

ANA PAULA RAMOS DE ALMEIDA E SILVA

**VIABILIDADES TÉCNICA E ECONÔMICA DE ATMOSFERA COM 5% DE
CO₂ E 1 g m⁻³ DE PH₃ PARA CONTROLE DE *Tribolium castaneum*
EM DIFERENTES TEMPERATURAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2001

ANA PAULA RAMOS DE ALMEIDA E SILVA

**VIABILIDADES TÉCNICA E ECONÔMICA DE ATMOSFERA COM 5% DE
CO₂ E 1 g m⁻³ DE PH₃ PARA CONTROLE DE *Tribolium castaneum*
EM DIFERENTES TEMPERATURAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de março de 2001

Prof. Juarez de Sousa e Silva

Prof. Pedro Amorim Berbert

Prof. Raul Narciso Carvalho Guedes
(Conselheiro)

Prof. Aziz Galvão da Silva Júnior
(Conselheiro)

Prof. Lêda Rita D'Antonino Faroni
(Orientadora)

A Deus.

A meus queridos pais,

Carlos Augusto e Ana Maria.

A meus eternos avós,

Paulo e Maria Helena,

Manoel Ignácio (*in memoriam*), Hebe e Vera.

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre me apoiou e me deu estrutura para seguir minha jornada, especialmente meus pais, avós e irmãos, Carlos Augusto e Ana Carolina.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola e demais departamentos e setores desta Universidade, que tomaram possível o desenvolvimento deste trabalho.

Ao pessoal do Setor de Armazenamento: Silas, Catitú, José Eustáquio, Inhame, Zé Baixinho e Edson; aos estagiários e bolsistas Werner, Marco Aurélio, André, Emandes e Lílian, pela imprescindível ajuda.

Aos colegas de curso Wederson, Edivan, José Roberto, Carlos, Adriano, Ednilton, Isnard, Flávio, Izabel, Solenir, Adriana, Ivano, Cláudia e Cristiane.

À grande amiga Rose e à professora Terezinha Della Lucia que foram importantíssimas em meu despertar para o conhecimento científico.

Aos amigos destes nove anos em Viçosa, que, como se diz por aqui, passam a ser nossa família. Em especial à Renata, companheira de república, que, além de ajudar nos momentos mais difíceis, colaborou no extermínio de algumas pupas de minha criação. Seria necessária uma nova tese para explicitar os nomes de tantos amigos.

A Oswaldo, Linda, Soraya, Frederico e Margareth Nogueira, pelo apoio, pela amizade e tão calorosa acolhida.

À família Pires Gonçalves, Sr. João, Dona Adriana, filhos e netos, que sempre me acolheram tão bem.

À Empresa White Martins Gases Industriais S.A., nas pessoas de Erleison Reis e Lílian Guerreiro, por todo o apoio recebido desde o início do trabalho, incluindo fornecimento de material, confecção de relatórios e discussão de metodologia.

Ao convênio FAPEMIG/FIEMG, pela concessão da bolsa, tomando possível meu estudo de mestrado.

À empresa Moinhos Vera Cruz S.A., nas pessoas de Anderson, Hellen, Cláucia e Maria Teresa, que sempre foram muito atenciosos e prestativos.

À minha orientadora, Prof. Lêda Rita Faroni, por toda a ajuda, pelo companheirismo e pela amizade.

Ao professor Rolf Puschmann e toda a equipe de seu laboratório Rodrigo, Bené e Marcelo, pela ajuda na discussão de metodologias de meu trabalho, bem como pelo empréstimo de material.

Ao professor Carlos Magno, cuja presteza, amizade e dedicação me possibilitaram terminar as correções deste trabalho.

Aos professores Raul Narciso (DBA), Delly Oliveira e Carlos Magno (DEA), Maurinho dos Santos e Aziz Galvão (DER) e Paulo (UFOP), exemplos que enriquecem a vida de quem com eles convive.

BIOGRAFIA

Ana Paula Ramos de Almeida e Silva, filha de Ana Maria Ramos de Almeida e Silva e Carlos Augusto de Almeida e Silva, nasceu na cidade do Rio de Janeiro, no dia 5 de fevereiro de 1975.

Em abril de 1992, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, obtendo, então, dois títulos nesta Instituição: Zootecnista em dezembro de 1997, e Engenheira-Agrônoma em agosto de 1998.

Em março de 1999, iniciou o Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, na mesma Universidade, concentrando seus estudos na área de Armazenamento e Processamento de Produtos Vegetais, defendendo tese em 30 de março de 2001.

ÍNDICE

| | |
|---|------------|
| RESUMO..... | vi |
| ABSTRACT..... | vii |
| 1 – INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 – REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. Unidades processadoras de grãos..... | 3 |
| 2.2. <i>Tribolium castaneum</i>..... | 4 |
| 2.3. Controle de insetos-praga em unidades processadoras de grãos..... | 5 |
| 2.4. Avaliação de mortalidade..... | 11 |
| 2.5. Análise econômica..... | 11 |
| 3 – MATERIAL E MÉTODOS..... | 12 |
| 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 20 |
| 4.1. Avaliação de mortalidade..... | 20 |
| 4.2. Análise econômica..... | 23 |
| 5 – CONCLUSÕES..... | 28 |
| 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 29 |
| APÊNDICES..... | 36 |

RESUMO

SILVA, Ana Paula Ramos de Almeida e, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2001. **Viabilidades técnica e econômica de atmosfera com 5% de CO₂ e 1 g m⁻³ de PH₃ para controle de *Tribolium castaneum* em diferentes temperaturas.** Orientadora: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Conselheiros: Raul Narciso Carvalho Guedes e Aziz Galvão da Silva Júnior.

Atualmente, têm-se encontrado grandes entraves no controle de pragas em unidades armazenadoras e processadoras de grãos. A necessidade de formas de controle rápidas, de baixo custo e com menor impacto ambiental tem induzido a geração de novas tecnologias e o melhor manejo das já existentes. A futura saída do brometo de metila do mercado gera a necessidade de se estudarem tecnologias que permitam um controle efetivo de pragas de grãos armazenados em período inferior a 24 h, especialmente em unidades processadoras de grãos. O trabalho desenvolvido teve por objetivo estudar a interação da utilização de fosfina (PH₃) e dióxido de carbono (CO₂) no controle de *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) em diferentes temperaturas. Foram utilizados 40 adultos de *T. castaneum* em três repetições. Os tratamentos testados constituíram-se de uma atmosfera contendo 1 g m⁻³ de fosfina (PH₃) associada a 5% de CO₂, nas temperaturas de 20, 25, 30, 35 e 40°C. Em cada temperatura, foram avaliados cinco diferentes períodos de exposição, de acordo com os dados obtidos em testes preliminares. Os testes foram realizados em três câmaras metálicas, acondicionadas no interior de uma câmara climática, com controle de temperatura e umidade relativa. Após a avaliação de mortalidade em cada tratamento, realizou-se uma análise de próbite dos dados para determinar os tempos letais (TL) para controlar 50 e 95% da população de *T. castaneum* em cada temperatura estudada. Através de análise de regressão, obtiveram-se equações para determinar os TL₅₀ e TL₉₅ em função da temperatura. Ao utilizar-se a temperatura de 40°C, verificou-se que é possível controlar 95% da população do inseto testado em aproximadamente 23 h. De acordo com os resultados obtidos, efetuou-se uma análise da viabilidade econômica da tecnologia proposta: considerando um aquecimento da estrutura a ser tratada, a tecnologia mostrou-se viável a 40°C, em volumes superiores a 1.447 m³.

ABSTRACT

SILVA, Ana Paula Ramos de Almeida e, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March, 2001. **Technical and economical evaluation of a 5% CO₂ and 1 g m⁻³ PH₃ atmosphere on the control of *Tribolium castaneum* under different temperatures.** Adviser: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Committee members: Raul Narciso Carvalho Guedes and Aziz Galvão da Silva Júnior.

The control of stored grains and processing unities pests is going through great difficulties. The need of rapid, low cost and environmentally safe ways of controlling such pests induces the generation of new technologies and a better handling of the existing ones. The phasing out of methyl bromide is sparking the search for possible alternatives for effective pest control within a 24 hours period, especially for grain processing units. The accomplished work aimed to study the combination of phosphine (PH₃) with carbon dioxide (CO₂) in different temperatures on the control of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Forty adults of *T. castaneum* were used in three replicates, and the treatments were modified atmospheres with 1 g m⁻³ of phosphine combined with 5% of CO₂ in the temperatures of 20, 25, 30, 35 and 40°C. Five exposure periods for each temperature were used, according to results obtained in preliminary tests. The experiment was carried out in metallic chambers placed inside a climatic chamber with air temperature and relative humidity control. After the mortality evaluation of each treatment, probit analyses were carried out in order to determine the lethal times (LT) values to control 50 and 95% of *T. castaneum* population for each studied temperature. Afterwards, a regression analysis was used to obtain the equations of the LT₅₀ and LT₉₅ as a function of the temperature. For the temperature of 40°C, it was possible to control 95% of the insect population with the proposed treatment in 23.2 hours. An analysis of the economical viability was then made using the results obtained on the research, comparing the proposed technology with two other one available, an increasing of the environment temperature was also studied. In the economical analysis, the treatment of 40°C was better than the available one when the facilities to be treated are greater than 1447 m³.

1 – INTRODUÇÃO

Mudanças rápidas nas exigências do mercado demandam atenção constante e flexibilidade em todos os ramos de atividade. Na área de alimentos, a tendência é o consumo de produtos naturais, saudáveis, de baixo valor calórico, nutritivos, isentos de resíduos e de metabólitos tóxicos. Com isto, um moderno manejo de pragas em unidades armazenadoras e processadoras de grãos é composto por medidas de controle que sejam rápidas, de baixo custo e com menor impacto ambiental, induzindo, desta forma, a geração de novas tecnologias e o melhor manejo das já existentes (SARTORI, 2000).

Por ser uma técnica efetiva, de baixo custo e de fácil manejo, o controle químico tem sido mais utilizado, como a fumigação com fosfina ou brometo de metila e o uso de inseticidas residuais, que, desde os anos sessenta, tem sido a principal forma de controle de pragas de grãos armazenados, especialmente em países que armazenam grandes volumes para consumo interno e exportação.

A futura retirada do brometo de metila do mercado (por ser um agente depletor da camada de ozônio) e os custos crescentes de desenvolvimento e registro de pesticidas têm contribuído para um decréscimo no número de protetores de grãos disponíveis, uma tendência que deve continuar. Além disso, pode-se observar uma série de influências sociológicas, econômicas e biológicas que estão causando uma mudança gradual no manejo integrado de pragas (ARTHUR, 1996). As condições inadequadas de utilização da fosfina, como a falta de hermeticidade nas estruturas armazenadoras durante sua aplicação, o tempo de exposição insuficiente e as aplicações em subdosagem, parecem ter levado os insetos a desenvolverem resistência a este fumigante (CHAMP e DYTE, 1976; PRICE, 1984; TAYLOR e HALLIDAY, 1986; CHAUDHRY e PRICE, 1990; GRAVER, 1990; PACHECO et al., 1990; SARTORI et al., 1990). Dessa forma, constata-se a necessidade de aumentar as doses do produto, o tempo de exposição e, conseqüentemente, os resíduos nos grãos, chegando a níveis inaceitáveis (ANNIS, 1990). No entanto, deve-se ressaltar que estudos já demonstraram que a utilização de altas doses de fosfina pode provocar narcose nos insetos, diminuindo drasticamente sua

atividade respiratória e, por conseguinte, o efeito tóxico do gás (REICHMUTH, 1990).

Com isto, surgiu a necessidade do estudo de novas formas de controle. Atualmente, a utilização de atmosfera modificada tem sido amplamente testada em diversos países para o controle de tais pragas. O dióxido de carbono em altas concentrações é reconhecidamente tóxico aos insetos (BOND e BUCKLAND, 1979; ANNIS e MORTON, 1997). Estudos mostram que, ao se aumentar a concentração do dióxido de carbono para 5% na atmosfera, a respiração dos insetos é aumentada em cerca de 300%, podendo-se, com isto, aumentar a eficiência dos pesticidas utilizados (MUELLER, 1998).

Um grande desafio que se tem hoje é, justamente, o controle de pragas em unidades processadoras de grãos por funcionarem praticamente de forma intermitente e ser elevado o custo da hora parada para se efetuar a higienização e sanitização de tais estruturas. Uma hora parada, hoje, em um moinho de grande porte no Brasil (400-500 t de trigo moído por dia) representa um prejuízo de cerca de US\$ 370.00. Por isso, necessita-se de técnicas que permitam um controle efetivo destas pragas em um período máximo de 24 h.

Grande parte dos dados encontrados na literatura refere-se ao estudo do controle de pragas em unidades armazenadoras; há poucos trabalhos publicados sobre alternativas para esse controle em unidades processadoras de grãos.

Neste estudo, pretende-se analisar a viabilidade do emprego de atmosfera modificada, com 5% de dióxido de carbono associados a $1,0 \text{ g m}^{-3}$ de fosfina, quando as estruturas a serem tratadas estejam sem grãos, estimando os TL_{50} e TL_{95} de *Tribolium castaneum* em diferentes temperaturas, além de realizar uma análise econômica comparativa dos demais métodos de controle já existentes, de forma a verificar também a viabilidade econômica desta tecnologia.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Unidades processadoras de grãos

Os produtos processados também estão sujeitos a perdas, contudo, em unidades moageiras, o grande problema é a contaminação. Em alguns países, a simples presença de insetos em produtos processados é motivo para a sua rejeição (PEDERSEN, 1992).

As exigências no controle de qualidade de farinha de trigo apontam para índices bem reduzidos de fragmentos de insetos e a solução adotada pelos moinhos brasileiros está sendo a de rejeitar cargas de trigo com inseto. Alguns moinhos têm recusado a compra de trigo em que a presença de insetos, mesmo mortos, seja acentuada, pois as formas primárias, ovo, larva, pupa, e mesmo o adulto estão em grande quantidade na parte interna do grão. Segundo TOSHI (2000), grãos de trigo com insetos vivos não são aceitos por moinhos; parte dos insetos mortos é retirada por peneiramento e aspiração e parte entra no processo transformando-se em fragmentos de insetos.

Além das perdas quantitativas que os insetos causam aos grãos, a sua infestação altera ainda o odor e sabor natural dos grãos e seus subprodutos. Insetos vivos ou mortos, partes do corpo, como patas, asas, escamas, somadas às excreções que permanecem na massa de grãos constituem contaminantes. Essas matérias estranhas excedem, freqüentemente, os limites de tolerância, tornando os grãos ou seus subprodutos impróprios para o consumo humano ou até mesmo animal (SANTOS, 1993).

No momento do beneficiamento dos grãos, todos os resíduos da metamorfose e formas como larva, pupa e adulto podem ser fragmentados pelo processo de moagem dos grãos, aumentando, desta forma, o número de fragmentos no produto final. Os fragmentos mais típicos são oriundos das antenas e pernas, das larvas e das pupas (GOULART, 2000).

De acordo com a Portaria nº 74, de 04 de agosto de 1994, do Ministério da Saúde (BRASIL, 1994), é estabelecido o limite máximo de 75 fragmentos de insetos, ao microscópio, em 50 g de farinha de trigo, na média de três amostras, não sendo tolerada qualquer indicação de infestação viva. Já para os produtos derivados como massas alimentícias, biscoitos, produtos de panificação e de confeitaria, na média de três amostras, o limite máximo de

tolerância estabelecido é de 225 fragmentos de inseto, ao microscópio, em 225 g do produto. Esta mesma Portaria ressalta a dificuldade em se obter tal quantidade de fragmentos de insetos, em razão dos problemas que ocorrem no controle do processo de produção, transporte e armazenamento, que possibilitam o aparecimento destes fragmentos.

2.2. *Tribolium castaneum*

Existem diversas espécies do gênero *Tribolium* que causam danos a produtos armazenados. Este gênero pertence à família Tenebrionidae, da ordem Coleoptera, que é a principal responsável pelas perdas de produtos armazenados. *T. castaneum* e *T. confusum* são as espécies mais comumente encontradas em armazéns. Segundo REES (1996), essas espécies são cosmopolitas, contudo *T. castaneum* tem sido mais comum no trópico e subtropical, enquanto *T. confusum* é mais comum em regiões temperadas. São de cor castanho-avermelhada e medem de 3 a 4 mm de comprimento. Podem ser diferenciadas pela distância entre os olhos, que é estreita em *T. castaneum* e larga em *T. confusum*, quando observados ventralmente.

Adultos de *T. castaneum* (Figura 1) podem viver por muitos meses, ou até mesmo anos, em condições ideais de temperatura. O ciclo de vida pode ser completado em torno de 21 dias, em condições ótimas (35°C e 75% de umidade relativa). Seu desenvolvimento é possível em temperaturas entre 22 e 40°C; as temperaturas elevadas diminuem sua longevidade. Em condições ótimas, populações de *T. castaneum* podem aumentar a uma taxa de 70 a 100 vezes ao mês, taxa esta mais elevada do que aquela registrada para outras pragas de grãos armazenados (REES, 1996).

Os ovos de *T. castaneum* possuem forma oblonga e são esbranquiçados ou incolores, quase transparentes, cobertos por um fluido pegajoso, que acumula farinha ou partículas de poeira, sendo de difícil visualização. As fêmeas colocam os ovos nas sacarias ou nos alimentos que infestam. Em condições favoráveis podem colocar de 400 a mais de 1.000 ovos, com uma frequência de seis a doze por dia, durante vários meses.

Insetos de *T. castaneum* são classificados como pragas secundárias por serem incapazes de romper o tegumento dos grãos; contudo são pragas-chave especialmente em unidades processadoras de grãos e em unidades

armazenadoras, geralmente associadas a pragas primárias (MERCH e GOMES, 1982).



Figura 1 – Adultos de *Tribolium castaneum* em grãos de milho.

2.3. Controle de insetos-praga em unidades processadoras de grãos

Segundo LORINI (2000), os processos de higienização e limpeza das instalações são medidas preventivas importantes na conservação de grãos, sendo as de mais simples execução e de menor custo. Estes processos consistem da eliminação de todos os resíduos das instalações que receberão o produto, incluindo corredores, passarelas, túneis, elevadores, moegas, etc. Estes locais devem ser varridos, eliminando-se os resíduos de grãos e de pó. Em seguida, devem-se aplicar produtos químicos de forma a eliminar os insetos dos equipamentos e das instalações.

Atualmente, no Brasil, o controle de pragas em unidades moageiras se faz por meio da contratação de empresas especializadas, que realizam um programa de desinsetização e desratificação nas áreas internas e externas, fazendo, geralmente uma desinfecção mensal e um monitoramento quinzenal.

2.3.1. Fosfina

A fumigação ou expurgo é uma técnica empregada para eliminar qualquer infestação de pragas nos grãos, mediante o uso de gás. Esta deve ser realizada sempre que houver infestação, seja em produto recém-colhido infestado no campo, seja em infestação no armazém. Este processo pode ser realizado nos mais diferentes locais, desde que se realize uma vedação do produto a ser expurgado e se obedecem às normas dos fumigantes em uso.

A fosfina age na cadeia respiratória dos insetos, sendo a inibição respiratória o sintoma primário do seu envenenamento (PRICE, 1980a). Segundo ETO (1990), a fosfina inibe a enzima citocromo oxidase em sua forma oxidada, diferentemente do monóxido de carbono, que age sobre a forma reduzida desta. O efeito da fosfina sobre os insetos varia de acordo com a sua concentração. Em elevadas concentrações, o gás PH_3 causa um efeito narcótico nos insetos pelo decréscimo do consumo de oxigênio, assim a mitocôndria atinge o estágio quatro da respiração e a citocromo oxidase é reduzida, tornando-se insensível à fosfina. Entretanto, quando em baixas concentrações, a fosfina não tem um efeito narcótico sobre os insetos, mantendo o sítio-alvo sensível à fosfina e a mitocôndria no estágio três da respiração, ou seja, com a citocromo oxidase em seu estado oxidado. A fosfina mostrou ser inibidora de mitocôndria de insetos e de mamíferos (NAKAKITA, 1976; PRICE, 1980b).

BELL (1992), ao estudar as relações entre período de exposição, concentração de fosfina e temperatura sobre a diapausa de larvas de *Ephestia elutella*, observou que maiores concentrações de fosfina aumentaram a tolerância dos insetos estudados. O autor chegou a esta conclusão devido à variação da dose necessária para controlar 99% da população concomitantemente com o aumento do período de exposição (TL_{99}) de larvas em diapausa nas diferentes temperaturas estudadas, sendo $0,9 - 2,1 \text{ mg L}^{-1}$ a 25°C , $0,7 - 2,3 \text{ mg L}^{-1}$ a 20°C , e $0,1 - 1,5 \text{ mg L}^{-1}$ a 15°C . Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores estudando outras espécies (NAKAKITA et al., 1974; PRICE, 1980; WINKS, 1984). Este efeito é descrito como uma forma de narcose. Contudo, um novo fato foi apresentado por BELL (1992): o de que a amplitude de tais concentrações varia grandemente de acordo com a temperatura do tratamento.

Segundo PRICE e MILLS (1988), há grande variabilidade na tolerância à fosfina pelos insetos imaturos. Insetos em estágios imaturos, principalmente ovos e pupas, são mais tolerantes que os adultos, tanto em populações susceptíveis quanto em populações resistentes a fosfina. Contudo, COELHO et al. (2000), trabalhando com diferentes concentrações de fosfina (0,25; 0,50; 0,75 g m⁻³), associadas a 100% de CO₂ a 28°C, constataram que, com o aumento na concentração de fosfina, ocorreu uma variação na tolerância das fases; neste trabalho, a fase adulta passou a ser a mais tolerante em concentrações de fosfina acima de 0,43 g m⁻³.

O grau de toxicidade da fosfina é influenciado principalmente por dois fatores: a temperatura, que influencia o processo metabólico dos insetos nos diferentes estágios de desenvolvimento durante a fumigação, e a necessidade de um período inicial relativamente longo para que o efeito tóxico possa ser registrado (BELL, 1986).

2.3.2. Atmosfera modificada

Na segunda metade do século passado, observaram-se o surgimento e o declínio de diversos inseticidas para o controle de pragas. A utilização de organofosforados, carbamatos, piretrinas e piretróides parecia ser a solução para a produção de plantas e proteção de seus produtos contra a infestação por insetos. Contudo, os insetos logo se tornaram resistentes à maior parte destes inseticidas, reduzindo a vida útil destes compostos. Devido a problemas ambientais e de segurança, há um interesse em se explorarem alternativas para o uso desses inseticidas convencionais, que sejam seguras e que não sejam maléficas ao ambiente. Dentre as diversas técnicas que estão sendo estudadas (reguladores de crescimento de insetos, pós-inertes, repelentes, temperaturas extremas, agentes biológicos, etc.), a de atmosfera modificada e, ou, controlada tem recebido atenção especial (ADLER et al., 2000).

Segundo Calderon e Barkai-Golan (1990), citados por WHITE e LEESCH (1995), atmosferas modificadas possuem diversas vantagens, principalmente a de ser uma forma de eliminar os insetos de estruturas de armazenamento sem poluir a atmosfera, de modo mais seguro que os fumigantes tradicionais, como o brometo de metila.

2.3.2.1. Dióxido de carbono

Diversos trabalhos têm avaliado o efeito do dióxido de carbono sobre as pragas de grãos armazenados. Contudo, a maior parte estuda a interação deste gás com outros gases, como o nitrogênio, ou com a redução do oxigênio do ambiente, ou, na maioria das vezes, em concentrações muito elevadas. Os dados na literatura são bastante contraditórios no que se refere ao sinergismo entre os diferentes fumigantes e a seus efeitos sobre a tolerância das diferentes fases dos insetos.

DESMARCHELIER e WOHLGEMUTH (1984) concluíram que o aumento na concentração de CO₂ em até 25% reduz o TL₉₉ quando combinado com 50 mL L⁻¹ de PH₃ a 19°C e 70% U.R.

Segundo REN et al. (1994), a adição de 15 a 35% de CO₂ no tratamento com fosfina melhora o efeito desta. Para CL₉₉ e 0,1 mg L⁻¹ de PH₃, a concentração ideal de CO₂ foi de 20%.

ANNIS e MORTON (1997), avaliando o efeito de diferentes níveis de CO₂ (15 a 100%) sobre *Sitophilus oryzae*, concluíram que a taxa de mortalidade em relação à concentração de CO₂ não é monotônica, estando envolvidas, pelo menos, três relações: a toxicidade do CO₂ (aumento da mortalidade com o aumento da concentração de CO₂), toxicidade da anoxia (aumento da mortalidade com a diminuição da concentração de O₂) e antagonismo entre a baixa concentração de oxigênio e a toxicidade do CO₂ (diminuindo a mortalidade com o aumento da concentração de CO₂). Esses autores afirmaram ainda que a concentração mínima para uma completa desinfestação deve ser inferior a 40% de CO₂, contudo superior a 20%. Trabalhando com duas espécies de *Ephestia*, BELL (1984) concluiu que o CO₂ pode ser mais tóxico quando na presença de O₂, apesar de ainda serem necessárias melhores explicações a respeito de tal efeito.

ATHIÉ et al. (1998), trabalhando com uma mistura de fosfina e dióxido de carbono (10 e 20%) no controle de *Rhyzopertha dominica* e *S. oryzae*, concluíram que a associação de dióxido de carbono à fosfina aumentou a mortalidade das espécies estudadas. Os autores concluíram que, devido ao problema de resistência à fosfina e à falta de alternativas viáveis como métodos de controle, misturas de fosfina e dióxido de carbono podem ser úteis.

2.3.3. Temperatura

Altas e baixas temperaturas há muito têm sido usadas tanto para desinfestar grãos quanto para protegê-los de infestações. Sob temperaturas extremamente altas ou baixas, os insetos-praga de grãos armazenados morrem. Temperaturas moderadamente elevadas e baixas são menos letais e podem prevenir o crescimento da população de insetos em grãos armazenados (BURKS et al., 2000).

Segundo BANKS e FIELDS (1995), a redução da temperatura de 20 para 14°C diminui o crescimento da população da maioria dos insetos-praga de produtos armazenados. Já temperaturas inferiores a 14°C causam morte, especialmente dos insetos imaturos, e o tempo de mortalidade diminui de acordo com o decréscimo na temperatura. Temperaturas elevadas (40-65°C) também são letais para os insetos-praga de produtos armazenados. Esses autores concluíram que a exposição dos insetos a 5°C acima da temperatura ótima faz com que o seu desenvolvimento seja interrompido e temperatura de 50°C causa a mortalidade de 100% de *T. castaneum* em todas as fases (ovo, larva, pupa e adulto) em 155 s.

Já existe na Alemanha uma tecnologia patenteada para controle térmico de unidades processadoras de grãos, chamada ThermoNox®. O fabricante recomenda o uso de seu produto para o controle de insetos em todas as fases de desenvolvimento em padarias, indústrias de alimento, fábricas de ração, etc. O equipamento em questão é composto por um ventilador axial de 0,75 kW, duas resistências de 9 kW cada e um termostato para a manutenção da temperatura desejada. Os tratamentos são feitos elevando-se a temperatura ambiente até 50-55°C, por 24 a 50 h, dependendo da situação. Cada equipamento deste é utilizado a cada 400-600 m³ de volume a ser tratado, dependendo das características locais (vedação, temperatura ambiente, material de isolamento, etc.); o custo aproximado deste equipamento, na Europa, é de U\$ 3,500.00 (HOFMEIR, 2001).

2.3.4. Dióxido de carbono e fosfina em diferentes temperaturas

MUELLER (1994) utilizou a combinação de baixos níveis de fosfina (aproximadamente 0,23 g m⁻³, quando a dose mínima recomendada é de

1,0 g m⁻³ (COMPÊNDIO..., 1996)), temperatura na faixa de 32 a 37°C e baixos níveis de CO₂ (4 a 6%). O controle eficaz das diversas espécies de praga foi obtido depois de 24 h de exposição, em suas diferentes fases de desenvolvimento. Segundo esse autor, a associação de atmosferas ricas em dióxido de carbono e fosfina, em temperaturas elevadas, causa um grande estresse nos insetos, permitindo, assim, que baixas concentrações de fosfina sejam mais eficientes em período de exposição menor do que a dosagem normalmente recomendada.

Segundo ADLER et al. (2000), a combinação de atmosfera modificada com redução na concentração de O₂ e temperatura em torno de 40°C, por 48 h, pode ser utilizada para desinfestação de estruturas vazias. Contudo, o custo para elevar a temperatura quando as estruturas estiverem com grãos pode ser muito alto, além da secagem excessiva dos grãos sob temperaturas elevadas. No entanto, esta combinação pode ser útil quando o calor não danificar equipamentos sensíveis em unidades processadoras de grãos, ou onde o calor associado à fosfina seja inaceitável.

CHAUDRY (1997) relata que, como outros fumigantes, a toxicidade da fosfina nos insetos aumenta com a elevação da temperatura, dentro da variação de temperatura normal do ambiente, provavelmente devido a um aumento geral na taxa metabólica e conseqüentemente no consumo de oxigênio, que estimula a ação da fosfina.

Além dos efeitos já mencionados, a mistura com dióxido de carbono e a elevação da temperatura ambiente também promovem melhor dispersão do gás fosfina (MONRO, 1970; PRICE e MILLS, 1988).

2.4. Avaliação de Mortalidade

Em testes de pesticidas, os pontos ao longo de uma linha de regressão são aqueles que, para dada concentração no eixo das abscissas (eixo-x), há uma probabilidade de resposta correspondente no eixo das ordenadas (eixo-y). A dose ou concentração que corresponde à probabilidade de resposta é a DL (dose letal) ou CL (concentração letal). Por exemplo, a DL_{50} (ou CL_{50}) é a dose letal (ou concentração letal) que irá causar 50% de mortalidade. Termos análogos na literatura são DE (dose efetiva), DI_x (dose inibitória ou dose necessária para causar x% de inibição) e TL_x (tempo letal necessário para x% de mortalidade). Para a análise de qualquer bioensaio, a terminologia correta seria “estimativa da dose letal”; os termos “mensuração” e “determinação” não devem ser utilizados neste contexto (ROBERTSON et al., 1984; ROBERTSON e PREISLER, 1991).

2.5. Análise econômica

Existem poucos dados na literatura sobre os custos da utilização de atmosfera modificada e aquecimento de estruturas armazenadoras e, ou, processadoras de grãos. Contudo, a maior parte dos autores ressalta a relevância econômica e a importância da utilização de estruturas que sejam mais herméticas, de forma a facilitar e melhorar a eficiência das diferentes formas de controle de pragas de grãos armazenados (BANKS e ANNIS, 1980; JAY, 1980; LOVE, 1983; BANKS, 1984).

LOVE (1984), estudando as alternativas para a substituição de protetores químicos de grãos na Austrália, concluiu que, naquele país, as estratégias de controle como a fumigação e atmosfera modificada representaram a alternativa mais viável economicamente. O estudo ressaltou ainda que, para estruturas muito antigas e de difícil vedação, a melhor opção seria reduzir a quantidade de protetores necessários, promovendo-se a movimentação ou o resfriamento periódico dos grãos.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas, do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Utilizou-se uma câmara climática já instalada no laboratório, que possui controle de temperatura e umidade relativa do ar.

A dosagem mínima de fosfina recomendada pelos fabricantes para o controle efetivo de insetos em grãos armazenados é de $1,0 \text{ g m}^{-3}$ (COMPÊNDIO..., 1996). Sendo assim, neste experimento, utilizou-se esta dosagem mínima, combinada com uma concentração de 5% de dióxido de carbono, em cinco temperaturas (20, 25, 30, 35 e 40°C), com umidade relativa no início dos testes de $70 \pm 5\%$, para avaliar o TL_{50} e TL_{95} de *T. castaneum*.

3.1. Criação dos insetos

Para a obtenção de *T. castaneum* em número suficiente para o experimento, realizou-se uma criação contínua em câmara climática do tipo B.O.D. Para iniciar a criação, foram obtidos insetos adultos de criações de laboratório, que foram mantidos em câmara climática tipo B.O.D., em frascos de vidros contendo trigo moído.

Conhecendo-se o ciclo biológico da espécie em estudo e as condições ótimas para o seu desenvolvimento, a população foi mantida à temperatura de $28 \pm 1^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ de umidade relativa. A dieta para toda a criação foi constituída de trigo semitriturado, não-tratado, com teor de umidade em torno de 13% b.u.

3.2. Atmosfera modificada

O processo de modificação da atmosfera para o controle de insetos de grãos armazenados pode ser feito de diversas maneiras. O método primordial básico consiste no armazenamento hermético, pois a redução da concentração de O_2 e o aumento da concentração de CO_2 ocorrem devido à respiração dos insetos e microorganismos e, em menor escala, dos próprios grãos. Um outro método utilizado para modificar a composição da atmosfera consiste na injeção de gases sintéticos com a composição desejada.

Utilizou-se, neste trabalho, o gás CO₂ produzido pela empresa White Martins Gases Industriais S.A., que forneceu também todo o suporte técnico (pessoal especializado e equipamentos) para a injeção e o monitoramento da concentração do gás sintético.

Sabendo que pequenas concentrações de CO₂ aceleram a taxa respiratória dos insetos (MUELLER, 1998) e tendo em vista o surgimento recente de mecanismos de resistência dos insetos à utilização de fumigantes, optou-se por verificar o efeito de diferentes temperaturas sobre adultos de *T. castaneum* submetidos a uma atmosfera com 5% de CO₂ e 1 g m⁻³ de fosfina.

3.3. Testes preliminares

Foram realizados testes preliminares, nas mesmas condições dos ensaios definitivos, para se determinar que períodos de exposição seriam utilizados nos ensaios definitivos, de forma a obter o TL₅₀ e o TL₉₅ sob diferentes temperaturas, utilizando-se vinte adultos de *T. castaneum* em cada teste preliminar.

3.4. Câmara para simulação da desinfestação

Foram construídas três câmaras metálicas com as dimensões de 2,00 x 0,75 x 0,67 m, com volume interno total de 1 m³, utilizando-se chapa galvanizada nº 22, com 0,75 mm de espessura. Estas câmaras foram instaladas no interior da câmara climática, em posição horizontal, de forma a evitar a concentração dos gases em diferentes camadas, com controle de temperatura e umidade relativa do ar ambiente.

Para a obtenção da concentração de CO₂ desejada, um sistema para injeção e um de leitura da concentração do dióxido de carbono foram acoplados às câmaras metálicas, através de um orifício com registro de gás, de acordo com a Figura 2. Este sistema constituiu-se de um cilindro contendo gás, válvulas, conexões e tubulações. Além da abertura lateral, para manipulação dos insetos e pastilhas de fosfina, cada câmara possuía dois outros orifícios com registros externos de gás que permitiam a injeção do dióxido de carbono e o monitoramento de sua concentração no interior de cada uma.

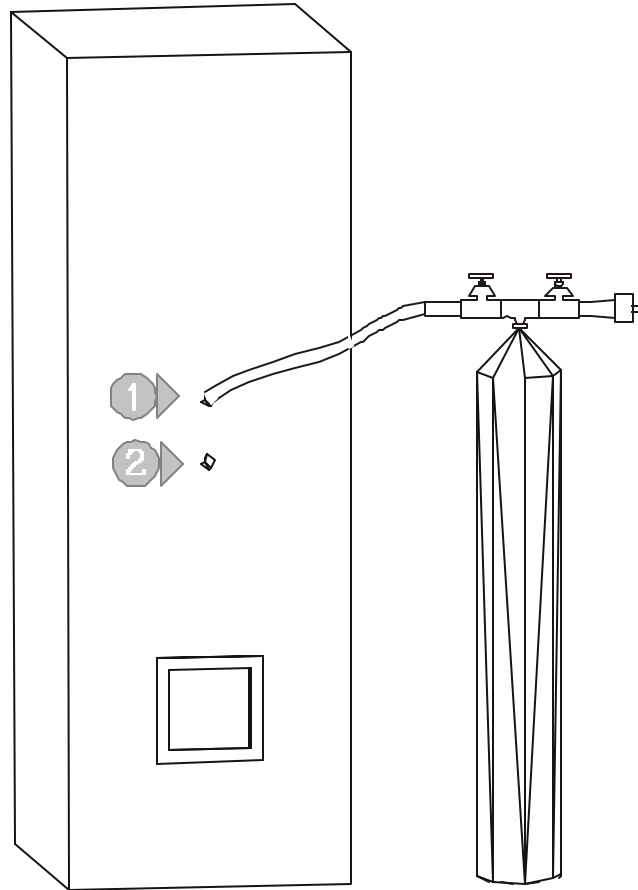


Figura 2 – Câmara utilizada nos testes (1. orifício para injeção de CO₂ e 2. orifício para monitoramento da concentração de CO₂).

3.5. Procedimento experimental

Quarenta adultos de *T. castaneum*, de um a três meses de idade, foram distribuídos em pequenos copos plásticos, cobertos por um tecido permeável de malha fina, porém resistente o suficiente para impedir fuga.

Os testes iniciavam-se assim que a temperatura no interior da câmara climática estabilizava-se; a seguir, colocava-se uma pastilha de 3 gramas de Gastoxin[®] em cada câmara metálica (cada uma representava uma repetição) e, simultaneamente, o copo plástico, coberto com tela, contendo os insetos. A abertura lateral de acesso era então fechada, utilizando-se uma tampa com juntas de borracha e parafusos.

Com a válvula de admissão aberta, iniciava-se o processo de injeção do gás, que era monitorado por um analisador de CO₂ modelo 425N, da marca NOVA Analytical Systems Inc. Quando o percentual do CO₂ atingia 5%, interrompia-se a injeção, fechando as válvulas de segurança e de admissão à câmara.

Para a comparação dos resultados, os insetos foram também submetidos a tratamento com ar atmosférico (78% de N₂, 0,03% de CO₂ e 21% de O₂), na ausência de PH₃, no maior período de exposição avaliado em cada temperatura. A fosfina, em todos os tratamentos, foi obtida a partir da reação do fosfeto de alumínio (AIP), em forma de pastilhas, com a água presente no ar atmosférico (no interior das câmaras).

3.6. Avaliação da mortalidade dos insetos

Para avaliação do efeito da fumigação sobre os insetos, após o término de cada tratamento, as amostras foram retiradas e mantidas em câmaras climáticas, em condições ótimas de desenvolvimento. Depois de 12 h, efetuava-se a contagem do número de insetos mortos.

Realizaram-se análises de próbite dos dados, utilizando-se o programa “SAS® for Windows™”, versão 6.12, para determinação do efeito dos diferentes períodos de exposição. Esse procedimento visa a identificação das condições ideais de controle dos insetos com a atmosfera modificada. Foram realizadas, ainda, análises de regressão, utilizando-se o programa “Table Curve 2D”, versão 5.0, para a obtenção das equações dos valores de TL₅₀ e TL₉₅ em função da temperatura ambiente.

3.7. Análise econômica

Foram realizados estudos da estrutura de custos da tecnologia proposta e de tecnologias disponíveis no mercado. De forma a possibilitar um efeito comparativo, realizou-se o estudo de uma situação hipotética: a desinfestação de um silo de concreto cilíndrico elevado, de, aproximadamente, 1.495 m³ (em torno de 1.000 t de trigo com massa específica de 680 kg m⁻³), em local com temperatura ambiente média de 25°C, utilizando a metodologia proposta de 40°C, por 24 h.

Realizaram-se cálculos, baseados em princípios de transferência de calor (BIRD et al., 1960; HOLMAN, 1968; INCROPERA e WITT, 1992) em regime permanente, para se determinar a quantidade de energia necessária para aquecer tal estrutura, considerando altura de 23,5 m, raio interno de 4,5 m, uma parede de concreto de 0,25 m de espessura. Considerou-se ainda todas as faces do silo livres e expostas a um ambiente cuja convecção possui um coeficiente de $15 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Segundo INCROPERA e WITT (1992), o coeficiente de convecção do ar pode variar de 2 a $25 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, por isso utilizou-se um coeficiente de convecção, no interior do silo, de $10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Inicialmente, calculou-se a energia necessária para aquecer o ar no interior do silo, através da equação:

$$q = m c_p \Delta T \quad (1)$$

em que q = energia a ser fornecida (kJ);

m = massa do ar no interior do silo (kg);

c_p = calor específico do ar em pressão constante ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$); e

ΔT = variação da temperatura do ar no interior do silo ($^\circ\text{C}$).

Sabendo que a densidade do ar (ρ) é igual a $1,058 \text{ kg m}^{-3}$ e que o calor molar específico é igual a $1,0057 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, pode-se resolver a equação (1) da seguinte forma:

$$q = \rho V c_p \Delta T$$

logo $q = 1,058 \times 1495 \times 1,0057 \times (40 - 25)$

$$q = 23.860,89 \text{ KJ}$$

Para calcular as perdas de calor do sistema, ele foi considerado em equilíbrio. Determinou-se, então, a quantidade de energia a ser fornecida ao sistema para mantê-lo a 40°C , por 24 h. O equilíbrio do sistema foi expresso através de duas equações gerais (2) e (3).

$$E_g + E_r + E_{cvi} = E_{cond}. \quad (2)$$

em que E_g = energia gerada;

E_r = energia proveniente da radiação interna;

E_{cvi} = energia proveniente da convecção interna; e

$E_{cond.}$ = energia de condução através da parede do silo.

$$E_{cond.} = E_{cve} \quad (3)$$

em que $E_{cond.}$ = energia de condução através da parede do silo; e

E_{cve} = energia proveniente da convecção externa.

A equação geral (2) também pode ser escrita da seguinte forma:

$$\phi V + \sigma \varepsilon S_i (T_{\infty 1}^4 - T_w^4) + h_{\infty 1} S_i (T_{\infty 1} - T_w) = \frac{2 k \pi H (T_w - T_e)}{\ln(R_e / R_i)} + \frac{k A_t (T_w - T_e)}{\Delta x} \quad (4)$$

em que ϕ = potência a ser fornecida (kW m^{-3});

V = volume de ar (1495 m^3);

σ = constante de Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-11} \text{ kW m}^{-2} \text{ K}^{-4}$);

ε = emissividade do concreto (0,9);

S_i = superfície interna do silo (m^2);

$T_{\infty 1}$ = temperatura no interior do silo (40°C);

T_w = temperatura da parede interna do silo ($^\circ \text{C}$);

$h_{\infty 1}$ = coeficiente de convecção interno ($0,01 \text{ kW m}^{-2} \text{ }^\circ \text{C}^{-1}$);

k = constante de condutividade do concreto ($1,37 \cdot 10^{-3} \text{ kW m}^{-1} \text{ K}^{-1}$);

T_e = temperatura da parede externa do silo ($^\circ \text{C}$);

R_e = raio externo (4,75 m);

R_i = raio interno (4,5 m);

A_t = área das tampas superior e inferior do silo (m^2); e

Δx = espessura da parede do silo (0,25 m).

sendo $S_i = 2\pi R_i H + 2\pi R_i^2$

$$S_i = 2\pi \cdot 4,75 \times 23,5 + 2\pi \cdot 4,75^2$$

$$S_i = 664,45 + 127,23 \quad 17$$

$$S_i = 791,68 \text{ m}^2$$

$$A_i = 2\pi R_i^2$$

$$A_i = 2\pi 4,5^2$$

$$A_i = 127,23 m^2$$

Já a equação geral (3) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{2k\pi H(T_w - T_e)}{\ln(R_e / R_i)} + \frac{k A_i (T_w - T_e)}{\Delta x} = h_{\infty 2} S_e (T_e - T_{\infty 2}) \quad (5)$$

em que $h_{\infty 2}$ = coeficiente de convecção ambiente ($0,015 \text{ kW m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$);

S_e = superfície externa do silo (m^2); e

$T_{\infty 2}$ = temperatura do ar ambiente (25°C).

sendo

$$S_e = 2\pi R_e H + 2\pi R_e^2$$

$$S_e = 2\pi 4,75 \times 23,5 + 2\pi 4,75^2$$

$$S_e = 701,36 + 141,76$$

$$S_e = 843,12 m^2$$

Para a análise econômica da tecnologia proposta, foram então calculados os custos fixos (resistência elétrica com sistema de termostato e ventilador para homogeneizar a temperatura no interior do silo e facilitar na dispersão dos gases), o custo de oportunidade, a depreciação e os custos variáveis do aquecimento da estrutura e os custos variáveis com o gás dióxido de carbono (CO_2) e fosfina (PH_3). Todos os custos foram levantados no início de outubro de 2001, sendo o custo de energia de R\$ 83,38 por MW.h, tarifa média para concessionárias da Região Sudeste, segundo a ANEEL (2001), além do ICMS (22%); o custo da fosfina foi levantado junto ao distribuidor de sua formulação comercial, sendo R\$ 55,00 o quilo de fosfeto de alumínio. O custo do gás carbônico foi levantado junto à White Martins Gases Industriais S.A., sendo de R\$ 42,00 o cilindro de 10 kg. Todos os dados foram transformados em custo por unidade de volume ($\text{R\$ m}^3$). Vale ressaltar que, no

caso do uso do dióxido de carbono, diversas empresas que fornecem o gás emprestam cilindros para seus usuários. Se o consumo exceder 1.000 kg por mês, o custo do gás pode ser reduzido, passando-se a utilizar tanques de gás e não cilindros.

Tentou-se obter o custo de diversas empresas que realizam desinsetização em moinhos e, ou, silos, contudo, por questões estratégicas, a maior parte destas não quis revelar tais dados. Utilizaram-se, então, dados levantados em uma destas empresas, situada na Região Sudeste, em dois tratamentos distintos. Tais dados foram levantados em março de 2001, e o primeiro consiste de um tratamento residual para 30 dias e, devido à economia de escala, com o aumento do volume, há uma diminuição do custo por unidade de volume: para silos com volume inferior a 1.000 m³, o custo é de R\$ 1,10 por m³, entre 1.000 e 2.000 m³ de R\$ 1,00 por m³ e, para volumes superiores a 2.000 m³, de R\$ 0,90 por m³. Já o segundo tratamento, do tipo fumigação, segundo a empresa, se enquadraria para o caso de desinsetizar silos sem limpeza prévia. Neste caso, o custo seria de R\$ 0,95 m⁻³ para volumes inferiores a 1.000 m³, de R\$ 0,85 por m³ para silos entre 1.000 e 2.000 m³, e de R\$ 0,75 por m³ para silos com volume superior a 2.000 m³. Os custos para ambos os tratamentos são válidos apenas para situações onde as unidades moageiras se localizem a, no máximo, 200 km da empresa prestadora do serviço, ou seja, no caso de a distância ser maior, os custos de contratar mão-de-obra terceirizada seriam maiores. Como estes custos foram levantados em março, utilizou-se o Índice Geral de Preços acumulados de março a setembro (IGP-DI) da Fundação Getúlio Vargas para se corrigir o custo dos tratamentos sugeridos pela empresa.

A proposta inicial deste trabalho foi de utilizar diversos indicadores econômicos, como, por exemplo, o tempo de retorno do capital. Contudo, para tais cálculos seriam também necessários dados de moinhos, que, igualmente, por questões estratégicas, não puderam ser fornecidos.

Após obter as curvas de custo por volume nos diferentes tratamentos, determinou-se o ponto de nivelamento entre o tratamento fumigação da empresa e a tecnologia proposta a 40°C, pois foi a única em que se conseguiu obter 95% de controle dos insetos em menos de 24 h.

Segundo BUARQUE (1991), o princípio em que se baseia o ponto de nivelamento (ponto de equilíbrio ou *break-even point*) é simples; se o projeto

visa produzir e vender uma quantidade Q de bens e obter um lucro $L = R - C$, em que R e C representam receita e custo, respectivamente; ao empresário interessa saber qual a quantidade mínima q que deve ser vendida, para que, pelo menos, não ocorram perdas. O ponto de equilíbrio é o nível mínimo de produção e de venda em que uma fábrica pode funcionar “autonomamente”, ou seja, sem perdas.

Esta quantidade mínima q também pode ser chamada de tamanho mínimo, ou seja, tamanho em que se deve optar por um ou outro projeto. Abaixo de certos níveis de produção, os custos podem ser tão elevados que a produção se torna antieconômica (WOILER e MATHIAS, 1992).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação de Mortalidade

A grande vantagem que se espera obter com a utilização da combinação dos gases dióxido de carbono e fosfina em baixas concentrações, aliados a um acréscimo na temperatura ambiente, é a redução no tempo de exposição necessário para se obter um controle eficiente dos insetos. Dessa forma, viabilizar-se-á a utilização deste método também pelas unidades moageiras que, por funcionarem continuamente, não podem ficar paradas por mais de 24 h (tempo de exposição requerido pelo controle por fumigação com brometo de metila). Além disso, o pequeno acréscimo da concentração de dióxido de carbono no ambiente já torna a utilização de atmosfera modificada com este gás mais viável economicamente do que as concentrações elevadas utilizadas em outros trabalhos.

Apresentam-se, no Quadro 1, os dados de mortalidade observados experimentalmente para as diferentes temperaturas. Os valores obtidos pelas análises de próbite a partir dos dados observados, em diferentes temperaturas, foram alocados na Figura 3.

Quadro 1 - Dados da análise de próbite das curvas apresentadas na Figura 3

| T (°C) | N | Inclinação ± erro-padrão | TL ₅₀ (IC 95%*) | TL ₉₅ (IC 95%*) | χ^2 | Prob. |
|--------|-----|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|-------|
| 20 | 600 | 1,50 ± 0,12 | 33,42 (31,02 – 35,72) | 84,36 (69,83 – 115,66) | 3,70 | 0,30 |
| 25 | 593 | 1,28 ± 0,07 | 21,00 (19,43 – 22,66) | 58,08 (48,35 – 76,10) | 3,70 | 0,30 |
| 30 | 636 | 1,66 ± 0,07 | 19,06 (18,01 – 20,17) | 38,64 (34,64 – 44,64) | 1,63 | 0,65 |
| 35 | 520 | 1,85 ± 0,17 | 16,07 (14,90 – 17,06) | 29,16 (26,87 – 32,66) | 4,97 | 0,17 |
| 40 | 517 | 2,17 ± 0,17 | 14,06 (13,40 – 14,73) | 23,16 (21,34 – 25,87) | 5,59 | 0,13 |

* IC 95% - Intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

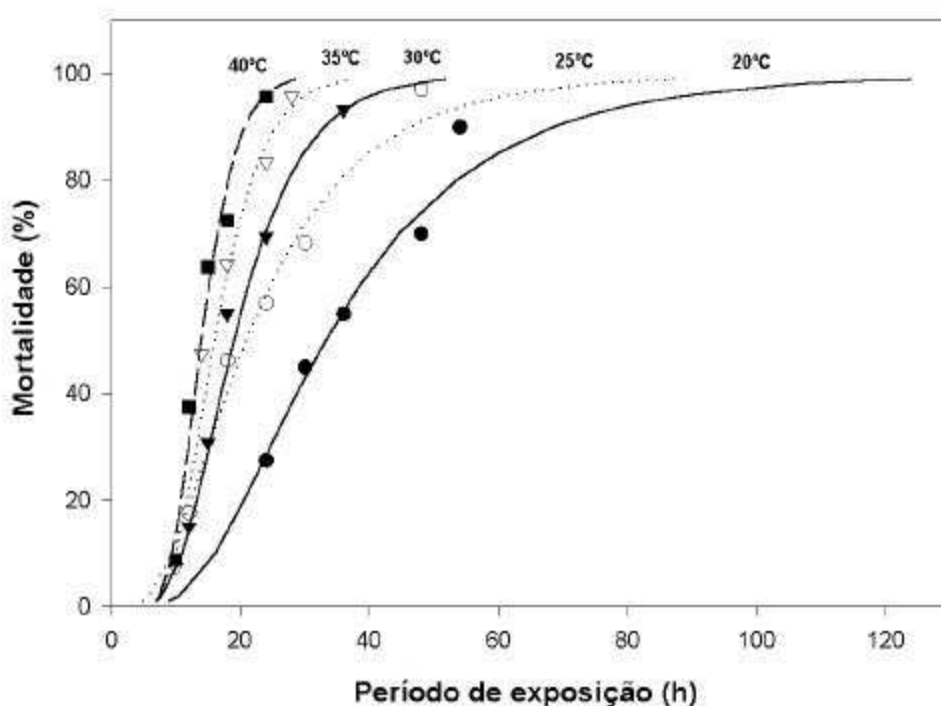


Figura 3 - Mortalidade (%) de adultos de *Tribolium castaneum* submetidos a 5% de CO₂ e 1 g m⁻³ de PH₃ em função do período de exposição (h), em diferentes temperaturas.

Como pode se observar na Figura 3, de acordo com o aumento da temperatura utilizada em combinação com o dióxido de carbono e fosfina na avaliação de mortalidade, ocorreu diminuição do período de exposição necessário para controlar a população do inseto. Contudo, o tempo necessário

para o controle de 95% dos adultos só foi inferior a 24 h no tratamento de 40°C (23,2 h); o tratamento de 35°C possibilitou um controle efetivo em 29,2 h.

Na Figura 4 são apresentados os valores obtidos dos TL₅₀ e TL₉₅ para *T. castaneum* em função das diferentes temperaturas utilizadas. Foram realizadas análises de regressão, a partir dos dados obtidos nas análises de próbite, de forma a se obterem as equações dos valores de TL₅₀ e TL₉₅. Ambas as equações obedeceram à fórmula geral: $x = a + b/x^2$.

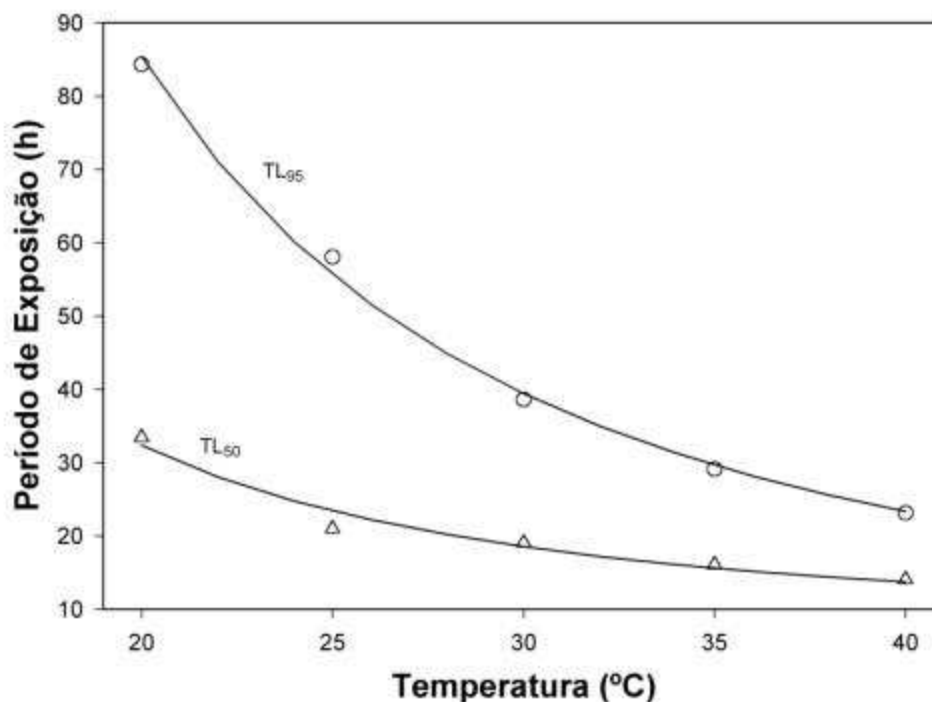


Figura 4 - TL₅₀ e TL₉₅ de *Tribolium castaneum* submetidos a 1,0 g m⁻³ de PH₃, associado a 5% de CO₂ em diferentes temperaturas (TL₅₀: $y = 7,49 + 9,94.10^3/x^2$; $g_{\text{erro}} = 3$; $F = 88,82$; $P = 2,53.10^{-3}$; $R^2 = 0,97$; TL₉₅: $y = 2,64 + 3,31.10^4/x^2$; $g_{\text{erro}} = 3$; $F = 914,10$; $P = 8,00.10^{-5}$; $R^2 = 0,99$).

O valor do TL₉₅ encontrado neste trabalho na temperatura de 30°C (38,6 h) foi inferior ao encontrado por MARTINAZZO *et al.* (2000), que, trabalhando com adultos de *R. dominica* em grãos de trigo, obtiveram um controle efetivo utilizando fumigações com 1 g m⁻³ de PH₃ e 100% de CO₂ a 29°C, por um período de exposição de 120 h. COELHO *et al.* (2000), quando trabalharam com fumigações de 0,75 g m⁻³ de PH₃ e 100% de CO₂ a 28°C no controle de adultos de *T. castaneum* em grãos de trigo, conseguiram um controle efetivo (TL₉₉) em 95 h de exposição. No mesmo estudo, quando em atmosfera ambiente com acréscimo de 1 g m⁻³ de PH₃, o período de exposição requerido para o controle efetivo dos insetos foi de 144 h.

Na temperatura de 25°C, obteve-se, neste trabalho, um TL₉₅ = 2,42 dias, semelhantemente aos resultados encontrados por PRICE e MILLS (1988), quando trabalharam com linhagens resistentes de *T. castaneum* em estágio larval, fumigados com 1,03 g m⁻³ de PH₃ a 25°C, conseguindo um controle efetivo (99 a 100%) em um período de exposição de 2 a 4 dias.

4.2. Análise Econômica

4.2.1 Custo de aquecimento

Foi feita análise econômica dos tratamentos de 35 e 40°C, considerando-se que, nesses, seria necessário o aquecimento das estruturas a serem tratadas. A 35°C considerou-se um tempo total de tratamento de 30 h e, a 40°C, de 24 h, conforme resultados obtidos neste trabalho.

No estudo do custo de aquecimento para se manter a temperatura a 40°C, por 24 h, admitiram-se a temperatura no interior do silo constante e a temperatura da parede interna igual a 39°C; através da equação (5) determinou-se a temperatura na parede externa do silo.

$$\frac{2k\pi H(T_w - T_e)}{\ln(R_e/R_i)} + \frac{kA_t(T_w - T_e)}{\Delta x} = h_{\infty 2} S_e (T_e - T_{\infty 2})$$

$$\frac{2 \times 1,37 \times 10^{-3} \pi \times 23,5 (39 - T_e)}{\ln(4,75/4,5)} + \frac{1,37 \times 10^{-3} \times 127,23 (39 - T_e)}{0,25} = 0,015 \times 843,12 \times (T_e - T_{\infty 2})$$

$$1,19(39 - T_e) + 0,70(39 - T_e) = 12,65(T_e - 25)$$

$$14,53T_e = 389,88$$

$$T_e = 26,8$$

Após a determinação da temperatura na parede externa do silo, utilizou-se a equação (4) para determinar a quantidade de energia a ser gerada para compensar as perdas do sistema.

$$\begin{aligned} \dot{Q} + \sigma \varepsilon S_i (T_{\infty 1}^4 - T_w^4) + h_{\infty 1} S_i (T_{\infty 1} - T_w) &= \frac{2k\pi H(T_w - T_e)}{\ln(R_e/R_i)} + \frac{kA_t(T_w - T_e)}{\Delta x} \\ 1495 \dot{Q} + 5,67 \times 10^{-11} \times 0,9 \times 791,68 (313^4 - 312^4) + 0,01 \times 791,68 (40 - 39) &= \\ \frac{2 \times 1,37 \times 10^{-3} \pi 23,5 (39 - 26,8)}{\ln(4,75/4,5)} + \frac{1,37 \times 10^{-3} \times 127,23 (39 - 26,8)}{0,25} &= \\ 1495 \dot{Q} = 45,65 + 8,51 - 7,92 - 4,93 &= \\ \dot{Q} = 0,028 \text{KWm}^{-3} &= \\ \dot{Q} = 41,31 \text{KWsil}^{-1} &= \end{aligned}$$

Determinou-se, então, o tipo de equipamento a ser adquirido para se elevar a temperatura no interior do silo e mantê-la pelo tempo desejado. Optou-se por uma resistência elétrica de 45 kW. Determinou-se, assim, o tempo necessário para aquecer o silo inicialmente:

$$P = E / t \quad (6)$$

sendo

$$\begin{aligned} t &= E / P \\ t &= 23.860,89 / 45 \\ t &= 530,24s \\ t &\cong 9 \text{ min} \end{aligned}$$

A energia total (E_t) requerida pelo sistema foi então calculada, somando-se a energia necessária para aquecer o ar durante todo o tempo do tratamento e a energia necessária para manter as perdas através da parede do silo.

$$\begin{aligned} E_t &= (45 \times 530,24 / 3600) + (41,31 \times 24) \\ E_t &= 6,63 + 991,24 \\ E_t &= 998,1 \text{KW.h} \end{aligned}$$

Os mesmos cálculos foram feitos para se saber o custo de manter a temperatura no interior do silo igual a 35°C, por 30 horas. Verificou-se que a energia a ser fornecida inicialmente ao sistema seria de 15.907,26 kJ e o tempo de aquecimento inicial seria de aproximadamente 11 minutos, utilizando-

se uma resistência com 25 kW de potência. A potência a ser gerada para manter as perdas do sistema seria de 15 kW m^{-3} nesta situação.

Para o tratamento a 40°C , por ser a demanda de energia de 998,1 kWh e o custo da energia de R\$ 83,38 MW por h, o custo total de energia foi de R\$ 83,22, que, acrescido do ICMS, passou a ser R\$ 101,49. Como o silo possui 1.495 m^3 , o custo de energia por m^3 é de R\$ 0,068. Já a 35°C , o custo de energia por m^3 é de R\$ 0,045.

Para o aquecimento da estrutura, fez-se um orçamento, em uma fábrica de resistências elétricas, em Belo Horizonte-MG, de baterias de resistências elétricas, sendo a primeira composta por 45 resistências de 1.000 W, com potência total de 45 kW/220 V, a R\$ 1.782,00. No tratamento de 35°C , orçou-se uma bateria de 15 resistências de 1.000 W cada, ao custo de R\$ 618,00. Para cada um destes sistemas, considerou-se ainda a necessidade de um termostato, cujo preço unitário é de R\$ 39,00.

4.2.1 Custos com CO_2 e fosfina

Através de medições experimentais, pode-se observar que são necessários aproximadamente 5 g de CO_2 para cada m^3 , para se obter a concentração desejada de 5% de CO_2 no ambiente. Como 10 kg de CO_2 custam R\$ 42,00, o custo de CO_2 é de R\$ 0,02 por m^3 .

Cada kg de fosfeto de alumínio possui 334 g de fosfina; a concentração utilizada foi de 1 g m^{-3} ; como o custo do kg de fosfeto de alumínio é de R\$ 55,00, o custo de fosfina é de R\$ 0,165 por m^3 .

4.2.2 Curvas de custo

Apresentam-se, na Figura 5, quatro curvas de custo (R\$) em função do volume (m^3) para diferentes tratamentos: tratamento residual proposto pela empresa terceirizada (Empresa 1); tratamento tipo fumigação proposto pela empresa terceirizada (Empresa 2); 5% de dióxido de carbono associados a 1 g m^{-3} de fosfina a 35°C e 5% de dióxido de carbono associados a 1 g m^{-3} de fosfina a 40°C . Os dados de custos foram obtidos utilizando-se uma planilha do programa Excel for Windows, versão 5.0 (Apêndice B). Em seguida, através do

programa Sigma Plot 4.0, foram determinadas as curvas de custo de cada tratamento e suas respectivas equações (Figura 5).

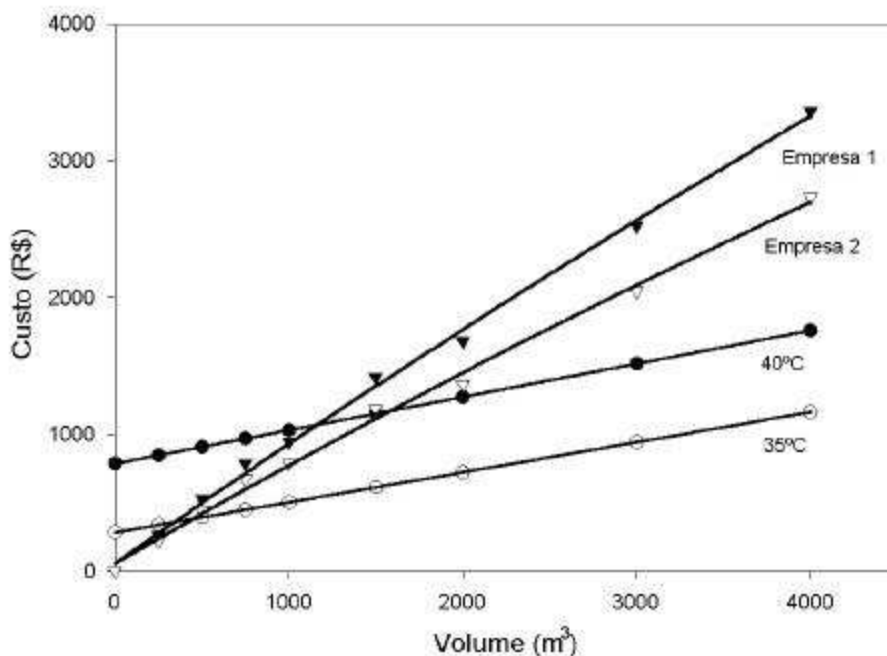


Figura 5 – Custo (R\$), por volume (m^3), dos diferentes métodos de controle de *Tribolium castaneum*. Empresa 1: $y = 58,79 + 0,89x$; $g_{\text{erro}} = 6$; $F = 1,18 \times 10^3$; $P < 1,0 \times 10^{-4}$; $R^2 = 0,99$; Empresa 2: $y = 58,79 + 0,74x$; $g_{\text{erro}} = 6$; $F = 771,73$; $P < 1,0 \times 10^{-4}$; $R^2 = 0,99$; 40°C: $y = 789,10 + 0,24x$; $g_{\text{erro}} = 7$; $F > 1,0 \times 10^{20}$; $P < 1,0 \times 10^{-4}$; $R^2 = 0,99$; 35°C: $y = 284,70 + 0,22x$; $g_{\text{erro}} = 7$; $F > 1,0 \times 10^{20}$; $P < 1,0 \times 10^{-4}$; $R^2 = 0,99$.

Pode-se verificar na Figura 5, que a variação do custo entre as tecnologias propostas neste trabalho se deve, principalmente ao custo fixo do tratamento de 40°C ser bem mais elevado (praticamente três vezes maior) do que o do tratamento de 35°C. O incremento do custo de energia por volume, contudo foi muito pequeno. Dependendo do volume a ser tratado e da necessidade de se realizar um controle mais rapidamente, o tratamento de 40°C pode ser justificado por requerer seis horas e meia a menos que o de 35°C para o controle efetivo dos insetos estudados. Ainda na Figura 5, pode-se observar redução no custo por volume das tecnologias propostas pela empresa, de acordo com o aumento do volume a ser tratado. Contudo, mesmo com esta economia de escala para o tratamento realizado pela empresa, os

custos para os tratamentos propostos se mantiveram inferiores aos fornecidos pela empresa para volumes superiores a, aproximadamente, 1.500 m³.

Na Figura 6, representa-se o ponto de nivelamento entre o tratamento tipo fumigação pela empresa (Empresa 2) e o tratamento avaliado no experimento de 5% dióxido de carbono associado a 1 g m⁻³ de fosfina a 40°C. O ponto de nivelamento é obtido quando se igualam os custos de ambos os tratamentos. Considera-se, neste caso, o custo do tratamento Empresa 2 como: $CT_1 = CF_1 + CV_1 \cdot \text{Volume}$, em que CT é custo total e CV é custo variável; e o custo do tratamento proposto como: $CT_2 = CF_2 + CV_2 \cdot \text{Volume}$. Contudo, no presente estudo, o custo fixo da empresa terceirizada (CF_1) é igual a zero (para quem está contratando o serviço) e, com isto, o ponto de nivelamento (PN) em volume é igual a: $CF_2 / (CV_1 - CV_2)$; desta forma, o ponto de nivelamento por volume é igual a 1.446,59 m³ (Apêndice B). Para calcular o ponto de nivelamento por custo, basta substituir o volume encontrado no ponto de nivelamento em uma das equações de custo total. Neste estudo, o ponto de nivelamento é igual a R\$ 1.140,62.

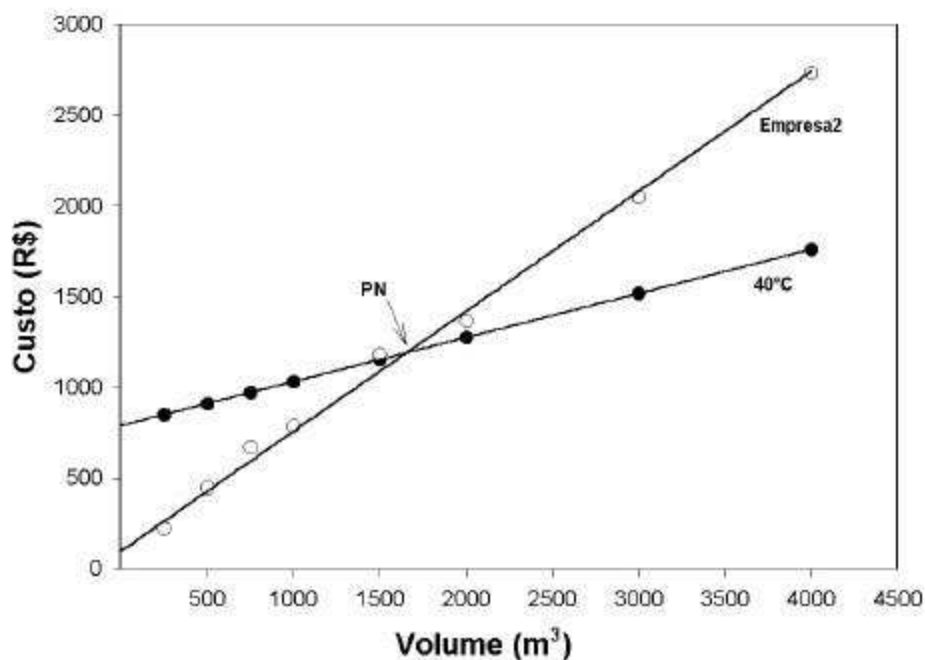


Figura 6 – Ponto de nivelamento entre o tratamento tipo fumigação de uma empresa terceirizada e o tratamento proposto com 1,0 g m⁻³ de PH₃ associado a 5% de CO₂ a 40 °C.

5 – CONCLUSÕES

O tempo necessário para controlar 95% de adultos de *T. castaneum* foi inferior a 24 h apenas no tratamento em que se utilizou 1 g m^{-3} de fosfina associado a 5% de dióxido de carbono a 40°C , sendo este tempo igual a 23,2 h. Contudo, novos estudos se fazem necessários para as demais fases do inseto, bem como de outras espécies.

Neste trabalho, pôde-se verificar a eficiência da combinação fosfina - dióxido de carbono nas diferentes regiões do País, especialmente quando o aquecimento de estruturas não é economicamente viável.

No desenvolvimento deste trabalho, encontraram-se diversas limitações, especialmente no que se refere ao levantamento de dados para o delineamento da análise econômica a ser empregada. Apesar das dificuldades encontradas, procurou-se definir uma metodologia quase pioneira, já que praticamente nenhum estudo de metodologias alternativas no controle de pragas aborda este aspecto de fundamental importância na tomada de decisão das diferentes empresas do ramo.

A tecnologia proposta mostrou-se viável para unidades armazenadoras e processadoras de grãos, de acordo com a análise econômica realizada, quando o volume a ser tratado é igual ou superior a 1.447 m^3 . Vale ressaltar que, para cada estrutura a ser tratada, devem-se considerar as condições climáticas locais, bem como as características da construção para se calcular a necessidade de energia a ser fornecida ao sistema de forma a aquecer tal estrutura.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, C., CORINTH, H.G., REICHMUT, C. Modified Atmosphere. In: SUBRAMANYAM, B., HAGSTRUM, D.W. (Eds.). **Alternatives to pesticides in stored-product IPM**. Massachusetts: Kluwer Academic, 2000. p. 105-146.
- ANEEL, 2001. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 12 out. 2001.
- ANNIS, P.C. Requirements for fumigations and controlled atmospheres as options for pest and quality control in stored grain. In: International Conference of Fumigation and Controlled Atmosphere Storage of Grain (1989: Singapore). **Proceedings...** Canberra: ACIAR, 1990. p. 20-28.
- ANNIS, P.C., MORTON, R. The acute mortality effects of carbon dioxide on various life stages of *Sitophilus oryzae*. **J. Stored Prod. Res.**, v. 33, p. 115-124, 1997.
- ARTHUR, F.H. Grain protectants: Current status and prospects for the future. **J. Stored Prod. Res.**, v. 32, p. 293-302, 1996.
- ATHIÉ, I., GOMES, R.A.R., BOLONHEZI, S., VALENTINI, S.R.T., DE CASTRO, M.F.P.M. Effects of carbon dioxide and phosphine mixtures on resistant populations of stored-grain insects. **J. Stored Prod. Res.**, v. 34, p. 27-32, 1998.
- BANKS, H.J. Current methods and potential systems for production of controlled atmospheres for grain storage. In: International Symposium Practical Aspects of Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storages (1984) **Proceedings...** New York: Elsevier, 1984. p. 523-542.
- BANKS, H.J., ANNIS, P.C. Conversion of existing grain storage for modified atmosphere use. In: International Symposium Controlled Atmosphere Storage of Grains. **Proceedings...** New York: Elsevier, 1980. p. 461-473.

- BANKS, H.J., FIELDS, P.G. Physical methods for insect control in stored-grain ecosystems. In: JAYAS, D.S., WHITE, N.D.G., MUIR, W.E. (Eds.). **Stored-grain ecosystems**. New York: Marcell Dekker, 1995. p. 353-409.
- BELL, C.H. Effects of oxygen on the toxicity of carbon dioxide to storage insects. **Devel. Agric. Eng.**, v. 5, p. 67-74, 1984.
- BELL, C.H. Factor governing the toxicity of phosphine to insects. In: GASGA Seminar on Fumigation Technology in Developing Countries. (1986: Slough, England). **GASGA SEMINAR...**, Slough: TDRI/Storage Department, 1986. p. 78-87.
- BELL, C.H. Time, concentration and temperature relationships for phosphine activity in tests on diapausing larvae of *Ephestia elutella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). **Pestic. Sci.**, v. 35, p. 255-264, 1992.
- BIRD, R.B., STEWART, W.E., LIGHTFOOT, E.N. **Transport phenomena**. New York: J. Wiley, 1968. 780p.
- BOND, E.J., BUCKLAND, C.T. Development of resistance of carbon dioxide in Granary Weevil. **J. Econ. Entomol.**, v. 72, p. 770-771, 1979.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. **Portaria nº 74, de 04 de agosto de 1994**. 10p.
- BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática**. Rio de Janeiro: Campus, 1991. 266 p.
- BURKS, C.S., JOHNSON, J.A., MAIER, D.E., HEAPS, J.W. Temperature. In: SUBRAMANYAM, B., HAGSTRUM, D.W. (Eds.). **Alternatives to pesticides in stored-product IPM**. Massachusetts: Kluwer Academic, 2000. p. 73-104.
- CHAMP, B.R., DYTE, C.E. **Report of the FAO Global Survey of Pesticide Susceptibility of Stored Grain Pests**. Rome: FAO, 1976. (FAO Plant Production and Protection Series, 5).

- CHAUDRY, M.Q. A review of the mechanisms involved in the action of phosphine as an insecticide and phosphine resistance in stored-product insects. **Pestic. Sci.**, 49, p. 213-228, 1997.
- CHAUDHRY, M.Q., PRICE, N.R. Insect mortality at doses of phosphine which produce equal uptake in susceptible and resistant strains of *Rhyzopertha dominica* (F.). **J. Stored Prod. Res.**, v.26, p.101-107, 1990.
- COELHO, E.M., FARONI, L.R.D., ALVES, W.M. TL₉₉ para *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* sob diferentes períodos de exposição e concentrações de dióxido de carbono e fosfina. **Engenharia na Agricultura**. v. 8, n. 3, p. 129-140, 2000.
- COMPÊNDIO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS. **Guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola**. São Paulo: Organização Andrei, 1996. 250p.
- DESMARCHELIER, J.M., WOHLGEMUTH, R. Response of several species of insects to mixtures of phosphine and carbon dioxide. **In: International Symposium of Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storages. Proceedings...** Perth, Australia: 1984. p. 75-81.
- ETO, M. Biochemical mechanisms of insecticidal activities. **In: ____ Chemistry of plant protection**, Berlin: 1990. v. 6, p. 69-73.
- GOULART, R. Insetos, fragmentos e impurezas em grãos e produtos derivados. **In: SCUSSEL, V.M. (Ed.) Atualidades em Micotoxinas e Armazenagem de Grãos**. Florianópolis, 2000. p. 339-344.
- GRAVER, J.S. van S. Fumigation and controlled atmosphere as components of integrated commodity management in the tropics. **In: International Conference of Fumigation and Controlled Atmosphere Storage of Grain (1989: Singapore). Proceedings...** Canberra: ACIAR, 1990. p. 38-52.
- GUEDES, R.N.C. Manejo integrado para a proteção de grãos armazenados contra insetos. **Rev. Bras. Armaz.**, v. 15 e 16, n. 1, p. 1-48.

- HOFMEIER, H. Thermonox – heat treatment as non-toxic pest control. **In:** IOBC WPRS/OILB SROP Working Group – Integrated Protection of Stored Products (2001: Lisbon, Portugal). **Abstracts...** Lisbon, 2001. p. 27.
- HOLMAN, J.P. **Heat transfer**. 2. ed. New York: Mc Graw Hill, 1968. 401 p.
- INCROPERA, F.P., WITT, D.P. de. **Fundamentos da transferência de calor**. Rio de Janeiro: Guanabara Kogan, 1992. 455p.
- JAY, E. Methods of applying carbon dioxide for insect control in stored grain. **In:** International Symposium Controlled Atmosphere Storage of Grains. **Proceedings...** New York: Elsevier, 1980. p. 225-234.
- LORINI, I. Controle físico, químico e biológico de pragas em grãos armazenados: inseticidas, resistência e resíduos. **In:** SCUSSEL, V.M. (Ed.) **Atualidades em Micotoxinas e Armazenagem de Grãos**. Florianópolis: 2000. p. 321-338.
- LOVE, G. Cost comparisons of different insect control measures. **In:** International Symposium Practical Aspects of Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storages (1984) **Proceedings...** New York: Elsevier, 1984. p. 481-491.
- LOVE, G., TWYFORD-JONES, P., WOOLCOCK, I. **An economic evaluation of alternative grain insect control**. Canberra: Bureau of Agriculture Economics, 1983. 115p. (Canberra Occasional Paper n. 78).
- MARTINAZZO, A.P., FARONI, L.R.D., BERBERT, P.A., REIS, F.P. Utilização da fosfina em combinação com o dióxido de carbono no controle do *Rhyzopertha dominica* (F.). **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1063-1069, 2000.
- MERCH, R.F., GOMES, N.K. **Beneficiamento e Armazenamento de Grãos**. Companhia Estadual de Silos e Armazéns, p. 29-37, 1982.
- MONRO, H.A.V. **Manual de fumigación contra insectos**. Roma: FAO. 1970. 404p.

- MUELLER, D.K. A new method of using low levels of phosphine in combination with heat and carbon dioxide. In: International Working Conference on Stored Product Protection (6: 1994: Canberra, Australia). **Proceedings...**, Wallingford, UK, CAB, 1994. p. 123-125.
- MUELLER, D.K. **Stored product protection... a period of transition.** Indianapolis, 1998. 347p.
- NAKAKITA, H. The inhibitory site of phosphine. **J. Pestic. Sci.**, v. 1, p. 235-238, 1976.
- NAKAKITA, H., SAITO, T., IYATOMI, K. Effect of phosphine on the respiration of adult *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). **J. Stored Prod. Res.**, v. 10, p. 138-143, 1974.
- PACHECO, J.A., SARTORI, M.R., TAYLOR, R.W.D. Levantamento de resistência de insetos-praga de grãos armazenados a fosfina, no Estado de São Paulo. **ITAL**, v. 20, p. 144-54, 1990.
- PEDERSEN, J.R. Insects: identification, damage, and detection. In: SAUER, D.B. **Storage of cereal grain and their products.** St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1992. p. 435-491.
- PRICE, N.R. The effect of phosphine on respiration and mitochondrial oxidation in susceptible and resistant strains of *Rhyzopertha dominica*. **Insect Biochemistry**, v. 10, p. 65-71, 1980a.
- PRICE, N.R. Some aspects of the inhibition of cytochrome-c oxidase by phosphine in susceptible and resistant strains of *Rhyzopertha dominica*. **Insect Biochemistry**, n. 10, p. 147-150, 1980b.
- PRICE, N.R. Active exclusion of phosphine as a mechanism of resistance in *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). **J. Stored Prod. Res.**, v. 20, n. 3, p. 163-168, 1984.
- PRICE, L.A., MILLS, K.A. The toxicity of phosphine to the immature stages of resistant and susceptible strains of some common stored product beetles, and implications for their control. **J. Stored Prod. Res.**, v.24, p.51-59, 1988.

- REICHMUTH, C. Toxic gas treatment responses of insect pests of stored products and impact on the environment. **In:** International Conference of Fumigation and Controlled Atmosphere Storage of Grain (1989: Singapore). **Proceedings...** Canberra: ACIAR, 1990. p.56-69.
- REN, Y.L., O'BRIEN, I.G., WHITTLE, C.P. Studies on the effect of carbon dioxide in insect treatment with phosphine. **In:** International Working Conference on Stored Product Protection (6: 1994: Canberra, Australia). **Proceedings...**, Wallingford, UK, CAB, 1994. 173-177.
- ROBERTSON, J.L., PREISLER, H.K. **Pesticide bioassays with arthropods.** Boca Raton, Florida: CRC Press, 1991, p. 17-34.
- ROBERTSON, J.L., SMITH, K.C., SAVIN, N.E., LAVIGNE, R.J. Effects of dose selection and sample size on the precision of lethal dose estimates in dose-mortality regression. **J. Econ. Entomology**, v. 77, n. 4, p. 833-837, 1984.
- SANTOS, J.P. Perdas causadas por insetos em grãos armazenados. **In:** Simpósio de Proteção de Grãos Armazenados (1993: Passo Fundo, RS). **Anais...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1993. p. 9-22.
- SARTORI, M.R. Controle integrado de pragas de grãos armazenados. **In:** SCUSSEL, V.M. (Ed.) **Atualidades em Micotoxinas e Armazenagem de Grãos.** Florianópolis: 2000. p. 345-354.
- SARTORI, M.R., PACHECO, I.A., VILAR, R.M.G. Resistance to phosphine in stored grain insects in Brazil. **In:** International Working Conference on Stored-Product Protection (2: 1990: Bordeaux, France). **Proceedings...**1990. p. 1041-1049.
- TAYLOR, R.W.D., HALLIDAY, D. The geographical spread of resistance to phosphine by coleopterous pests of stored products. **In:** British Crop Protection Conference – Pest and Diseases (1986). p. 607-613. 1986.
- TOSHI, C.C. Qualidade do trigo para panificação. **In:** SCUSSEL, V.M. (Ed.) **Atualidades em Micotoxinas e Armazenagem de Grãos.** Florianópolis: 2000. p. 277-280.

WHITE, N.D.G., LEESCH, J.G. Chemical control. In: SUBRAMANYAM, B., HAGSTRUM, D.W. (Eds.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**, New York: Marcel Dekker, 1995. p. 287-330.

WINKS, R.G. The toxicity of phosphine to adults of *Tribolium castaneum* (Herbst): time as a dosage factor. **J. Stored Prod. Res.**, v. 20, n. 1, p. 45-56, 1984.

WOILER, S., MATHIAS, W.F. **Projetos – Planejamento, Elaboração e Análise**. São Paulo: Atlas, 1992. 294 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A

PLANILHA DE CUSTOS DE DESINSETIZAÇÃO

Fosfina + 5% CO₂

| | 40°C | | 35°C | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|---------|--------|---------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| Preço novo | | 1821.00 | | 657.00 | | | | | |
| Juros | 10% | | 10% | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Custos | 40°C | | 35°C | | | | | | |
| Custos fixos/ano | | 789.1 | | 284.7 | | | | | |
| Vida útil | 3 | | 3 | | | | | | |
| Depreciação | 607.00 | | 219.00 | | | | | | |
| Custo oportunidade | 182.10 | | 65.70 | | | | | | |
| Custo variável/m³ | | 0.243 | | 0.220 | | | | | |
| Custo energia/m ³ | | 0.068 | | 0.045 | | | | | |
| Custo PH ₃ /m ³ | | 0.154 | | 0.154 | | | | | |
| Custo CO ₂ /m ³ | | 0.021 | | 0.021 | | | | | |
| Custo total/m ³ /ano | | 792.02 | | 287.34 | | | | | |
| Custo médio/m³ | | 40°C | | 35°C | | Empresa 1 | | Empresa 2 | |
| | Volume (m3) | TOTAL | MÉDIO | TOTAL | MÉDIO | TOTAL | MÉDIO | TOTAL | MÉDIO |
| | 0 | 789.10 | - | 284.70 | - | - | | 0.00 | |
| | 250 | 849.85 | 3.40 | 339.70 | 1.36 | 262.83 | 1.05 | 223.41 | 0.89 |
| | 500 | 910.60 | 1.82 | 394.70 | 0.79 | 525.66 | 1.05 | 446.81 | 0.89 |
| | 750 | 971.35 | 1.30 | 449.70 | 0.60 | 788.49 | 1.05 | 670.22 | 0.89 |
| | 1000 | 1032.10 | 1.03 | 504.70 | 0.50 | 946.19 | 0.95 | 788.49 | 0.79 |
| | 1500 | 1153.60 | 0.77 | 614.70 | 0.41 | 1419.28 | 0.95 | 1182.73 | 0.79 |
| | 2000 | 1275.10 | 0.64 | 724.70 | 0.36 | 1682.11 | 0.84 | 1366.71 | 0.68 |
| | 3000 | 1518.10 | 0.51 | 944.70 | 0.31 | 2523.16 | 0.84 | 2050.07 | 0.68 |
| | 4000 | 1761.10 | 0.44 | 1164.70 | 0.29 | 3364.22 | 0.84 | 2733.43 | 0.68 |

APÊNDICE B

| Ponto de nivelamento entre tratamento fosfina + 5% CO ₂ a 40° C e Empresa 2 | | | | |
|--|--------------|----------------|------------------|-------------|
| | 40° C | | Empresa 2 | |
| Preço novo | | 1,821 | | |
| Juros | 10% | | | |
| | | | | |
| Custos | 40° C | | Empresa 2 | |
| Custos fixos/ano | | 789.10 | | |
| Vida útil | 3 | | | |
| Depreciação | 607.00 | | | |
| Custo oportunidade | 182.10 | | | |
| Custo variável/m ³ | | 0.243 | | |
| Custo energia/m ³ | | 0.068 | | |
| Custo PH ₃ /m ³ | | 0.154 | | |
| Custo CO ₂ /m ³ | | 0.021 | | |
| | | | | |
| Custo total/m ³ /ano | | 792.02 | | |
| | | | | |
| Custo médio/m³ | 40° C | | Empresa 2 | |
| Volume (m ³) | TOTAL | MÉDIO | TOTAL | MÉDIO |
| 0 | 789.10 | - | - | |
| 250 | 849.85 | 3.40 | 223.41 | 0.89 |
| 500 | 910.60 | 1.82 | 446.81 | 0.89 |
| 750 | 971.35 | 1.30 | 670.22 | 0.89 |
| 1000 | 1032.10 | 1.03 | 788.49 | 0.79 |
| 1500 | 1153.60 | 0.77 | 1182.73 | 0.79 |
| 2000 | 1275.10 | 0.64 | 1366.71 | 0.68 |
| 3000 | 1518.10 | 0.51 | 2050.07 | 0.68 |
| 4000 | 1761.10 | 0.44 | 2733.43 | 0.68 |
| | | | | |
| Ponto de nivelamento | | m ³ | | R\$ |
| | | 1446.59 | | 1140.62 |