

CONTROLE DE *RHYZOPERTHA DOMINICA* PELA ATMOSFERA CONTROLADA COM CO₂, EM TRIGO¹

ROGÉRIO AMARO GONÇALVES², JAMILTON PEREIRA SANTOS³,
PRABIR KUMAR CHANDRA⁴ e ROGÉRIO GERMANI⁵

RESUMO - A utilização de gases inertes como fumigantes no controle de pragas é uma alternativa ao uso de fosfina. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de uma atmosfera com CO₂ no controle de *Rhyzopertha dominica* (Fabr.) (Coleoptera: Bostrichidae) em grãos de trigo armazenado. O trabalho constou de cinco concentrações de CO₂ (0, 30, 40, 50 e 60%, completadas com N₂), três períodos de exposição (5, 10, 15 dias), três populações de *R. dominica* (Fabr.) (Coleoptera: Bostrichidae) (Campo Mourão, PR, Sete Lagoas, MG e Santa Rosa, RS) e sete fases de desenvolvimento do inseto (ovo, larva de 1^a, 2^a, 3^a e 4^a ínstar, pupa e adulto) com três repetições. As diferentes fases da *R. dominica* foram acondicionadas em tecido organza e levadas para câmaras de expurgo de 200 litros com 75% deste volume repletos de grãos. As câmaras foram vedadas com borracha de silicone para garantir a hermeticidade. Após a vedação das câmaras injetavam-se os gases contendo diferentes teores de CO₂. Os resultados mostraram que todos os teores de CO₂ causaram 100% de mortalidade de adultos das três populações nos três períodos de exposição utilizados. Em pupas a mortalidade atingiu 100% no teor de 60% de CO₂ para as três populações no período de 15 dias de exposição; porém, todos os teores de CO₂ utilizados no período de 15 dias de exposição causaram 100% de mortalidade das pupas da população de Santa Rosa. Para o adequado controle de larvas de diferentes ínstares são necessários teores de CO₂ iguais ou acima de 50%. Nos períodos de 10 e 15 dias de exposição, todos os teores de CO₂ causaram 100% de mortalidade dos ovos das três populações avaliadas.

Termos para indexação: fumigação, gases, pragas de grãos armazenados.

CONTROL OF *RHYZOPERTHA DOMINICA* USING A CONTROLLED ATMOSPHERE WITH CO₂, IN WHEAT

ABSTRACT - Controlled atmosphere with inert gases offers an alternative to phosphine use to control stored grain pests. The objective of this research was to test a controlled atmosphere with CO₂ to control *Rhyzopertha dominica*, (Fabr.) (Coleoptera: Bostrichidae), an important pest of stored wheat grain. This test consisted of five CO₂ concentrations (0, 30, 40, 50 and 60%; completed with N₂), fumigation periods of 5, 10 and 15 days; insect populations collected from Campo Mourão, PR, Sete Lagoas, MG and Santa Rosa, RS, in Brazil, and seven developing stages (egg, larva of 1st, 2nd, 3rd and 4th instar, pupa and adult), in three replications. All the different life stages of the insect were kept as individual samples in a small voile cloth bag and put inside a 200 liter fumigation chamber with 75% of this volume full of grain with the metal lid sealed at the edge with silicone rubber to guarantee hermetic conditions. The different CO₂ concentrations were then added inside the chambers. The results showed that all CO₂ concentrations tested caused 100% mortality to all adult stage of the three insect populations in all fumigation periods tested. The mortality of the pupa stage of the three insect population was 100% when the 60% CO₂ concentration was used in the 15 days fumigation period; however, all CO₂ concentrations in 15 days fumigation period caused 100% mortality in pupa of insects collected in Santa Rosa. For adequate control of all larval stages it requires 50% CO₂ or above this concentration. During the 10 and 15 days fumigation periods all CO₂ concentrations controlled 100% of the eggs from the three populations studied.

Index terms: fumigation, gas, stored grain pest.

¹ Aceito para publicação em 5 de fevereiro de 1999.

² Eng. Agríc., M.Sc., aluno do curso de pós-graduação, UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG. Bolsista do CNPq.

³ Eng. Agrôn., Ph.D., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa

de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG. E-mail: jAMILTON@CNPMS.EMBRAPA.BR

⁴ Eng. Agríc., Ph.D., DCA, UFLA. Bolsista do CNPq.

⁵ Eng. Quím., Ph.D., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos (CTAA), Av. das Américas, 29.501, CEP 23020-070 Guaratiba, RJ.

INTRODUÇÃO

O trigo é uma das principais fontes de energia para a população mundial; seus derivados, tais como farinha, biscoitos e macarrão, são amplamente consumidos devido aos seus baixos custos. A *Rhyzopertha dominica* (Fabr.), conhecida como broca-pequena-do-grão, é a principal e a mais destrutiva praga de trigo armazenado, promovendo redução significativa de seu valor comercial. O método mais efetivo de desinfestação de produtos armazenados é a fumigação. Atualmente o fumigante mais utilizado para o controle da broca-pequena-do-grão em trigo e seus derivados é a fosfina; porém, este fumigante apresenta algumas desvantagens, segundo alguns autores, tais como a corrosão de metais não ferrosos, demanda de longo tempo de aeração, inflamabilidade em altas concentrações e toxicidade aguda; pode, também, provocar depreciação do produto fumigado (Santos, 1993). O uso indiscriminado da fosfina tem promovido o aparecimento de populações de broca-pequena-do-grão resistentes a este fumigante (Sartori et al., 1990; Calil, 1995).

Uma das alternativas ao uso da fosfina como fumigante é o armazenamento em atmosfera controlada utilizando-se o dióxido de carbono. As vantagens são que os gases utilizados, CO₂ e N₂, são não-inflamáveis, não-corrosivos, não-poluentes, e não depreciam o valor comercial do produto fumigado.

Atmosfera controlada (AC), isto é, quando se exerce um controle sobre a composição química dos gases e sobre as condições físicas, como pressão, temperatura e umidade, tem sido usada com sucesso no controle de *Sitophilus granarius* (L.) e *Sitophilus zeamais* (Mots.) (Prozell & Reichmuth, 1990; Adler, 1992). A mistura gasosa nitrogênio (N) e dióxido de carbono atua no metabolismo do inseto, aumentando a sua taxa respiratória, acidificando a hemolinfa, dificultando o processo de troca gasosa, e causando a morte do inseto (Adler, 1994). White & Jayas (1991) controlaram populações de insetos e ácaros em grãos de trigo com concentrações de 15 a 50% de CO₂ em um período de exposição de 84 dias. Mitcham et al. (1997) controlaram insetos e ácaros em uvas, utilizando atmosfera controlada com nível

de 45% de CO₂ com temperatura de 0°C num período de exposição de 15 dias.

Mbata & Reichmuth (1996), trabalhando com ovos de *Callosobruchus subinnotatus*, conseguiram 100% de mortalidade utilizando atmosfera com 100% de CO₂ por um período de exposição de seis dias, e registraram que à medida que se eleva a concentração de O₂ se reduz sensivelmente a mortalidade, mesmo com altos níveis de CO₂ associados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a suscetibilidade de diferentes estádios de desenvolvimento de três populações de *R. dominica* com comportamento diferenciado em relação à resistência à fosfina (Calil, 1995), ao expurgo por três intervalos de tempo de exposição (cinco, dez e quinze dias), com atmosfera controlada com diferentes teores de dióxido de carbono em mistura com N.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta investigação foi realizada na Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), situado em Sete Lagoas, MG. O cereal utilizado na execução do experimento foi o trigo (cultivar BR-10), cultivado nos campos experimentais do próprio CNPMS. Os grãos apresentaram um teor de umidade de 12%. Para realização deste trabalho foi utilizada 1,8 tonelada de trigo para preenchimento das câmaras de expurgo. A temperatura média no ambiente onde se encontrava a câmara de expurgo foi de 20°C.

Câmaras de expurgo

As câmaras de expurgos utilizadas no experimento foram tambores metálicos com capacidade para 200 litros, adaptados através de implantação de registros de esfera na parte inferior do tambor, para a entrada dos gases, e na tampa do tambor, para a saída dos gases. A vedação dos tambores foi feita com vedante de silicone. A atmosfera natural da massa de grãos deu lugar a AC (CO₂ + N₂) injetada gradativamente, com a pressão de 2,0 kg/cm² e um fluxo de 15 L/min, regulados através de um manômetro e fluxômetros, respectivamente. A concentração de dióxido de carbono foi monitorada através de um equipamento eletrônico teledyne, devidamente calibrado acoplado à saída da câmara de expurgo. Quando a concentração AC na saída da câmara de expurgo dava uma leitura igual à da saída do cilindro injetor, o sistema era fechado. Esta operação demandou

aproximadamente 30 minutos para que toda a atmosfera de dentro do tambor fosse substituída.

Tratamentos e delineamento experimental

O trabalho constou de cinco tratamentos (0, 30, 40, 50 e 60% CO₂ completados com N₂), três períodos de exposição (5, 10, 15 dias), três populações de *R. dominica* e sete fases de desenvolvimento do inseto (ovo, larva de 1^o, 2^o, 3^o, 4^o ínstar, pupa e adulto) com três repetições. O plano experimental utilizou um delineamento inteiramente casualizado (DIC), disposto numa estrutura fatorial 5 x 3 x 7 x 3, dando um total de 945 parcelas experimentais. A escolha das concentrações foi em função das observações verificadas por outros autores em trabalhos similares, que citam que teores de dióxido de carbono abaixo de 30% requerem intervalos de tempo acima de 20 dias para apresentar resultados representativos (Santos, 1995).

Populações de insetos

Foram testadas três populações mantidas no laboratório de pragas de grãos armazenados da Embrapa-CNPMS. Cada população recebeu um código de duas letras identificando o local de origem. Deste modo, CM corresponde aos insetos de Campo Mourão, PR, SL, de Sete Lagoas, MG, e SR, de Santa Rosa, RS. A finalidade desta etapa foi avaliar a diferença de suscetibilidade à atmosfera controlada entre as populações, uma vez que a população CM vem se comportando como resistente à fosfina.

Foi realizada uma avaliação do índice de mortalidade da broca-pequena-do-grão, inserindo-se nos recipientes de expurgo sete amostras de trigo contendo, cada uma delas, em torno de 50 insetos; os insetos de cada amostra representaram uma fase de desenvolvimento do *R. dominica*, provenientes de uma criação-estoque (Calil, 1995). Após a abertura das câmaras, ao término de cada etapa do experimento, as amostras retornaram ao laboratório, para se aguardar a emergência dos insetos adultos, que nas diferentes fases de desenvolvimento, pudessem, eventualmente, ter sobrevivido à fumigação.

As amostras de trigo foram peneiradas a cada dois dias, retirando-se os insetos emergentes, evitando-se, desta forma, o início de novo ciclo reprodutivo. Este procedimento foi realizado até o encerramento do período de eclosão nas subamostras que permaneceram no laboratório. Por meio de comparações do número de insetos sobreviventes nas amostras expostas à atmosfera controlada com CO₂ e N₂ e à testemunha, avaliou-se a eficiência dos tratamentos sobre os diferentes estádios de

desenvolvimento das três populações de *R. dominica* estudadas.

Para este trabalho, a eficiência de controle do inseto foi definida pela fórmula de Abbott, dada por, $EF\% = (n^{\circ} \text{ de insetos sobreviventes na testemunha} - n^{\circ} \text{ de insetos sobreviventes no tratamento}) / (n^{\circ} \text{ de insetos sobreviventes na testemunha}) \times 100$.

Foi efetuada a avaliação dos tratamentos sobre as populações ao longo dos três períodos de exposição, utilizando-se um teste de média (Tukey) realizado pelo software SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ação do dióxido de carbono sobre os ovos

Período de cinco dias de exposição: o número de insetos sobreviventes variou pouco, em face da concentração de CO₂ e N₂, porém variou mais em relação à origem do inseto. O fato de haver sobreviventes nesta fase, onde a taxa respiratória do inseto é baixa, inviabiliza a utilização da atmosfera controlada com dióxido de carbono e N para um período de expurgo de cinco dias, mesmo em condições de boa hermeticidade. Esses resultados são semelhantes aos dados obtidos por Leong & Ho (1995) em pesquisa realizada com ovos de *Liposcelis bostrychophilus* Bad., utilizando atmosfera com teores de 20, 30, 54, 74 e 99% de CO₂ para um período de exposição de cinco dias.

No teor de 30% de CO₂, o nível de controle foi de 70,48% em relação à média da testemunha nos insetos da população Campo Mourão, PR (CM). Quanto aos insetos da população Sete Lagoas, MG (SL), o nível de controle chegou a 73,98%, e nos insetos da população Santa Rosa, RS (SR), o nível de controle atingiu 83,29%. No teor de 40% de CO₂, houve 74,51% de mortalidade na população CM, 72,83% na população SL, e 93,05% na população SR (Tabela 1).

No teor de 50%, o controle chegou a 73,66%, 83,24% e 83,57% nas populações CM, SL e SR, respectivamente. No teor de 60% de CO₂, a mortalidade atingiu, respectivamente, 80,01%, 82,02% e 89,05% nas populações de CM, SL e SR (Tabela 1). Santos (1995), utilizando mistura ar sintético e CO₂ em ovos de *Sitophilus zeamais*, obteve 100% de mortalidade com concentração de dióxido de carbono de 50 e 60%, num período de exposição de

cinco dias; em concentrações menores, a mistura ar sintético e CO₂ não foi eficiente (Tabela 1).

Períodos de exposição de dez e quinze dias: o controle de ovos de *R. dominica* das três populações estudadas (CM, SL e SR) atingiu 100% de eficiência nos teores de CO₂ utilizados como mostra a Tabela 1. Esses resultados assemelham-se aos dados obtidos por Leong & Ho (1995), em pesquisa realizada com ovos de *L. bostrychophilus* utilizando atmosfera com teores de 74 e 99% de CO₂ para um período de exposição de 15 dias. Apesar da baixa taxa respiratória, verifica-se suscetibilidade da fase de ovo às concentrações de dióxido de carbono utilizados. Santos (1995), em pesquisa com ovos de *S. zeamais*, obteve 100% de mortalidade com teores de CO₂ de 40, 50 e 60%, e períodos de exposição de dez e quinze dias, tendo havido, porém, sobreviventes com teores menores de dióxido de carbono.

Ação do dióxido de carbono sobre as larvas de primeiro ínstar

Período de exposição de cinco dias: esta fase da larva, dura, aproximadamente, seis dias. O *R. dominica* coloca os seus ovos soltos, entre os grãos; a larva, ao eclodir, alimenta-se de partículas de grãos, e posteriormente penetra no grão. A população de insetos CM apresentou as seguintes

taxas de mortalidade: 83,10%, 57,74%, 76,03% e 67,95% nos teores de 30%, 40%, 50% e 60%. Nessa fase, com exceção do teor de 30% de CO₂, na população SR, que apresentou 98,61% de mortalidade (Tabela 2), a eliminação das larvas foi total em todas as concentrações de CO₂ na população SL e SR.

Período de exposição de dez dias: nas populações CM, SL e SR, a eficiência foi de 100% em todos os teores de CO₂, ficando evidente a maior tolerância da população CM nessa fase de desenvolvimento dos insetos (Tabela 2). Os insetos desta população já se mostraram mais resistentes, à fofina, como evidenciaram os resultados de Calil (1995).

Período de exposição de quinze dias: todos os teores de dióxido de carbono utilizados foram eficientes, atingindo 100% de mortalidade das larvas do primeiro ínstar das três populações de *R. dominica* estudadas (CM, SL e SR) (Tabela 2). Esse resultado diferiu dos obtidos por Santos (1995) com larvas de primeiro ínstar de *S. zeamais*, pois foi apenas no teor de 30% onde o respectivo autor registrou um índice de mortalidade de 81,96%, enquanto as concentrações de 40%, 50% e 60% apresentaram um índice de 100% de mortalidade. Essa alta porcentagem de mortalidade deve-se, provavelmente, à alta taxa respiratória dessa fase do inseto e ao período mais longo de exposição ao dióxido de carbono.

TABELA 1. Eficiência de atmosfera controlada com CO₂ em ovos de *Rhyzopertha dominica* das populações originadas de Campo Mourão, PR (CM), Sete Lagoas, MG (SL) e Santa Rosa, RS (SR) nos períodos de 5 dias, 10 dias e 15 dias de exposição¹.

Teor de CO ₂ (%)	Eficiência de controle (%) ²								
	5 dias			10 dias			15 dias		
	CM	SL	SR	CM	SL	SR	CM	SL	SR
0	0,00Ba	0,00Ba	0,00Ba	0B	0B	0B	0B	0B	0B
30	70,48Aa	73,98Aa	83,29a	100A	100A	100A	100A	100A	100A
40	74,51Ab	72,83Ab	93,05a	100A	100A	100A	100A	100A	100A
50	73,66Aa	83,24Aa	83,57a	100A	100A	100A	100A	100A	100A
60	80,01Ab	82,02Ab	89,05a	100A	100A	100A	100A	100A	100A

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

² EF (%) = ((n^o de insetos sobreviventes na testemunha - n^o de insetos sobreviventes no tratamento)/n^o de insetos sobreviventes na testemunha) x 100.

Ação do dióxido de carbono sobre as larvas de segundo ínstar

Período de exposição de cinco dias: a mortalidade (%) de larvas de segundo ínstar do *R. dominica* na população CM nos teores de 30, 40, 50 e 60% de CO₂ variaram de 97,15% a 98,86%. Na população SL, os valores variaram de 93,32% a 99,26%. Na população SR, a variação foi de 95,36% a 98,93% (Tabela 3). Santos (1995), com larvas de segundo estágio de *S. zeamais*, registrou sobreviventes nos teores de 30% e 40% de CO₂. Nos teores de 50% e 60% de CO₂ houve 100% de mortalidade.

Período de exposição de dez dias: o expurgo realizado com diferentes teores de dióxido de carbono registrou sobreviventes nos teores de 30% e 50% de CO₂ de larvas do segundo ínstar das

populações CM e SL, com percentuais de mortalidade de 86,18% e 98,34%, respectivamente. O teor de 50% de CO₂ apresentou sobreviventes apenas na população CM (96,66% de mortalidade). Nos demais teores, a mortalidade chegou a 100% nas três populações. Quanto às larvas da população SR, todos os teores de CO₂ atingiram 100% de mortalidade (Tabela 3). Em larvas de segundo ínstar de *S. zeamais*, observou-se 100% de mortalidade somente nos teores de 50% e 60% de CO₂ (Santos, 1995).

Período de exposição de quinze dias: a mortalidade das larvas de segundo ínstar de *R. dominica* chegou a 100% em todos os teores de dióxido de carbono utilizados nas três populações estudadas (CM, SL e SR), como mostra a Tabela 3. Santos (1995) obteve 100% de mortalidade em larvas de segundo

TABELA 2. Eficiência de atmosfera controlada com CO₂ em larvas de primeiro ínstar de *Rhyzopertha dominica* das populações originadas de Campo Mourão, PR (CM), Sete Lagoas, MG (SL) e Santa Rosa, RS (SR) nos períodos de 5 dias, 10 dias e 15 dias de exposição¹.

Teor de CO ₂ (%)	Eficiência de Controle (%) ²								
	5 dias			10 dias			15 dias		
	CM	SL	SR	CM	SL	SR	CM	SL	SR
0	0,00Ba	0Ba	0,00Ba	0B	0B	0B	0B	0B	0B
30	83,10Ab	100Aa	98,61Aa	100A	100A	100A	100A	100A	100A
40	57,74Bb	100Aa	100,00Aa	100A	100A	100A	100A	100A	100A
50	76,03Ab	100Aa	100,00Aa	100A	100A	100A	100A	100A	100A
60	67,95Ab	100Aa	100,00Aa	100A	100A	100A	100A	100A	100A

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² EF (%) = ((nº de insetos sobreviventes na testemunha - nº de insetos sobreviventes no tratamento)/nº de insetos sobreviventes na testemunha) x 100.

TABELA 3. Eficiência de atmosfera controlada com CO₂ em larvas de segundo ínstar de *Rhyzopertha dominica* das populações originadas de Campo Mourão, PR (CM), Sete Lagoas, MG (SL) e Santa Rosa, RS (SR) nos períodos de 5 dias, 10 dias e 15 dias de exposição¹.

Teor de CO ₂ (%)	Eficiência de controle (%) ²								
	5 dias			10 dias			15 dias		
	CM	SL	SR	CM	SL	SR	CM	SL	SR
0	0,00Ba	0,00Ba	0,00Ba	0,00B	0,00B	0B	0B	0B	0B
30	97,15Aa	93,32Aa	95,36Aa	86,18Aa	98,34Aa	100Aa	100A	100A	100A
40	94,37Aa	99,26Aa	95,63Aa	100,00Aa	100,00Aa	100Aa	100A	100A	100A
50	98,34Aa	98,51Aa	97,38Aa	96,66Aa	100,00Aa	100Aa	100A	100A	100A
60	98,86Aa	98,91Aa	98,93Aa	100,00Aa	100,00Aa	100Aa	100A	100A	100A

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² EF (%) = ((nº de insetos sobreviventes na testemunha - nº de insetos sobreviventes no tratamento)/nº de insetos sobreviventes na testemunha) x 100.

ínstar de *Sitophilus zeamais* nos teores de 50% e 60% de CO₂, utilizando o período de 15 dias de exposição. Em teores abaixo de 50%, o autor registrou sobreviventes.

Ação do dióxido de carbono sobre as larvas de terceiro ínstar

Período de exposição de cinco dias: a mortalidade das larvas de terceiro ínstar de *R. dominica* no teor de 30% de CO₂ foi de 64,45%, 79,18% e 38,72% nas populações CM, SL e SR, respectivamente. No teor de 40% de CO₂, a mortalidade atingiu 98,48%, 93,10% e 93,79% nas populações CM, SL e SR, respectivamente. No teor de 50% de CO₂, a mortalidade das larvas foi de 94,56%, 91,76% e 93,96% nas populações CM, SL e SR, respectivamente. Na dose de 60% de CO₂, a mortalidade das populações CM, SL e SR foi de 90,80%, 95,72% e 95,84% respectivamente (Tabela 4). Santos (1995), em pesquisa realizada com larvas de terceiro estágio de *Sitophilus zeamais*, obteve 100% de mortalidade somente com a concentração de 60% de CO₂.

Período de exposição de dez dias: houve uma redução no número de insetos sobreviventes nas concentrações de 50% e 60% de CO₂ nas larvas de terceiro ínstar das três populações testadas. Na concentração de 30%, a mortalidade foi de 63,93%, 54,21% e 59,87% nas populações CM, SL e SR, respectivamente. No teor 60% CO₂, a mortalidade atingiu 99,20%, 99,52% e 99,04% nas larvas das populações CM, SL e SR, respectivamente

(Tabela 4). Os resultados obtidos nos teores 30 e 40% de CO₂ concordam com os obtidos por Santos (1995) com larvas de terceiro estágio de *Sitophilus zeamais*.

Período de exposição de 15 dias: o controle efetivo com 100% de mortalidade das larvas de terceiro estágio de três populações de *Rhyzopertha dominica* só ocorreu quando os teores de CO₂ foram iguais ou superiores a 40% (Tabela 4). A dosagem de 30% apresentou mortalidade das larvas das populações SL e SR com os valores percentuais de 99,66% e 94,70%, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Santos (1995) com larvas de terceiro estágio de *Sitophilus zeamais*, utilizando atmosfera controlada com a composição de ar sintético e dióxido de carbono.

Ação do dióxido de carbono sobre as larvas de quarto ínstar

Período de exposição de cinco dias: a eficiência no controle de larvas de quarto ínstar de *R. dominica* foi baixo, ou seja, apresentou um grande número de larvas sobreviventes nas três populações avaliadas (CM, SL e SR). O teor de 30% de CO₂ apresentou a menor taxa de mortalidade nas larvas da população CM, com um valor percentual de 35,45%. As larvas da população SL apresentaram um índice de mortalidade de 52,93%, e quanto às larvas da população SR, este valor atingiu 46,36%. Essa fase é caracterizada por uma redução da atividade

TABELA 4. Eficiência de atmosfera controlada com CO₂ em larvas de terceiro ínstar de *Rhyzopertha dominica* das populações originadas de Campo Mourão, PR (CM), Sete Lagoas, MG (SL) e Santa Rosa, RS (SR) nos períodos de 5 dias, 10 dias e 15 dias de exposição¹.

Teor de CO ₂ (%)	Eficiência de controle (%) ²								
	5 dias			10 dias			15 dias		
	CM	SL	SR	CM	SL	SR	CM	SL	SR
0	0,00C	0,00B	0,00C	0,00D	0,00C	0,00C	0B	0,00B	0,00B
30	64,45Ba	79,18Aa	38,72Bb	63,93Ca	54,21Ba	59,87Ba	100A	99,66A	94,70A
40	98,48Aa	93,10Aa	93,79Aa	80,98BCa	87,69Aa	88,63Aa	100A	100,00A	100,00A
50	94,56Aa	91,76Aa	93,96Aa	95,23ABa	99,52Aa	98,57Aa	100A	100,00A	100,00A
60	90,80Aa	95,72Aa	95,84Aa	99,20Aa	99,52Aa	99,04Aa	100A	100,00A	100,00A

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² EF (%) = ((nº de insetos sobreviventes na testemunha - nº de insetos sobreviventes no tratamento)/nº de insetos sobreviventes na testemunha) x 100.

metabólica do inseto, e isto resulta no maior índice de sobrevivência dos insetos. O teor de 40% de CO₂ apresentou os seguintes valores de mortalidade para as populações CM, SL e SR: 52,03%; 56,74% e 55,15%, respectivamente. Notou-se aumento da taxa de mortalidade quando foram comparados os resultados do teor de 30% de dióxido de carbono (Tabela 5).

A taxa de mortalidade de larvas submetidas ao teor de 50% CO₂, nas três populações estudadas, foi, respectivamente, 57,12%, 79,03% e 74,24% em larvas das populações CM, SL e SR. Verificou-se que a população CM foi a mais tolerante a esta concentração. O teor de 60% de CO₂ também apresentou elevado número de sobreviventes nas três populações estudadas. Os valores percentuais de mortalidade das larvas foram 61,30% para larvas da população CM; 84,46% para larvas da população SL e 81,88% para larvas da população SR (Tabela 5). Em trabalho realizado por Santos (1995) com larvas do quarto estágio de *S. zeamais*, os resultados obtidos são semelhantes, porém a mortalidade do *S. zeamais* foi ligeiramente maior do que a do *R. dominica*. O dióxido de carbono não é recomendado quando o período de exposição requerer menos de 15 dias, caso exista a possibilidade de danos a germinação de sementes e onde houver relato de ocorrência de *Trogoderma granarium* Everts (Annis & Graver, 1990).

Período de exposição de dez dias: o expurgo realizado com diferentes concentrações de dióxido de

carbono registrou larvas sobreviventes nas três populações estudadas, para o teor de 30% de CO₂, a mortalidade de larvas foi 52,13% para a população CM; 45,83% para a população SL e 55,36% para a população SR. O teor 40% de CO₂ apresentou queda no número de insetos sobreviventes nas larvas das três populações, com um percentual de 91,99% de mortalidade para CM, 75,57% para SL e 82,14% para SR. Os teores 50 e 60% de CO₂ apresentaram maior índice de mortalidade com 94,61% e 95,38% na população CM; 94,36% e 96,07% nos insetos SL e 96,91% e 97,28% nos insetos SR, respectivamente (Tabela 5).

Período de exposição de quinze dias: confirmando os resultados obtidos com outras fases de *R. dominica*, esta situação foi a que apresentou melhores resultados no controle de larvas de quarto ínstar da broca-pequena-do-grão. O teor de 30% de CO₂ promoveu 98,60% de mortalidade na população CM, 94,28% na população SL e 95,53% na SR. O teor de 40% de CO₂ atingiu 99,40% de mortalidade da população CM, 99,50% na população SL e 100% na população SR (Tabela 5).

Nos demais níveis de CO₂ houve 100% de mortalidade das larvas das três populações estudadas (Tabela 5). Isto reafirma a importância da recomendação dada por Annis & Graver (1990), onde destaca-se a viabilidade do uso do dióxido de carbono para o controle de pragas de grãos armazenados quando o período de exposição for igual ou superior a 15 dias.

TABELA 5. Eficiência de atmosfera controlada com CO₂ em larvas de quarto ínstar de *Rhyzopertha dominica* das populações originadas de Campo Mourão, PR (CM), Sete Lagoas, MG (SL) e Santa Rosa, RS (SR) nos períodos de 5 dias, 10 dias e 15 dias de exposição¹.

Teor de CO ₂	Eficiência de controle (%) ²								
	5 dias			10 dias			15 dias		
	CM	SL	SR	CM	SL	SR	CM	SL	SR
0	0,00C	0,00C	0,00C	0,00C	0,00D	0,00C	0,00B	0,00B	0,00B
30	35,45Bb	52,93Ba	46,36Bab	52,13Ba	45,83Ca	55,36Ba	98,60A	94,28A	95,53A
40	52,03ABa	56,74Ba	55,15Ba	91,99Aa	75,57Bb	82,14Aab	99,40A	99,50A	100,00A
50	57,12Ab	79,03Aa	74,24Aa	94,61Aa	94,36Aa	97,28Aa	100,00A	100,00A	100,00A
60	61,30Ab	84,46Aa	81,88Aa	95,38Aa	96,07Aa	96,91Aa	100,00A	100,00A	100,00A

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² EF (%) = ((n^o de insetos sobreviventes na testemunha - n^o de insetos sobreviventes no tratamento)/n^o de insetos sobreviventes na testemunha) x 100.

Ação do dióxido de carbono sobre as pupas

Período de cinco dias de exposição: esta fase é caracterizada por uma menor atividade metabólica do inseto. A mortalidade de pupas da população CM foi de 90,98% para uma concentração de CO₂ de 30%; atingiu 94,84% para um teor de 40% de CO₂; teve uma pequena elevação para 96,15% quando utilizou-se 50% de CO₂ e atingiu o maior valor 98,10% para um teor de CO₂ de 60% (Tabela 6).

Nas pupas da população SL, os valores percentuais de mortalidade foram de 91,30%, 95,39%, 96,61% e 95,81% nos teores de 30%, 40%, 50% e 60%, respectivamente. As pupas da população SR apresentaram os maiores percentuais de mortalidade, com os seguintes valores: 96,72% para o teor de 30% de CO₂; 96,78% para o nível de 40% de CO₂; 96,62% para a concentração de 50% de CO₂ e 98,88% para o teor de 60% de CO₂ (Tabela 6).

Período de exposição de dez dias: como mostra a Tabela 6, os resultados foram melhores que os obtidos com cinco dias de exposição. O teor 30% de CO₂ apresentou valores de mortalidade das pupas de 99,05%, 96,65% e 100% nas populações CM, SL e SR, respectivamente. No teor de 40% de CO₂ a mortalidade chegou a 99,81%, 95,37% e 99,25% nas populações CM, SL e SR, respectivamente. Na concentração de 50% de dióxido de carbono, a mortalidade atingiu 99,62%, 98,83% e 100% para populações CM, SL e SR, respectivamente. O teor de 60% de CO₂ apresentou os seguintes percentuais

de mortalidade: 100%, 97,26% e 99,61% nas populações CM, SL e SR, respectivamente.

Período de exposição de 15 dias: todos os teores de CO₂ utilizados atingiram 100% de mortalidade (Tabela 6) das pupas da população SR. Nas pupas da população CM, apenas os teores de 30% e 50% de CO₂ apresentaram, ambos, 98,14% de mortalidade; os demais teores atingiram 100% de mortalidade. Nas pupas da população SL, os teores de 30 e 40% apresentaram, ambos, 98,57% de mortalidade, e os demais teores de dióxido de carbono utilizados apresentaram 100% de mortalidade (Tabela 6).

Santos (1995), em pesquisa realizada com pupas de *S. zeamais*, obteve 100% de mortalidade nas concentrações de 40%, 50% e 60% de CO₂. Nas concentrações menores de CO₂ (20% e 30%), houve sobreviventes. Adler (1994), em pesquisa realizada com pupas de *S. granarius*, demonstrou que atmosferas contendo dióxido de carbono nas concentrações de 20% a 89%, reduzem mais rapidamente a produção de energia glicolítica que as atmosferas contendo somente nitrogênio.

Ação do dióxido de carbono sobre os adultos

Em face da sua alta taxa metabólica, e, conseqüentemente, elevada taxa respiratória, os adultos das três populações estudadas, isto é, CM, SL e SR, apresentaram 100% de mortalidade em todos os níveis de CO₂ utilizados nos três períodos de exposição.

TABELA 6. Eficiência de atmosfera controlada com CO₂ em pupas de *Rhyzopertha dominica* das populações originadas de Campo Mourão, PR (CM), Sete Lagoas, MG (SL) e Santa Rosa, RS (SR) nos períodos de 5 dias, 10 dias e 15 dias de exposição¹.

Teor de CO ₂ (%)	Eficiência de controle (%) ²								
	5 dias			10 dias			15 dias		
	CM	SL	SR	CM	SL	SR	CM	SL	SR
0	0,00B	0,00B	0,00B	0,00B	0,00B	0,00B	0,00B	0,00B	0,00B
30	90,98A	91,30A	96,72A	99,05A	96,65A	100,00A	98,14A	98,57A	100,00A
40	94,84A	95,39A	96,78A	99,81A	95,37A	99,25A	100,00A	98,57A	100,00A
50	96,15A	96,61A	96,62A	99,62A	98,83A	100,00A	98,14A	100,00A	100,00A
60	98,10A	95,81A	98,88A	100,00A	97,26A	99,61A	100,00A	100,00A	100,00A

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² EF (%) = ((nº de insetos sobreviventes na testemunha - nº de insetos sobreviventes no tratamento)/nº de insetos sobreviventes na testemunha) x 100.

CONCLUSÕES

1. A atmosfera controlada com CO₂ e N₂ controla eficientemente a infestação de *Rhyzopertha dominica* em trigo armazenado em instalações com boa hermeticidade e monitoramento constante para que seja mantida a recomendação dos gases no nível estabelecido, mostrando-se como uma alternativa aos fumigantes tradicionais, como brometo de metila e a fosfina.

2. A dosagem de dióxido de carbono no tratamento de trigo armazenado é recomendada em níveis de 50% e 60% e durante um período de exposição de pelo menos 15 dias, a fim de obter 100% de mortalidade de todas as fases do *Rhyzopertha dominica*.

3. Diferentes populações de *Rhyzopertha dominica* não apresentam diferenças significativas entre si, embora os insetos procedentes de Santa Rosa, RS, se apresentam mais suscetíveis ao expurgo com dióxido de carbono.

4. Entre as fases de desenvolvimento do inseto têm-se as larvas de quarto ínstar como as mais resistentes seguida pelas pupas; a fase adulta seguida das larvas de primeiro ínstar mostram-se como as mais suscetíveis.

REFERÊNCIAS

- ADLER, C. Carbon dioxide - more rapidly impairing the glycolytic energy production than nitrogen? In: INTERNACIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED-PRODUCT PROTECTION, 6., 1994, Canberra. **Proceedings**. Canberra : CAB International, 1994. p.7-15.
- ADLER, C. Vertical dispersion of adult *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) in a wheat column flushed with modified atmospheres. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.28, n.3, p.201-209, 1992.
- ANNIS, P.C.; GRAVER, J. van S. **Suggested recommendations for the fumigation of grain in ASEAN region**. Part 2. Carbon dioxide fumigation of bag-stacks sealed in plastic enclosures: an operations handbook. Kuala Lumpur : ASEAN Food Handling Bureau, 1990. 58p.
- CALIL, A.C.P. **Efeito de doses de fosfina e períodos de exposição, na mortalidade de formas adultas e imaturas de *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae), em trigo**. Viçosa, MG : UFV, 1995. 67p. Tese de Doutorado.
- LEONG, E.C.W.; HO, S.H. Effects of carbon dioxide on the mortality of *Lioscelis bostrychophila* Bad. and *Liposcelis entomophila* End. (Psocoptera: Liposcelididae). **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.31, n.3, p.185-190, 1995.
- MBATA, G.N.; REICHMUTH, C. The comparative effectiveness of different modified atmospheres for the disinfestation of Bambarra Groundnuts, *Vigna subterranea* (L.) Verde, infested by *Callosobruchus subinnotatus* (Pic) (Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.32, n.1, p.45-51, 1996.
- MITCHAM, E.J.; ZHOU, S.; BIKOBA, V. Controlled atmospheres for quarantine control of three pests of table grape. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.90, n.5, p.1360-1370, 1997.
- PROZELL, S.; REICHMUTH, C. Response of granary weevil *Sitophilus granarius* (L.) (Col.: Curculionidae) to controlled atmospheres under high pressure. In: INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED-PRODUCT PROTECTION, 5., 1990, Bordeaux. **Proceedings**. Bordeaux : [s.n.], 1990. p.911-921.
- SANTOS, D.S. **Viabilização de atmosfera modificada pelo CO₂ na manutenção das qualidades do milho (*Zea mays* L.) durante o armazenamento**. Lavras : UFLA, 1995. 72p. Tese de Mestrado.
- SANTOS, J.P. Perdas causadas por insetos de grãos armazenados. In: SIMPÓSIO DE PROTEÇÃO DE GRÃOS ARMAZENADOS, 1993, Passo Fundo. **Anais**. Passo Fundo : Embrapa-CNPT, 1993. p.9-22.
- SARTORI, M.R.; PACHECO, I.A.; VILAR, R.M.G. Resistance to phosphine in stored grain insects in Brazil. II. In: INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED-PRODUCT PROTECTION, 5., 1990, Bordeaux. **Proceedings**. Bordeaux : [s.n.], 1990. p.1041-1049.
- 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 of Economic Entomology**, New York, v.84, n.6, p.1933-1942, 1991.