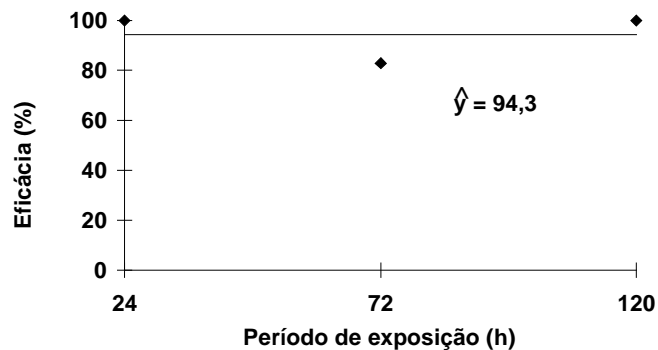


Figura 4. Estimativa da eficácia do tratamento com atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25g.m⁻³ de fosfina sobre larvas de 4º instar de *S. zeamais*, em função do período de exposição

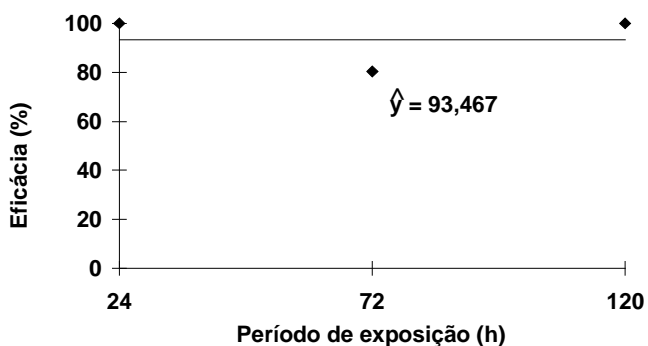


Figura 5. Estimativa da eficácia do tratamento com atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,50g.m⁻³ de fosfina sobre larvas de 4º instar de *S. zeamais*, em função do período de exposição

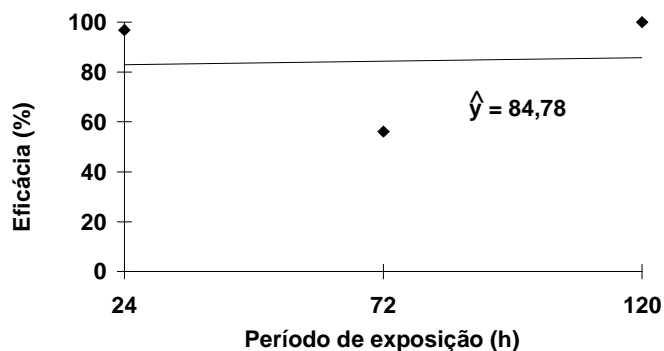


Figura 6. Estimativa da eficácia do tratamento com atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,75g.m⁻³ de fosfina sobre larvas de 4º instar de *S. zeamais*, em função do período de exposição

de 4º instar de *S. zeamais*, em função do período de exposição. Verifica-se comportamento semelhante nos três tratamentos com atmosfera sintética e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina, em função do período de exposição. Observa-se que não houve efeito do período de exposição para os três tratamentos com atmosfera sintética e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina, sobre a eficácia em larvas de 4º instar de *S. zeamais*.

Comparando-se os resultados obtidos neste trabalho com aqueles da literatura, verifica-se que o controle observado confirma os resultados de Mueller (1994) que obteve 100% de controle sobre larvas de *S. oryzae* em 20h, com atmosfera de CO₂ associada a baixas doses de fosfina. Santos (1995) trabalhando somente com atmosfera de 20% de CO₂, não obteve controle eficaz sobre larvas de 4º instar de *S. zeamais* com 20 dias de exposição. Comportamentos semelhantes foram observados para larvas de 1ª, 2ª e 3ª instares desta espécie.

Avaliação da fase de pupa (31 a 36 dias de idade)

Na Tabela 4 encontram-se os valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina sobre pupas de *S. zeamais*, em três períodos de exposição (24, 72 e 120h). Observa-se que, para o período de exposição de 24 e 120h, as médias da eficácia dos tratamentos sobre pupas de *S. zeamais* não diferiram. Para o período de exposição de 72h, os tratamentos com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética e 0,25g.m⁻³ apresentaram maior eficácia que os demais tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos para larvas de 4º instar de *S. zeamais* (Tabela 3) para o mesmo período de exposição.

Tabela 4. Valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina para pupas de *S. zeamais*, em função do período de exposição (24, 72 e 120h)¹

| Período de Exposição | Tratamento | | | |
|----------------------|---|---|---|---|
| | Atmosfera Ambiente + 1,0g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,25g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,50g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,75g.m ⁻³ |
| 24 | 100,0a | 90,0a | 98,3a | 100,0a |
| 72 | 100,0a | 97,4a | 69,0b | 80,0b |
| 120 | 100,0a | 97,2a | 100,0a | 100,0a |

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Nas Figuras 7 e 8 apresentam-se os valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina, respectivamente, sobre pupas de *S. zeamais*, em função do período de exposição; o mesmo comportamento é observado nos dois casos e, embora o período de exposição de 72h tenha obtido menor eficácia, observa-se que nos períodos de exposição de 24 e 120h a eficácia foi de 100%. Nota-se, também comportamento semelhante nos dois tratamentos com atmosfera sintética e 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina, em função do período de exposição. Verifica-se, portanto, que não houve efeito do período de exposição para os dois tratamentos, sobre a eficácia de pupas de *S. zeamais*.

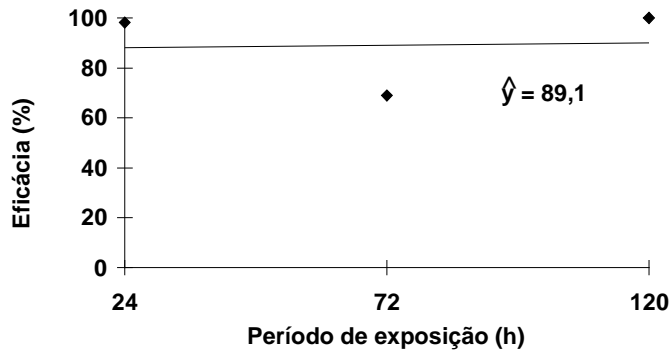


Figura 7. Estimativa da eficácia do tratamento com atmosfera sintética e 0,50g.m⁻³ de fosfina sobre pupas de *S. zeamais*, em função do período de exposição

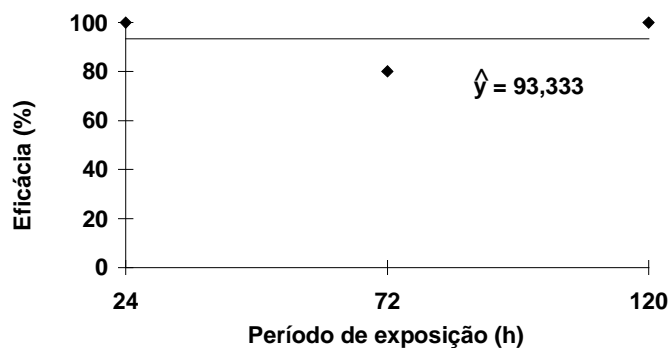


Figura 8. Estimativa da eficácia do tratamento com atmosfera sintética e 0,75g.m⁻³ de fosfina sobre pupas de *S. zeamais*, em função do período de exposição

Comparando-se os dados obtidos neste trabalho com aqueles da literatura, verifica-se que o controle obtido para a fase de pupa de *S. zeamais*, embora não tenha sido tão bom quanto para ovos, por exemplo, foi o esperado, devido à associação do CO₂ com a fosfina, confirmando os resultados de Desmarchelier & Wohlgemuth (1984) que obtiveram mortalidade de 50% das pupas de *S. oryzae* e *S. granarius* em 12 e 36h, respectivamente, trabalhando com atmosfera de 25% de CO₂ e 200ml/l de fosfina. Resultados semelhantes também foram conseguidos por Mueller (1994) trabalhando com atmosfera de CO₂ e baixos níveis de fosfina, obtendo mortalidade de 100% em aproximadamente 20h; porém, Santos (1995) não obteve controle de pupas de *S. zeamais* no período de exposição de 20 dias em atmosferas contendo apenas 20% de CO₂. Para uma mesma concentração de CO₂ (20%), Annis & Morton (1997) verificaram que seriam necessários mais de 45 dias de exposição para o controle efetivo de *S. oryzae*.

Avaliação da fase adulta (em torno de 42 dias)

Na Tabela 5 estão os valores médios da eficácia dos tratamentos de atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina e

atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina para adultos de *S. zeamais*, para os três períodos de exposição. Para o período de exposição de 24h, somente o tratamento com atmosfera ambiente e 1,0g.m⁻³ de fosfina alcançou 100% de eficácia sobre adultos de *S. zeamais*. Ainda no período de exposição de 24h, observa-se que, a medida em que se aumenta a concentração de fosfina na presença da atmosfera sintética, obtém-se menor eficácia para adultos da espécie em estudo; no entanto, para os períodos de exposição de 72 e 120h, todos os tratamentos alcançaram 100% de eficácia sobre adultos de *S. zeamais*.

Tabela 5. Valores médios da eficácia dos tratamentos com atmosfera ambiente e 1,0 g.m⁻³ de fosfina e atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75 g.m⁻³ de fosfina para adultos de *S. zeamais*, com os respectivos períodos de exposição (24, 72 e 120h)¹

| Período de Exposição | Tratamento | | | |
|----------------------|---|---|---|---|
| | Atmosfera Ambiente + 1,0g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,25g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,50g.m ⁻³ | Atmosfera Sintética + 0,75g.m ⁻³ |
| 24 | 100,0a | 89,0b | 64,0c | 23,3b |
| 72 | 100,0a | 100,0a | 100,0a | 100,0a |
| 120 | 100,0a | 100,0a | 100,0a | 100,0a |

Nas Figuras 9, 10 e 11, apresenta-se a variação da eficácia dos tratamentos com atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina, respectivamente, sobre adultos de *S. zeamais*, em função do período de exposição. O mesmo comportamento é observado nos três tratamentos com atmosfera sintética e 0,25, 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina sobre adultos de *S. zeamais*. A medida em que se aumenta o período de exposição, obtém-se melhor eficácia sobre adultos de *S. zeamais*.

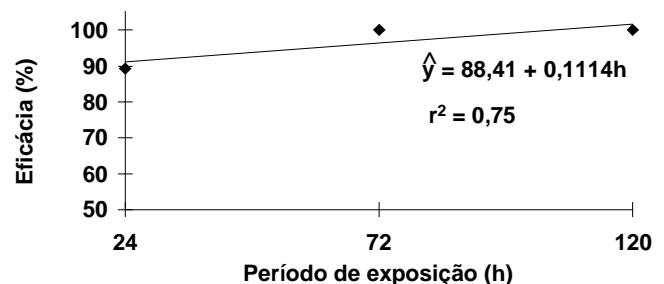


Figura 9. Estimativa da eficácia do tratamento com atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,25g.m⁻³ de fosfina sobre adultos de *S. zeamais*, em função do período de exposição

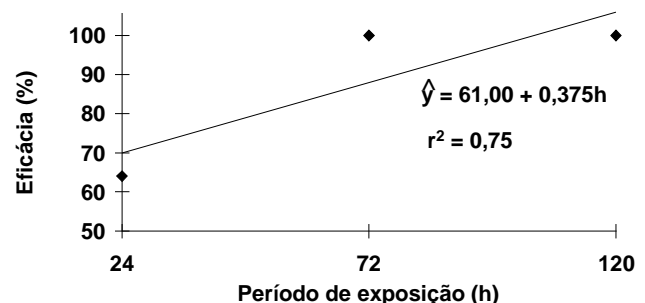


Figura 10. Estimativa da eficácia do tratamento com atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,50g.m⁻³ de fosfina sobre adultos de *S. zeamais*, em função do período de exposição

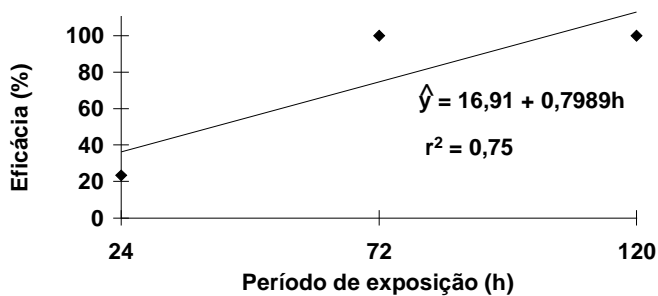


Figura 11. Estimativa da eficácia do tratamento com atmosfera sintética (21% de CO₂) e 0,75 g.m⁻³ de fosfina sobre adultos de *S. zeamais*, em função do período de exposição

Comparando-se os resultados obtidos neste trabalho com aqueles da literatura, verifica-se que o controle aqui observado confirma os resultados de Mueller (1994) que obteve 100% de eficácia sobre adultos de *S. oryzae* em 12h, com atmosfera de CO₂ associada a baixas concentrações de fosfina. Santos (1995) trabalhando somente com atmosfera de 20% de CO₂, não obteve controle eficaz sobre adultos de *S. zeamais*, em 20 dias de exposição.

CONCLUSÕES

As análises dos dados e a interpretação dos resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

1. O aumento no período de exposição resultou no aumento da eficácia de controle de quase todas as fases de desenvolvimento do *Sitophilus zeamais*, exceto para larvas de 2^o ínstar.
2. O controle efetivo (100% de eficácia) de todas as fases de desenvolvimento do *S. zeamais* foi obtido com os tratamentos de atmosfera sintética e 0,50 e 0,75g.m⁻³ de fosfina, no período de exposição de 120h.
3. A concentração de 0,50g.m⁻³ de fosfina, associada à atmosfera sintética, no período de exposição de 120h, é a mínima necessária para controle efetivo de todas as fases de desenvolvimento do *S. zeamais*.
4. Em geral, ovos e adultos foram os mais susceptíveis e as larvas de 2^o e 3^o ínstaras as mais resistentes. As larvas de 1^o e 4^o ínstaras e pupas apresentaram susceptibilidade intermediária, ou seja, foram mais resistentes que ovos e adultos e mais susceptíveis que as larvas de 2^o e 3^o ínstaras.
5. As combinações mais efetivas de atmosfera sintética, doses de fosfina e períodos de exposição, aplicadas com boas condições de vedação, mostraram ser uma alternativa viável no manejo de populações de *Sitophilus zeamais*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANNIS, P.C.; MORTON, R. The acute mortality effects of carbon dioxide on various life stages of *Sitophilus oryzae*. **Journal Stored Product Research**, v.33, p.115-124, 1997.

BANKS, H.J. Current methods and potential systems for production of controlled atmospheres for grain storage. In: RIPP, B.E., BANKS, H.J., BOND, E.J., CALVERLEY, D.J., JAY, E.G., NAVARRO, S. eds. **Controlled atmosphere and fumigation in grain storages**: proceedings of an international symposium. Perth, Western Australia. 1984. p.523-542.

BOND, E.J.; BUCKLAND, C.T. Development of resistance of carbon dioxide in the Granary Weevil. **Journal Economic Entomology**, v.72, p.770-771, 1979.

BOND, E.J.; MILLER, D.M.; A new technique for measuring the combustibility of gases at reduced pressures and its application to the fumigant phosphine. **Journal of Stored Products Research**, v.24, p.225-228, 1988.

DESMARCHELIER, J.M., WOHLGEMUTH, R. Response of several species of insects to mixtures of phosphine and carbon dioxide. In: RIPP, B.E., BANKS, H.J., BOND, E.J., CALVERLEY, D.J., JAY, E.G., NAVARRO, S. eds. **Controlled atmosphere and fumigation in grain storages**: proceedings of an international symposium. Perth, Western Australia. 1984. p.75-81.

FARONI, L.R.A. Principais pragas de grãos armazenados. In: ALMEIDA, F.A.C.; HARA, T.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. **Armazenamento de grãos e sementes nas propriedades rurais**. Campina Grande, PB: UFPB/SBEA, 1997. p.189-291.

GOLEBIEWSKA, Z. The feeding and fecundity of *Sitophilus granarius* (L.), *Sitophilus oryzae* (L.) and *Rhyzopertha dominica* (F.) in wheat grain. **Journal Stored Product Research**, v.5, p.143-155, 1969.

MUELLER, D.K. A new method of using low levels of phosphine in combination with heat and carbon dioxide. In: HIGLEY, E.J., WHIGHT, H.J., BANKS, H.J., CHAMP, B.R. eds. **Stored product protection**: proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-product Protection. Canberra, Australia. 1994.

NEWMAN, L.J. Grain weevils (*Calandra oryzae* and *C. granaria*). **Journal of Agriculture**, v.4, p.538-545, 1927.

REES, D.P. Coleoptera. In: SUBRAMANYAM, B., HAGSTRUM, D.W. Eds. **Integrated management of insects in stored products**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-39.

SANTOS, D.S. **Viabilização da atmosfera modificada pelo CO₂ na manutenção das qualidades do milho (*Zea mays* L.) durante o armazenamento**. Lavras: UFLA, 1995. 96p. Dissertação Mestrado.

SMITH, C.N. Insect colonization and mass production. s.v., s.p., 1966.

TRIVELLI, H.D.; VELASQUEZ, C.J. **Insectos que dañan granos y productos almacenados**. Santiago-Chile: Oficina regional de la FAO para America Latina y el Caribe, 1985. p.51-54.

WHITE, N.D.G.; JAYAS, D.S. Control of insects and mites with carbon dioxide in wheat stored at cool temperatures in nonairtight bins. **Journal Economic Entomology**, v.84, p.1933-1942, 1991.

WHITE, N.D.G.; JAYAS, D.S.; DEMIANYK, C.J. et al. Alternatives to methyl bromide for space fumigation and commodity treatment. In: WORKSHOP ON METHYL BROMIDE ALTERNATIVES, Toronto, 1996. (separata)

WHITE, N.D.G.; LEESCH, J.G. Chemical control. **Integrated management of insects in stored products**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.287-330.