

**ALEXANDRE DE MELO PEREIRA**

**PROCESSO DE OZONIZAÇÃO: EFICÁCIA BIOLÓGICA,  
QUALIDADE DOS GRÃOS E ANÁLISE ECONÔMICA**

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  
2006

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P436p  
2006

Pereira, Alexandre de Melo, 1978-

Processo de ozonização : eficácia biológica,  
qualidade dos grãos e análise econômica / Alexandre  
de Melo Pereira. – Viçosa : UFV, 2006.  
xi, 64f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Lêda Rita D'Antonino Faroni.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Grãos - Armazenamento - Doenças e danos.
2. Grãos - Qualidade. 3. Grãos - Doenças e pragas.
4. Inseto - Efeito do ozônio. 5. Grãos - Efeito do ozônio. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.568

**ALEXANDRE DE MELO PEREIRA**

**PROCESSO DE OZONIZAÇÃO: EFICÁCIA BIOLÓGICA,  
QUALIDADE DOS GRÃOS E ANÁLISE ECONÔMICA**

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: 12 de abril de 2006.

Prof. Aziz Galvão da Silva Junior  
(Conselheiro)

Prof. Márcio Arêres Martins

Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro

Prof. José Helvécio Martins

Prof<sup>a</sup>. Lêda Rita D'Antonino Faroni  
(Orientadora)

## **BIOGRAFIA**

ALEXANDRE DE MELO PEREIRA, filho de Jorge Luiz Gonçalves Pereira e Marluce de Melo Pereira, nasceu em 25 de setembro de 1978, em Volta Redonda, Estado do Rio de Janeiro.

Em março de 2003, graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

Em março de 2004, ingressou no curso de mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, submetendo à defesa de tese em abril de 2006.

Aos meus pais, Jorge e Marluce, e aos meus irmãos Flávio e Rafael.

## **AGRADECIMENTOS**

À professora Lêda Rita D'Antonino Faroni, pela orientação, pelos ensinamentos e pela amizade.

Ao professor Marco Túlio Coelho Silva, pelos ensinamentos, pelos conselhos e pelas sugestões.

Ao professor Aziz Galvão da Silva Junior, pelos conselhos e pelas sugestões.

Ao professor Wilfredo, pelas sugestões e pela disponibilidade dos equipamentos de geração de ozônio.

Aos amigos e amigas, Adalberto, Flávio, Juliana Paes, Rafaela e Maurílio, pela ajuda, pela generosidade, pela paciência, pela sinceridade e pela amizade.

Aos colegas e amigos, Adriano, José Roberto, Carlos Romero, Ernandes, Flávia, Juliana, Manuela, Elaine, Marcel, Silma, Marco Aurélio, Josiane, Laíne, Felipe, Samíra, Faos, Fátima, Reginaldo, Samuel, Carlos, Douglas e Edinei, pelo companheirismo durante todo esse período.

Ao Hamilton, funcionário do Departamento de Engenharia Agrícola, pela forma que atende e ajuda a todos que o procuram.

Aos professores e funcionários e demais colegas do Departamento de Engenharia agrícola da UFV, pelos ensinamentos, pela contribuição e pela amizade.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Aos meus irmãos, Flávio e Rafael, pelo apoio.

Aos meus pais, Jorge Luiz Gonçalves Pereira e Marluce de Melo Pereira, pelo incentivo, pela confiança e pelo amor, sem os quais eu não chegaria aqui.

A Deus.

A todas as pessoas e entidades que não foram citadas, mas que contribuíram para a realização deste trabalho.

# Conteúdo

<b>RESUMO.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>2</b>
<b><i>Primeiro capítulo.....</i></b>	<b>4</b>
<i>Influência da temperatura da massa de grãos sobre a toxicidade de ozônio.....</i>	<i>4</i>
<i>RESUMO .....</i>	<i>4</i>
<i>ABSTRACT .....</i>	<i>5</i>
<i>1. INTRODUÇÃO.....</i>	<i>6</i>
<i>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</i>	<i>7</i>
<i>    2.1. Acondicionamento dos grãos e contenção dos insetos.....</i>	<i>7</i>
<i>    2.2. Bioensaios de tempo-resposta.....</i>	<i>8</i>
<i>    2.3. Controle da temperatura da massa de grãos.....</i>	<i>9</i>
<i>    2.4. Obtenção do ozônio e do ar atmosférico.....</i>	<i>10</i>
<i>    2.5. Análise dos dados .....</i>	<i>12</i>
<i>3. RESULTADOS.....</i>	<i>12</i>
<i>4. DISCUSSÃO.....</i>	<i>15</i>
<i>REFERÊNCIAS .....</i>	<i>17</i>
<b><i>Segundo capítulo.....</i></b>	<b>20</b>
<i>Efeito imediato e latente da fumigação com ozônio sobre a qualidade dos grãos de milho .....</i>	<i>20</i>
<i>RESUMO .....</i>	<i>20</i>
<i>ABSTRACT .....</i>	<i>21</i>
<i>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</i>	<i>23</i>
<i>    2.1. Obtenção do ozônio e do ar atmosférico.....</i>	<i>24</i>
<i>    2.2. Exposição dos grãos de milho ao gás ozônio e ao ar ambiente.....</i>	<i>24</i>
<i>    2.3. Controle da temperatura da massa de grãos.....</i>	<i>25</i>
<i>    2.4. Avaliação da qualidade dos grãos.....</i>	<i>25</i>
<i>        2.4.1. Infestação por insetos-praga.....</i>	<i>26</i>
<i>        2.4.2. Teor de umidade .....</i>	<i>26</i>
<i>        2.4.3. Condutividade elétrica .....</i>	<i>27</i>
<i>        2.4.4. Massa específica aparente.....</i>	<i>27</i>
<i>        2.4.5. Classificação .....</i>	<i>28</i>
<i>        2.4.6. Análise dos dados .....</i>	<i>28</i>
<i>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</i>	<i>28</i>
<i>    3.1. Infestação por insetos-praga e teor de umidade dos grãos.....</i>	<i>28</i>
<i>    3.2. Condutividade elétrica .....</i>	<i>31</i>
<i>    3.3. Massa específica aparente.....</i>	<i>33</i>
<i>    3.4. Classificação .....</i>	<i>35</i>
<i>4. CONCLUSÃO.....</i>	<i>36</i>

REFERÊNCIAS .....	37
<b><i>Terceiro capítulo</i></b> .....	<b>40</b>
<i>Viabilidade econômica do gás ozônio como fumigante em grãos de milho armazenados</i> .....	40
RESUMO .....	40
ABSTRACT .....	41
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	43
2.1. Obtenção do ozônio e do ar atmosférico .....	43
2.2. Exposição dos grãos de milho ao gás ozônio e ao ar ambiente .....	44
2.3. Controle da temperatura da massa de grãos .....	44
2.4. Armazenamento dos grãos .....	45
2.5. Massa específica aparente .....	45
2.6. Análise econômica .....	45
2.6.1. Estrutura de custo .....	46
2.6.1.1. Juros e custo de oportunidade .....	47
2.6.1.2. Depreciação .....	48
2.6.2. Estrutura de receita .....	49
2.6.3. Período de retorno do capital (TRC) .....	51
2.6.4. Valor presente líquido (VPL) .....	51
2.6.5. Taxa interna de retorno (TIR) .....	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
3.1. Retorno do capital .....	52
3.2. Valor presente líquido (VPL) .....	53
3.3. Taxa interna de retorno (TIR) .....	55
4. CONCLUSÕES .....	56
REFERÊNCIAS .....	57
<b>4. RESUMO E CONCLUSÕES</b> .....	<b>59</b>
<b>Apêndice</b> .....	<b>61</b>

## RESUMO

PEREIRA, Alexandre de Melo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2006.  
**Processo de ozonização: eficácia biológica, qualidade dos grãos e análise econômica.** Orientadora: Lêda Rita D'Antonio Faroni. Conselheiros: Aziz Galvão da Silva Junior e Marco Túlio Coelho Silva.

O presente trabalho teve como meta avaliar, além da eficácia da ozonização no controle dos insetos-praga *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) em grãos de milho armazenado sob condições de temperaturas de 20, 30 35 e 40 °C, com até 168 horas de exposição ao gás, o seu efeito na qualidade dos grãos durante 180 dias de armazenamento, bem como sua viabilidade econômica. O trabalho, conduzido no Setor de Armazenagem de Grãos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, foi realizado em três etapas. Na primeira, estimaram-se os tempos letais (TL) de cada espécie em estudo em diferentes períodos de ozonização, pela análise de Probit, utilizando-se o programa SAS versão 6.12 para ambiente *Windows*. Para obtenção desses dados, seis tubos de PVC, cada um com comprimento de 1,00 m e diâmetro de 0,20 m, foram utilizados na posição vertical, para sustentação dos grãos. A 0,10 m do fundo de cada tubo colocou-se uma tela metálica para formação de uma câmara para melhor distribuição do gás. Nas tampas inferior e superior dos tubos cilíndricos foram instaladas conexões para injeção e exaustão do gás e, no corpo de cada tubo, foi inserido um sensor para o monitoramento da temperatura da massa de grãos. Para comparação dos resultados da ozonização, três tubos receberam apenas ar atmosférico. O ozônio e o ar atmosférico foram injetados em fluxo contínuo com vazão de 8,0 L min<sup>-1</sup>. Armadilhas contendo 20 insetos de cada espécie foram colocadas na camada mediana dos tubos e, após diferentes períodos de exposição, avaliou-se o número de insetos mortos. Na segunda etapa, os grãos que foram submetidos ao maior período de exposição ao gás ozônio e ao ar atmosférico foram distribuídos em frascos de vidro e, a cada 45 dias de armazenamento, foram avaliados o grau de infestação, o teor de umidade, a massa específica aparente, a condutividade elétrica e a classificação do produto até completar 180 dias de armazenamento. Na terceira e última etapa, com base nos valores de massa específica aparente obtidos ao longo do armazenamento, foi feita uma análise econômica utilizando os parâmetros econômicos de tempo de retorno de capital, valor presente líquido e taxa interna de retorno. Concluiu-se que, em geral, o

aumento do período de exposição resultou em aumento da eficácia do tratamento com 50 ppm de ozônio nas diferentes temperaturas da massa de grãos (20, 30, 35 e 40 °C) para as quais os tempos letais para 50 e 95% dos insetos foram, respectivamente, de 71,39 e 151,85; 59,61 e 115,62; 82,93 e 138,22; 69,52 e 105,12 horas. Com relação aos ensaios qualitativos e quantitativos, o tratamento com o gás ozônio na concentração de 50 ppm, em comparação com o ar atmosférico, durante 168 horas, não afetou a qualidade dos grãos durante o armazenamento. Os resultados de indicadores econômicos sugerem que a utilização do gás ozônio pode ser economicamente viável se for aplicado à massa de grãos armazenada em condições de temperatura de 20 °C e de 35 °C.

## ABSTRACT

PEREIRA, Alexandre de Melo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, April 2006.  
**Ozonization process: Biological efficacy, grain quality and economical analysis.**  
Advisor: Lêda Rita D'Antonio Faroni. Committee Members: Aziz Galvão da Silva Junior and Marco Túlio Coelho Silva.

The present work aimed to assess the ozonization efficacy for controlling the insect-pest *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in maize stored at 20, 30, 35 and 40 °C temperature in up to 168 hours of gas exposure, its effect on grain quality during 180 days of storage, besides its economical viability. The work carried out at the Storage Grain Sector of the Department of Agricultural Engineering of the Federal University of Viçosa was carried out in three phases. In the first, lethal time (LT) estimates were carried out for each species under investigation using probit analysis. Six PVC tubes (1 m high x 0.20 m diameter) were used to sustain the grains and obtain the data. At 0.10 m of the recipient bottom a metallic net was placed forming a plenum to better distribute the gas. The connexions for gas injection and exhaustion were installed at the cylinder bottom lids and in its body a sensor to monitor grain temperature was installed. Three cylinders received only atmospheric gas to compare with the ozonization results. Ozone and atmospheric gas were injected at a continuous flow of 8.0 L.min<sup>-1</sup>. Traps with 20 insects of each species were placed at the median height of the cylinders and after different exposure periods the mortality assessment was carried out. In the second phase, the grains were subjected at the highest exposure period and distributed in glass jars for assessment of infestation level, moisture content, apparent specific mass, electrical conductivity and class at every 45 days during a total of 180 days of storage. In the third phase, an economical analysis was carried out using the values of apparent specific mass obtained throughout the storage period of the second phase and the economical parameters of time length for the capital return, present net value and inner return rate. In general there was an increase in ozone fumigation efficacy at 50 ppm with increased temperature and length of exposure with LT<sub>50</sub> and LT<sub>90</sub> of 71.39 and 151.85 h at 20 °C, 59.61 and 115.62 h at 30 °C, 82.93 and 138.22 h at 35 °C, and 69.52 and 105.12 h at 40 °C respectively. Regarding the qualitative and quantitative assays, ozone at 50 ppm did not affect grain quality during storage after a 168 h exposure. The results of economical indicators suggest that the

ozone use can be economical viable if applied to grain mass at the temperatures of 20 and 35 °C.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da demanda de alimentos, em função do crescimento populacional, exige o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de novas técnicas de manejo de grãos durante o armazenamento. Por ser o Brasil um dos maiores produtores de grãos, torna-se evidente a relevância de estudos sobre novas técnicas para diminuir as perdas durante o armazenamento. De acordo com levantamentos realizados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2006), a produção de grãos no Brasil na safra 2005/2006 é estimada em torno de 122.668,3 mil toneladas. Desse total, a soja, o milho, o arroz, o trigo, o feijão, o sorgo, o caroço de algodão e outros produtos participam com 46,8%, 33,5%, 9,3%, 3,9%, 2,7%, 1,4%, 1,2% e 1,2%, respectivamente.

Dentre os fatores que interferem na qualidade dos grãos durante o armazenamento, as pragas destacam-se por serem responsáveis por prejuízos de ordem econômica, bem como por desencadear em problemas sociais e de saúde pública, por meio da contaminação de alimentos (LOECK, 2002).

O controle dessas pragas tem sido feito, prioritariamente, com o uso do inseticida fumigante fosfeto de alumínio, o que representa um grande risco de desenvolvimento de resistência a esse produto, pois o uso contínuo de um determinado inseticida durante muito tempo, aliado às técnicas de aplicação inadequadas, favorece o aumento da pressão de seleção de indivíduos resistentes (McKENZIE, 1996). Adicionalmente ao conhecimento de resistência, a preocupação dos consumidores quanto à qualidade dos alimentos vem incentivando o desenvolvimento de novas técnicas de controle de insetos-praga de produtos armazenados.

Recentemente, surgiu o uso de atmosfera modificada empregando o gás ozônio ( $O_3$ ) como agente controlador, um forte agente oxidante com propriedades biocidas já demonstradas para insetos-praga de grãos armazenados (KELLS et al., 2001; QIN-ZHANGGUI et al., 2003). Sua utilização na agricultura vem se tornando atraente, pelo fato de poder ser gerado no próprio local de uso e de seu produto de degradação, o oxigênio ( $O_2$ ), não deixar resíduo nos grãos (MENDEZ et al., 2003). No entanto, sabe-se muito pouco a respeito dos agentes abióticos que podem interferir na eficácia de sua aplicação.

Diversos autores relatam a eficácia do ozônio no controle de insetos-praga de grãos armazenados, porém poucos estudos foram realizados sobre o efeito deste gás na qualidade dos grãos. STRAIT (1998), avaliando a injeção de 50 ppm de ozônio no topo de uma coluna de grãos de milho, constatou, além da eficácia do ozônio no controle de insetos-praga de milho armazenado, que não houve comprometimento da germinação dos grãos utilizados. MENDEZ et al. (2001), estudando a qualidade de grãos tratados com ozônio, não verificaram alterações na concentração de aminoácidos e ácidos graxos em diferentes variedades de trigo, milho, soja, milho-pipoca e arroz.

Diante do exposto, torna-se importante o estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização de ozônio como alternativa para os fumigantes químicos disponíveis no mercado. As informações obtidas neste trabalho deverão auxiliar processos de tomada de decisão na escolha de uma tecnologia para o controle de pragas de grãos, indicando, assim, a mais eficiente e também a de menor custo.

## REFERÊNCIAS

CONAB 2006 - **Companhia nacional de abastecimento**. Acompanhamento da safra 2005/2006 – 2º Levantamento novembro/ 2005. Disponível em <http://www.conab.gov.br/>. Acessado em: 01 de fevereiro de 2006.

KELLS, S.A.; MASON, L.J.; MAIER, D.E.; WOLOSOSHUK, C.P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v.37, 2001 p. 371-383.

LOECK, A. E. **Pragas de produtos armazenados**. Pelotas: EGUFPEL, 2002. 113p.

McKENZIE, J.A. **Ecological and evolutionary aspects of insecticide resistance**. Academic Press, Austin, 1996 185p.

MENDEZ, F.; MAIER, D. E.; MASON, L. J.; WOLOSOSHUK, C.P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and performance. **Journal of Stored Products Research**, v.39, 2003 p.33-44.

STRAIT, C.A., IN. **Efficacy of ozone to control insects and fungi in stored grain**. Purdue University, West Lafayette, IN, 1998, 59p. (M.S. thesis)

ZHANGGUI, Q.; XIA, W.; GANG, D.; XIAOPING, Y.; XUECHAO, H.; DEKE, X.; XINGWEN, L. Investigation of the use of ozone fumigation to control several species

of stored grain insects. In: International Working Conference on Stored-Product Protection, 8, 2002, York, **Advances in stored product protection**, York, 2003, v. 1, p.846-851.

# Primeiro capítulo

Influência da temperatura da massa de grãos sobre a toxicidade de ozônio

ALEXANDRE DE MELO PEREIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Email: amelo\_pereira@yahoo.com.br

## RESUMO

Considerando que a temperatura da massa de grãos pode influenciar o período de exposição dos fumigantes, este trabalho foi desenvolvido com o propósito de investigar a influência de temperaturas crescentes da massa de grãos (20, 30, 35 e 40 °C) no período de exposição do ozônio necessário para matar 50 e 95% de insetos adultos de *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). Foram utilizados grãos de milho distribuídos em recipientes cilíndricos de PVC com conexões para injeção e exaustão de gás. Os insetos foram contidos em gaiolas dispostas na camada mediana da massa de grãos e submetidos a uma atmosfera modificada com 50 ppm de ozônio em todas as temperaturas. Os tempos letais para (TL<sub>50</sub> e TL<sub>95</sub>) dos insetos adultos de *T. castaneum* foram influenciados pelo aumento da temperatura da massa de grãos, em que a elevação da temperatura de 20 para 30 °C causou redução do período de exposição. Na temperatura subsequente, 35 °C, esses tempos letais não foram reduzidos em relação às temperaturas anteriores. Para temperatura de 40 °C, os tempos letais reduziram novamente, proporcionando o menor TL<sub>95</sub>.

**Palavras-chave:** ozonização, pragas de grãos, armazenamento.

## **ABSTRACT**

Considering that the grain mass temperature can influence the fumigant exposure time, the present work was carried out to investigate the influence of increasing temperatures of the grain mass (20, 30, 35 and 40 °C) in the exposure time for the ozone to kill 50 and 95% of adult insects of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Maize grains were distributed in cylindrical PVC recipients with connections for gas injection and exhaustion. The insects were constrained in cages place at median height of the grain mass and subjected to a 50 ppm ozone exposure at each temperature. The LT<sub>50</sub>'s and LT<sub>95</sub>'s for adult insects of *T. castaneum* were affected by the increasing temperature of the grain mass, where a the increase from 20 to 30 °C led to a decrease in the exposure time. At 35 °C the LT's were not reduced compared with the lower temperatures. At 40 °C the LT's reduced again.

**Key-words:** ozonization, grain insect pests, storage.

## 1. INTRODUÇÃO

O ataque severo de insetos-praga durante o armazenamento de grãos é responsável por consideráveis perdas no setor de armazenamento de produtos agrícolas em todo o mundo. Dentre as espécies de insetos mais importantes, o gorgulho – *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) – destaca-se por infestar farinhas e grãos de cereais, além de ser uma das primeiras espécies a aparecer em produtos recentemente colhidos e armazenados (LOECK, 2002).

O controle desses insetos tem sido feito prioritariamente com o uso do inseticida fumigante fosfeto de alumínio, cujo princípio ativo é a fosfina, o que representa um grande risco de desenvolvimento de resistência a esse produto, pois o uso contínuo de um determinado inseticida durante muito tempo, aliado às técnicas de aplicação inadequadas, permite o aumento da pressão de seleção de indivíduos resistentes (McKENZIE, 1996). Adicionalmente ao conhecimento de resistência, a preocupação dos consumidores quanto à qualidade dos alimentos vem incentivando o desenvolvimento de novas técnicas de controle de insetos-praga de produtos armazenados.

Dentre as principais alternativas ao uso da fosfina, surge o uso de atmosfera modificada empregando o gás ozônio ( $O_3$ ) como agente controlador, um forte agente oxidante com propriedades biocidas já demonstradas para insetos-praga de grãos armazenados (KELLS et al., 2001; QIN-ZHANGGUI et al., 2003). Sua utilização na agricultura vem se tornando atraente pelo fato de poder ser gerado no próprio local de uso e de seu produto de degradação, o oxigênio ( $O_2$ ), não deixar resíduo nos grãos (MENDEZ et al., 2003). No entanto, sabe-se muito pouco a respeito dos agentes abióticos que podem interferir na eficácia de sua aplicação.

A temperatura da massa de grãos destaca-se por ser um dos agentes determinantes do ritmo da atividade metabólica dos insetos, tendo sido observado que temperaturas mais elevadas tornam os insetos mais suscetíveis à ação dos fumigantes (FARONI et al., 2002); conseqüentemente, o período de exposição necessário para se obter controle eficiente de insetos pode ser reduzido conhecendo-se a temperatura ideal de sua aplicação (WHITE; LEESCH, 1996), o que maximiza a viabilidade econômica de um determinado produto. No entanto, é importante lembrar que temperaturas mais

elevadas podem ser responsáveis pela degradação do inseticida durante sua aplicação (PIMENTEL et al., 2004, 2005).

Considerando que a temperatura da massa de grãos interfere na ação inseticida do ozônio durante o processo de sua aplicação, este trabalho foi desenvolvido com o propósito de investigar a influência da temperatura da massa de grãos no período de exposição do ozônio sobre a mortalidade de *T. castaneum*.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram realizados no Setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Investigou-se a influência de temperaturas crescentes da massa de grãos (20, 30, 35 e 40 °C) sobre o período de exposição do ozônio letal para 50 e 95% de insetos adultos de *T. castaneum* (TL<sub>50</sub> e TL<sub>95</sub>), utilizando a dose de 50 ppm de ozônio em uma vazão de 8 L min<sup>-1</sup>.

### **2.1. Acondicionamento dos grãos e contenção dos insetos**

Grãos de milho (25 kg) foram acondicionados em recipientes cilíndricos de PVC com 0,20 m de diâmetro e 1 m de altura. A 0,10 m do fundo de cada recipiente, colocou-se uma tela metálica para sustentação dos grãos e formação de uma câmara para melhor distribuição do gás. Nas tampas inferior e superior dos cilindros foram instaladas conexões para injeção e exaustão do gás e, no corpo do cilindro, foi inserido um sensor para o monitoramento da temperatura da massa de grãos. Para manter os insetos na camada mediana da massa de grãos, foram colocados 20 adultos de *T. castaneum* em 0,330 kg de grãos de milho contidos em gaiolas circulares de PVC, com 0,03 m de altura e 0,15 m de diâmetro. O fundo e a tampa das gaiolas foram confeccionados com tecido de organza, de forma que permitisse a passagem do ozônio ou do ar atmosférico e evitasse a fuga dos insetos. A Figura 1 mostra detalhe do acondicionamento dos grãos.



Figura 1 - Fotos detalhando o acondicionamento dos grãos e contenção dos insetos.

## 2.2. Bioensaios de tempo-resposta

Foram estimados para todas as temperaturas da massa de grãos, por meio de testes preliminares, os períodos de exposição do ozônio necessários para matar o menor número de insetos (mortalidade semelhante à da testemunha) e os períodos de exposição em que a mortalidade dos insetos foi próxima de 100%. A partir dos valores obtidos nesses testes, foram definidos os períodos de exposição intermediários, por meio dos quais foram estimados os tempos letais para 50 e 95% de mortalidade (TL<sub>50</sub> e TL<sub>95</sub>).

Os períodos de exposição para cada temperatura da massa de grãos são apresentados na Tabela 1. A testemunha foi constituída apenas por ar atmosférico (78% de N<sub>2</sub>, 0,03% de CO<sub>2</sub> e 21% de O<sub>2</sub>). Foram utilizadas três repetições para cada temperatura e período de exposição. A avaliação da mortalidade dos insetos foi feita 48 horas após o término de cada tratamento.

Tabela 1 - Período de exposição ao ozônio para cada temperatura da massa de grãos

Temperatura (°C)	Período de Exposição (h)
20 e 30	24
	48
	72
	120
	168
35 e 40	24
	48
	72
	96
	120
	168

### 2.3. Controle da temperatura da massa de grãos

Os cilindros contendo os grãos de milho foram acondicionados em câmaras climáticas com a temperatura do ar controlada conforme a temperatura da massa de grãos, que foi monitorada por meio de um sistema computacional de aquisição e armazenamento de dados denominado *I-wire<sup>TM</sup>*. Este sistema é constituído de uma rede de transmissão de dados, em que, através de um programa, um único cabo condutor permite a comunicação entre o computador e os sensores de temperatura na massa de grãos (MARTINS et al., 2004).

## 2.4. Obtenção do ozônio e do ar atmosférico

O gás ozônio foi obtido de um gerador desenvolvido pelo Departamento de Física do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). No processo de geração do gás, utilizou-se como insumo ar ambiente seco (ponto de orvalho menor que  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), passando um ou outro através de um reator refrigerado, onde existe a Descarga por Barreira Dielétrica (DBD). Esse tipo de descarga é produzido ao se aplicar uma alta voltagem entre dois eletrodos paralelos, tendo entre eles um dielétrico (vidro) e um espaço livre por onde flui o ar seco ou o oxigênio. Nesse espaço livre é produzida uma descarga em forma de filamentos, onde são gerados elétrons com energia suficiente para produzir a quebra das moléculas de oxigênio, formando o ozônio ( $\text{O}_3$ ).

O ar seco utilizado como insumo foi obtido a partir de um compressor de ar instalado juntamente com um filtro de alumina. Na saída do filtro foi instalada uma conexão com duas saídas: uma passando pelo gerador de ozônio e a outra indo diretamente para o sistema que utilizou ar ambiente (testemunha). A produção de ozônio foi regulada em função da tensão aplicada, ajustada por meio de um variador de tensão do gerador, e do fluxo de ar seco, monitorado com auxílio de um medidor de fluxo de ar. A concentração de ozônio foi medida por meio de um espectrofotômetro com precisão de  $0,1\text{ g m}^{-3}$ . Com o intuito de aumentar a precisão nas leituras de concentração de  $\text{O}_3$ , um multímetro foi conectado ao espectrofotômetro para que fosse possível estabelecer uma relação entre os valores lidos no espectrofotômetro ( $\text{g m}^{-3}$ ) e a corrente elétrica (mA). A Figura 2 mostra o esquema utilizado para aplicação de ozônio, e na Figura 3 têm-se as fotos detalhando o gerador de ozônio e o compressor usado na produção de ozônio.

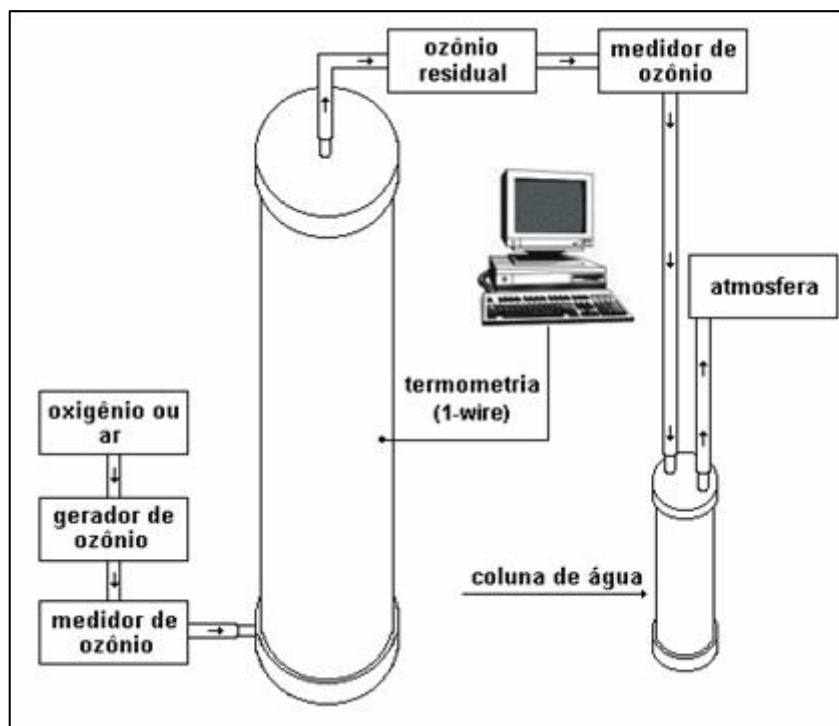


Figura 2 - Modelo do sistema utilizado para aplicação de ozônio.



Figura 3 - Foto detalhando o gerador de ozônio (à esquerda) e o compressor de ar.

## 2.5. Análise dos dados

Os dados de mortalidade foram corrigidos pela fórmula de ABBOTT (1925) e submetidos à análise de Probite, utilizando o procedimento PROC PROBIT do programa SAS<sup>®</sup> for Windows<sup>™</sup>, versão 6.12, para avaliação do efeito das diferentes temperaturas sobre o período de exposição, gerando, assim, as curvas de mortalidade.

## 3. RESULTADOS

Verificou-se que os tempos letais para 50 e 95% dos insetos adultos de *T. castaneum*, submetidos à atmosfera modificada com 50 ppm de ozônio, foram influenciados pela elevação da temperatura da massa de grãos (Tabela 2). Os tempos letais para 50 e 95% dos insetos, nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C, foram, respectivamente, de 71,39 e 151,85; 59,61 e 115,62; 82,93 e 138,22; e 69,52 e 105,12 horas (Tabela 1).

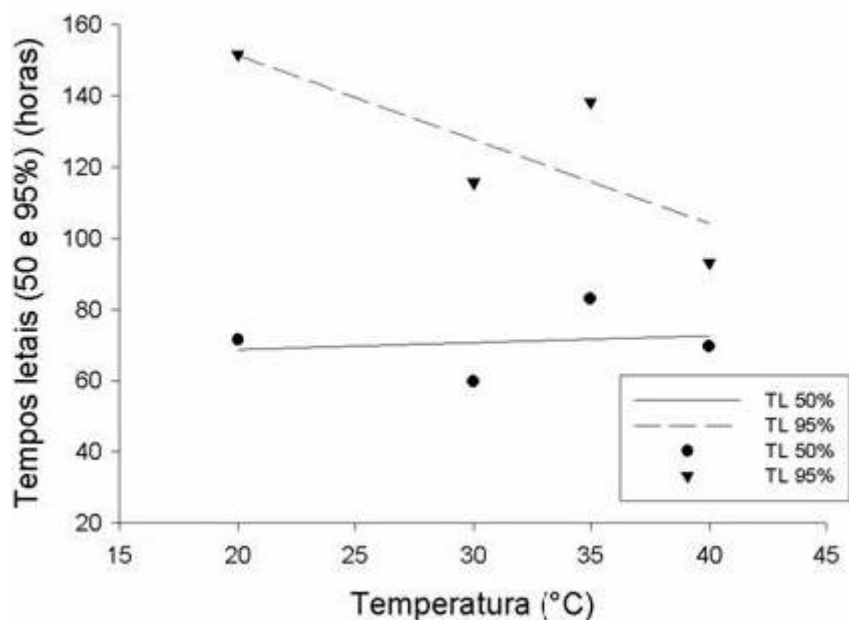
O menor e o maior período de exposição para controlar 50% dos insetos foram de 59,61 e 82,93 horas, respectivamente, quando os insetos foram submetidos às temperaturas da massa de grãos de 30 e 35 °C. Para controlar 95% dos insetos, o menor e o maior período de exposição foram de 105,12 e 151,85 horas, quando os insetos foram submetidos, respectivamente, às temperaturas da massa de grãos de 40 e 20 °C (Tabela 2).

Tabela 2 - Toxicidade relativa de ozônio para adultos de *Tribolium castaneum*, à temperatura de 20, 30, 35 e 40°C da massa de grãos

Temperatura Massa de Grãos (°C)	Inclinação ± erro-padrão	TL <sub>50</sub> (IC)	TL <sub>95</sub> (IC)	$\chi^2$	Probabilidade
20	1,20 ± 0,06	71,39 (64,60 – 78,84)	151,85 (129,85 – 188,39)	5,87	0,12
30	1,20± 0,02	59,61 (52,12 – 69,13)	115,62 (94,83 – 157,49)	3,35	0,18
35	1,86± 0,13	82,93 (77,78 – 88,23)	138,22 (125,45 – 148,10)	4,81	0,18
40	1,50± 0,20	69,52 (64,93 – 73,85)	105,12 (94,59 – 127,29)	4,21	0,38

TL = tempo letal (horas), IC = intervalo de confiança a 95% de probabilidade,  $\chi^2$  = qui-quadrado e Prob. = probabilidade.

Observa-se, na Figura 4, que os tempos letais para 50 e 95% dos insetos foram reduzidos com a elevação da temperatura da massa de grãos de 20 para 30 °C. No entanto, na temperatura subsequente, 35 °C, esses tempos letais não foram reduzidos, respondendo pelo maior TL<sub>50</sub> e por elevação bastante significativa da TL<sub>95</sub> em relação às temperaturas menores. Na temperatura de 40 °C, os tempos letais se reduziram novamente, proporcionando o menor TL<sub>95</sub>.



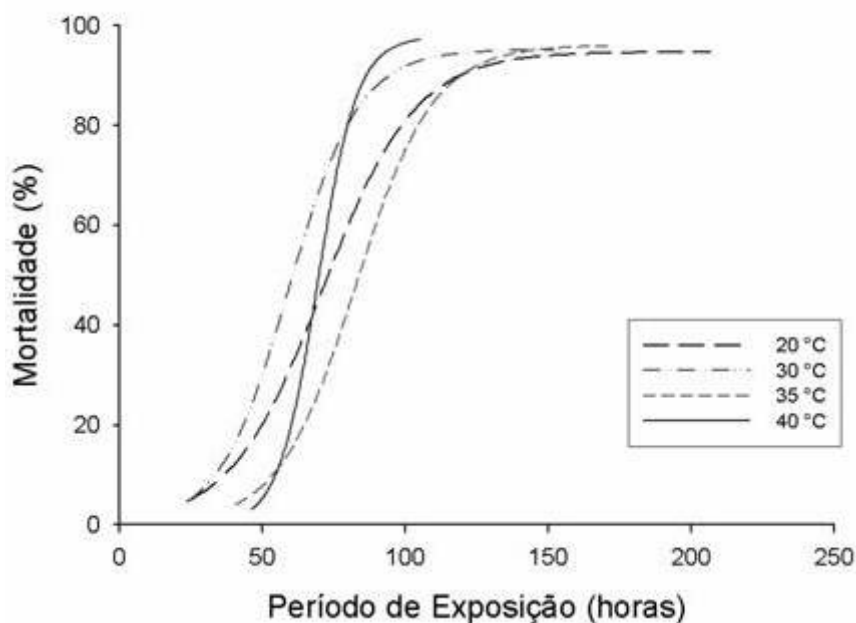
$$Y_{TL50} = 64,918 + 0,1904X \quad (f = 0,0596; P = 0,8299; R^2 = 0,0289);$$

$$Y_{TL95} = 58,97 + 8,06X - 0,176X^2 \quad (f = 3,1796; P = 0,2165; R^2 = 0,7834).$$

em que Y é o tempo letal e X a temperatura.

Figura 4 - Tempos letais de 50 e 95% para controlar insetos adultos de *Tribolium castaneum*, submetidos à ozonização na concentração de 50 ppm, em diferentes temperaturas da massa de grãos.

Para que a mortalidade dos primeiros insetos fosse computada, as temperaturas de 35 e 40 °C demandaram períodos de exposição semelhantes entre si e maiores que as temperaturas de 20 e 30 °C (Figura 5). Contudo, para alcançar a mortalidade máxima de insetos, as temperaturas de 35 e 40 °C responderam por um comportamento particular, em que se observou que elas foram, respectivamente, responsáveis pelo maior e menor período de exposição do ozônio na massa de grãos.



$$Y_{20} = 94,65 / (1 + e^{(-(X-71,19)/16,18)}) \quad (f = 2722,99; P < 0,0001; R^2 = 0,9941)$$

$$Y_{30} = 95,09 / (1 + e^{(-(X-59,45)/12,15)}) \quad (f = 3349,03; P < 0,0001; R^2 = 0,9952)$$

$$Y_{35} = 95,97 / (1 + e^{(-(X-82,75)/13,53)}) \quad (f = 5028,65; P < 0,0001; R^2 = 0,9968)$$

$$Y_{40} = 96,81 / (1 + e^{(-(X-64,40)/8,31)}) \quad (f = 7414,10; P < 0,0001; R^2 = 0,9978)$$

em que Y-mortalidade (%), X- período de exposição (horas).

Figura 5 - Mortalidade de *Tribolium castaneum* em diferentes temperaturas da massa de grãos e submetidos a diferentes períodos de ozonização.

#### 4. DISCUSSÃO

Dentre os fatores que influenciam o período de exposição dos fumigantes, a temperatura da massa de grãos destaca-se por ter relação direta com a suscetibilidade dos insetos (THRONE et al., 2000) e atuar como agente de degradação de inseticidas (PIMENTEL et al., 2005). Nesse contexto, atribuem-se os resultados dos tempos letais obtidos nesta investigação à interação entre suscetibilidade dos insetos e potencial tóxico do gás em cada temperatura.

Do ponto de vista biológico, o aumento da suscetibilidade dos insetos, em função da elevação da temperatura, deve-se ao aumento de sua taxa respiratória (THRONE et al., 2000), acompanhada por uma elevação da atividade metabólica (consumo de O<sub>2</sub> e produção de CO<sub>2</sub>) (CELARO, 2002), o que pode resultar num desbalanço das trocas gasosas dos insetos, propiciando maior gasto energético para a manutenção da homeostase (HOSTETLER et al., 1994; HARAK et al., 1999), que é o

processo responsável pela manutenção da integridade do ambiente interno das células (NATION, 2002).

Admitindo que a elevação da temperatura tenha relação com o aumento da sensibilidade dos insetos, era de se esperar que estes tivessem sua suscetibilidade aumentada conforme a elevação da temperatura da massa de grãos. No entanto, verificou-se que na temperatura de 35 °C os insetos exigiram maiores períodos de exposição que nas temperaturas de 20 e 30 °C, sugerindo que a temperatura da massa de grãos a 35 °C pode ter interferido na manutenção da dose aplicada (50 ppm). Como o processo de degradação do ozônio principia-se na temperatura de 35 °C (DELIMPASIS, 2001), é possível que o aumento do período de exposição nesta temperatura esteja relacionado a perdas na concentração do ozônio.

O fato de os insetos submetidos à temperatura de 40 °C apresentarem os menores tempos letais do que aqueles submetidos à temperatura de 35 °C, certamente, está associado ao fato de estes apresentarem maior sensibilidade na temperatura de 40 °C, e não a 35 °C, pois esta é a temperatura ótima para o desenvolvimento do *T. castaneum* (REES, 1996). SODERSTROM et al. (1992) também constataram a influência da temperatura sobre o período de exposição de *T. castaneum* a atmosferas modificadas. Estes autores verificaram o aumento da mortalidade de larvas quando as temperaturas foram iguais ou superiores a 38 °C, combinadas com atmosferas enriquecidas com CO<sub>2</sub> ou deficientes em O<sub>2</sub>.

É possível que o maior período de exposição necessário para que fossem registrados os primeiros insetos mortos, nas temperaturas de 35 e 40 °C, tenha relação com os resultados encontrados por KELLS et al. (2001). Estes autores verificaram que o processo de fumigação com ozônio apresenta duas fases distintas: na primeira, ocorre rápida degradação do ozônio e movimentação lenta pela massa de grãos, e, na segunda, o ozônio flui livremente através da massa de grãos com pouca degradação, pois, nesse momento, os locais responsáveis pela degradação do ozônio ficam saturados. Assim, é muito provável que a menor eficácia observada nas primeiras horas de exposição do ozônio (Figura 5), nas temperaturas de 35 e 40 °C, se deva à degradação natural que ocorre nas primeiras horas, referentes à primeira fase, somada à degradação comum do ozônio nessas temperaturas (DELIMPASIS, 2001).

De maneira geral, os resultados desta investigação foram promissores, pois mostraram que temperaturas mais elevadas podem contribuir para tornar os insetos mais

suscetíveis ao gás ozônio. No entanto, tornou-se claro que as mesmas temperaturas em que os insetos mostram maior sensibilidade ao ozônio equivalem àquelas em que o processo de degradação deste gás se torna evidente. Portanto, faz-se necessário que sejam feitas investigações mais detalhadas sobre as temperaturas em que os insetos apresentam maior sensibilidade ao ozônio sem que haja o comprometimento da dose, ou mesmo estudos que correlacionem os benefícios do uso de temperaturas mais elevadas da massa de grãos.

## REFERÊNCIAS

ABBOTT, W. S. A. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v.18, n.1, p.265-267, 1925.

CELARO, J. C. Métodos curativos de controle de pragas de grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p.493-529.

DELIMPASIS, K. Ozone application for wastewater color removal. **Public Service Ads by Google** (online), 2001. Disponível em:

[http://www.e-telescope.gr/en/cat04/art04\\_010601.htm](http://www.e-telescope.gr/en/cat04/art04_010601.htm). Acesso em: 22 de fevereiro de 2006.

FARONI, L. R. D.; GUEDES, R. N. C.; BERBEERT, P. A.; SILVA, A. P. R. A. Atmosfera modificada no controle das pragas de grãos armazenados. In: LORINI, I., MIKE, L.H., SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p.463-491.

HARAK, M.; LAMPRECHT, I.; KUUSIK, A.; HIIESAAR, K.; METSPALU, L.; TARTES, U. Calorimetric investigations of insect metabolism and development under the influence of a toxic plant extract. **Thermochemistry Acta**, v.333, n.1, p.39-48, 1999.

HOSTETLER, M. E.; ANDERSON, J. F.; LANCIANI, C. Pesticide resistance and metabolic rate in german cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). **Florida Entomologist**, v.77, n.2, p.288-290, 1994.

KELLS, S. A.; MASON, L. J.; MAIER, D. E.; WOLOSOSHUK, C. P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.37, n.4, p.371-383, 2001.

LOECK, A. E., **Pragas de produtos armazenados**. Pelotas: EGUFPEL, 2002. 113p.

MARTINS, J. H.; MONTEIRO, P. M. B.; MOTA, A. M. N.; FONSECA, J. A. G. The *I-wire<sup>TM</sup>* System – An Application for Agricultural Processes. In: Portuguese Conference on Automatic Control, 6, 2004, Faro, Portugal, **Proceedings...** Faro, Portugal: Control, 2004, v.2, p.602-607.

McKENZIE, J. A. **Ecological and evolutionary aspects of insecticide resistance**. Austin: Academic Press, 1996. 185p.

MENDEZ, F.; MAIER, D. E.; MASON, L. J.; WOLOSOSHUK, C. P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and performance. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.39, n.1, p.33-44, 2003.

NATION, J. L. **Insect physiology and biochemistry**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2002. 485p.

PIMENTEL, M. A. G.; FARONI, L. R. D. A.; GONÇALVES, J. R.; OLIVEIRA, C. R. F.; ALENCAR, E. R. Influencia da temperatura na eficácia biológica de pirimifós metílico em milho armazenado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.29, n.1, p.58-61, 2004.

PIMENTEL, M. A. G.; FARONI, L. R. D. A.; GUEDES, R. N. C.; GONÇALVES, J. R.; OLIVEIRA, C. R. F. Eficácia biológica de bifentrina aplicado em milho armazenado sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.263-267, 2005.

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

SODERSTROM, E. L.; BRANDL, D. G.; MACKEY, B. High temperature combined with carbon dioxide enriched or reduced oxygen atmospheres for control of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.28, n.4, p.235-238, 1992.

THRONE, J. E.; BAKER, J. E.; MESSINA, F. J.; KRAMER, K. J.; HOWARD, J. A.; Varieal resistance. In: SUBRAMANYAM, B.; HAGSTRUM, D.W. **Alternatives to**

**pesticides in stored-product IMP.** Massachusetts: Kluwer Academic, 2000. p.165-192.

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

ZHANGGUI, Q.; XIA, W.; GANG, D.; XIAOPING, Y.; XUECHAO, H.; DEKE, X.; XINGWEN, L. Investigation of the use of ozone fumigation to control several species of stored grain insects. In: International Working Conference on Stored-Product Protection, 8, 2002, York, **Advances in stored product protection**, York, 2003, v.1, p.846-851.

# *Segundo capítulo*

Efeito imediato e latente da fumigação com ozônio sobre a qualidade dos  
grãos de milho

ALEXANDRE DE MELO PEREIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Email: amelo\_pereira@yahoo.com.br

## **RESUMO**

O armazenamento é uma operação fundamental para as regiões produtoras e consumidoras de grãos. Considerando o potencial do uso do gás ozônio como uma nova estratégia de fumigação para proteção dos grãos contra o ataque de insetos-praga, realizou-se esta pesquisa com o propósito de avaliar e monitorar os seus efeitos imediatos e latentes na qualidade de grãos de milho durante o armazenamento. Grãos de milho, nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C, foram distribuídos em seis recipientes cilíndricos de PVC, com conexão para injeção e exaustão de gás, e submetidos à atmosfera modificada com 50 ppm de ozônio e à atmosfera ambiente, durante 168 horas consecutivas. Os grãos ozonizados e não-ozonizados foram distribuídos em frascos de vidro e armazenados em condições de laboratório durante 180 dias. Depois da fumigação e a cada 45 dias, além da classificação, avaliaram-se o grau de infestação, o teor de umidade, a condutividade elétrica e a massa específica aparente. Embora tenha ocorrido estreita relação entre o aumento do grau de infestação e os demais parâmetros avaliados, verificou-se que os grãos tratados com o gás ozônio apresentaram, em geral, os menores valores em relação àqueles tratados apenas com ar atmosférico. Quanto à classificação, não foi observada nenhuma alteração quanto ao tipo entre os grãos tratados ou não com o gás ozônio.

**Palavras-chave:** armazenamento, ozonização, proteção de grãos.

## **ABSTRACT**

Storage is a key phase in the regions of grain production and consumption. Considering the potential of ozone fumigation as a new strategy of grain protection against insect-pest infestations, the present study was carried out to assess and monitor immediate and latent effects in the maize grain quality during storage. Maize grains at 20, 30, 35 and 40 °C were distributed in six cylindrical PVC recipients with connections for gas injection and exhaustion and subjected to 50 ppm ozone fumigation and atmospheric air for 168 consecutive hours. The ozone-fumigated grains or atmospheric treated grains were subsequently placed in glass jars and stored in laboratory conditions for 180 days. At every 45 days during the storage period the grains were classified and subjected to assessments of infestation level and determinations of moisture content, electrical conductivity and apparent specific mass. Although there was a close relationship between increased infestation levels and the other parameters evaluated, ozone-treated grains showed in general lower values than those subjected to atmospheric air. There was no change in grain classification in grains treated or not with ozone.

**Key-words:** storage, ozonization, grain protection.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos cinco anos, a utilização de ozônio tem se expandido em diferentes áreas de aplicação, como proteção de grãos contra insetos-praga, tratamento de água potável, efluentes domésticos e industriais, processos de branqueamento de celulose, processamento de alimentos, e outros (ROZADO, 2005), tendo sido aprovado pelo FDA (Food and Drug Administration) dos Estados Unidos para essa finalidade (RICE; GRAHAM, 2002).

O ozônio é um forte agente oxidante com propriedades biocidas (QIN-ZHANGUI et al., 2003), que pode ser gerado no próprio local de uso através de uma descarga elétrica, descartando a necessidade de manipulação, armazenamento ou eliminação de embalagens (KELLS et al., 2001). Sua utilização na agricultura vem se tornando atraente pelo fato de seu produto de degradação, oxigênio (O<sub>2</sub>), não deixar qualquer resíduo (MENDEZ et al., 2003).

A expansão do conhecimento sobre os fatores que podem interferir na exposição do ozônio sobre a massa de grãos, bem como sua interação com os agentes bióticos comuns na massa de grãos, pode permitir melhor compreensão de sua influência na qualidade dos grãos. JAY et al. (1971) afirmam que o efeito da temperatura no período de tempo necessário para se obter uma fumigação eficiente é tão importante quanto as técnicas que utilizam fumigantes convencionais. De acordo com FARONI et al. (2002), aumenta-se o potencial letal das atmosferas quando se aumenta a temperatura do tratamento ou do período de exposição. Contudo, é válido lembrar que temperaturas mais elevadas podem ser responsáveis pela degradação do inseticida durante sua aplicação (PIMENTEL et al., 2004, 2005).

Embora alguns autores tenham relatado a eficácia do ozônio no controle de insetos-praga de grãos armazenados (KELLS et al., 2001; MENDEZ et al., 2003; QIN-ZHANGUI et al., 2003), pouco se sabe sobre a influência deste gás na qualidade dos grãos durante o armazenamento. São vários os testes que podem ser empregados para verificar e monitorar a qualidade dos grãos durante o armazenamento, como teor de umidade, grau de infestação, massa específica aparente, condutividade elétrica, suscetibilidade à quebra e teste de germinação (BRASIL, 1992; BROOKER et al., 1992; VIEIRA; CARVALHO, 1994).

O teor de umidade dos grãos é um dos fatores preponderantes na preservação da qualidade dos grãos durante o armazenamento. O alto teor de água é a principal causa das reduções na qualidade fisiológica de sementes armazenadas, uma vez que favorece a elevação da temperatura da massa e o ataque de insetos e fungos (POPINIGS, 1985). O grau de infestação determina a porcentagem de grãos que se encontra danificada por ataque de insetos. Essa infestação pode ocorrer ainda no campo, devido ao atraso da colheita, ou durante o período de armazenamento, o que compromete o valor comercial dos grãos (BRASIL 1992). A condutividade elétrica tem o seu princípio embasado na quantidade de íons liberados numa solução aquosa, a qual está diretamente relacionada com a integridade das membranas celulares. Portanto, membranas mal estruturadas e células danificadas estão, geralmente, associadas com o processo de deterioração dos grãos (VIEIRA; CARVALHO, 1994). Já a massa específica aparente é um parâmetro de qualidade que indica a massa de grãos que pode ser comportada num determinado volume (RUFFATO et al., 1999). O seu decréscimo geralmente está associado a teores de umidade dos grãos, invasões por fungos e insetos, temperaturas durante a secagem e variedade dos grãos (BROOKER et al., 1992).

Considerando o potencial de uso do gás ozônio no controle de insetos-praga de produtos armazenados, realizou-se o presente estudo com o objetivo de avaliar e monitorar os seus efeitos imediatos e latentes sobre a qualidade dos grãos de milho durante o armazenamento.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram realizados no Setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Investigou-se o efeito imediato e latente do gás ozônio, na dose de 50 ppm, durante 168 horas, aplicado em diferentes temperaturas da massa de grãos de milho (20, 30, 35 e 40 °C), sobre a qualidade dos grãos ao longo do armazenamento. Para comparação dos resultados, ar ambiente foi aplicado, durante 168 horas, na massa de grãos de milho nas mesmas condições do tratamento com gás ozônio.

## **2.1. Obtenção do ozônio e do ar atmosférico**

O gás ozônio foi obtido de um gerador desenvolvido pelo Departamento de Física do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). No processo de geração do gás, utilizou-se como insumo ar ambiente seco (ponto de orvalho menor que  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), passando um ou outro através de um reator refrigerado, onde existe a Descarga por Barreira Dielétrica (DBD). Esse tipo de descarga é produzido ao se aplicar uma alta tensão elétrica entre dois eletrodos paralelos, tendo entre eles um dielétrico (vidro) e um espaço livre por onde flui o ar seco ou o oxigênio. Nesse espaço livre é produzida uma descarga em forma de filamentos, onde são gerados elétrons com energia suficiente para produzir a quebra das moléculas de oxigênio, formando o ozônio ( $\text{O}_3$ ).

O ar seco utilizado como insumo foi obtido a partir de um compressor de ar instalado juntamente com um filtro de alumina. Na saída do filtro foi instalada, ainda, uma conexão com duas saídas: uma passando pelo gerador de ozônio e a outra indo diretamente para o sistema que utilizou ar ambiente (testemunha). A produção de ozônio foi regulada em função da tensão aplicada, ajustada no variador de tensão do gerador, e do fluxo de ar seco, monitorado com auxílio de um medidor de fluxo de ar. A concentração de ozônio foi medida por meio de um espectrofotômetro com resolução de  $0,1\text{ g m}^{-3}$ . Com o intuito de aumentar a precisão nas leituras de concentração, um multímetro foi conectado ao espectrofotômetro, para que fosse possível estabelecer uma relação entre os valores lidos no espectrofotômetro ( $\text{g m}^{-3}$ ) e a corrente elétrica (mA).

## **2.2. Exposição dos grãos de milho ao gás ozônio e ao ar ambiente**

Para exposição ao ozônio e ao ar ambiente, grãos de milho do tipo 1 (25 kg) foram acondicionados em seis recipientes cilíndricos de PVC com 20 cm de diâmetro e 100 cm de altura. Nas tampas inferior e superior dos cilindros foram instaladas conexões para injeção e exaustão do gás. A 10 cm do fundo do recipiente, colocou-se uma tela metálica para sustentação dos grãos e formação de uma câmara, visando melhor distribuição do gás. Os grãos de milho foram expostos ao ozônio e ao ar ambiente durante 168 horas.

### 2.3. Controle da temperatura da massa de grãos

Os cilindros contendo os grãos de milho foram acondicionados em câmaras climáticas com a temperatura do ar controlada conforme a temperatura da massa de grãos, que foi monitorada por meio de um sistema computacional de aquisição e armazenamento de dados denominado *I-wire<sup>TM</sup>*. Este sistema é constituído de uma rede de transmissão de dados, em que, através de um programa, um único cabo condutor permite a comunicação entre o computador e os sensores de temperatura na massa de grãos (MARTINS et al., 2004).

### 2.4. Avaliação da qualidade dos grãos

Depois da exposição ao ozônio e ao ar atmosférico em cada temperatura, a massa de grãos foi homogeneizada e distribuída em frascos de vidro de 2,5 L, como mostrado nas Figuras 1 e 2, os quais foram armazenados em condições ambientes durante 180 dias. Para avaliação da qualidade dos grãos de milho, em seguida ao tratamento e a cada 45 dias, determinou-se, além da classificação dos grãos, o grau de infestação, o teor de umidade, a massa específica aparente e a condutividade elétrica da solução que continha os grãos.



Figura 1 – Foto ilustrando a homogeneização dos grãos antes do armazenamento nos frascos de vidros.



Figura 2 – Fotos dos grãos armazenados nos frascos de vidros.

#### **2.4.1. Infestação por insetos-praga**

Para avaliar o percentual de grãos danificados por insetos, três amostras de 100 grãos de milho, escolhidas ao acaso, foram imersas em água durante 24 horas – tempo suficiente para amolecer os grãos. Em seguida, os grãos foram cortados e examinados individualmente. Foram considerados infestados, além dos grãos que continham larva, pupa ou inseto adulto, todos os que apresentavam orifícios de saída do inseto, conforme recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). O resultado foi obtido através da média de grãos infestados e expresso em porcentagem.

#### **2.4.2. Teor de umidade**

O teor de umidade dos grãos foi determinado utilizando-se o método de estufa, segundo as normas da ASAE (2000), as quais prescrevem a utilização de estufa com circulação de ar forçado a  $103 \pm 3$  °C, durante 72 horas. Foram utilizadas três repetições de 30 g de grãos para cada temperatura e período de armazenamento. Os resultados foram expressos em porcentagem.

### 2.4.3. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da solução contendo grãos de milho foi medida utilizando-se o Sistema de Copo ou Condutividade de Massa (VIEIRA; CARVALHO, 1994). Os testes foram realizados com três repetições de 50 grãos para cada temperatura e período de armazenamento. Os grãos foram pesados em balança com precisão de 0,01 g e colocados em copos de plásticos com capacidade para 200 ml, aos quais foram adicionados 75 ml de água deionizada. Em seguida, os copos foram postos em câmara climática do tipo BOD à temperatura de 25 °C, durante 24 horas. Depois desse período os copos foram retirados da câmara, para que fossem feitas as medições da condutividade elétrica da solução contendo os grãos. As leituras foram feitas com um medidor de condutividade elétrica da marca Tecnonon, modelo CA-150 (Figura 3), com ajuste para compensação de temperatura e eletrodo, com a constante da célula de  $1 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com uma solução-padrão de cloreto de sódio com condutividade elétrica conhecida à temperatura de 25 °C. O valor da condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) fornecido pelo aparelho foi dividido pela quantidade de matéria seca dos grãos, obtendo-se então o valor expresso em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  de matéria seca.



Figura 3 – Foto do medidor de condutividade elétrica e das amostras preparadas para leitura.

### 2.4.4. Massa específica aparente

A determinação da massa específica aparente foi feita com auxílio de balança hectolétrica, com capacidade de um quarto de litro ou 250 ml. Foram feitas cinco leituras para cada amostra, sendo escolhidas as três mais próximas. Como o peso

hectolétrico de uma amostra varia de acordo com o seu teor de umidade, fizeram-se determinações simultaneamente (BRASIL, 1992).

#### **2.4.5. Classificação**

Os grãos foram classificados de acordo com a Portaria nº 845, de 8.11.1976, do Ministério da Agricultura.

#### **2.4.6. Análise dos dados**

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 2x5, sendo dois tratamentos com e sem ozônio e cinco períodos de armazenamento (0, 45, 90, 135 e 180 dias), em três repetições, para cada temperatura (20, 30, 35 e 40 °C). A partir dos valores obtidos, foi feita análise de regressão em função do tempo, para todas as determinações, com a finalidade de comparar possíveis diferenças entre tratamentos.

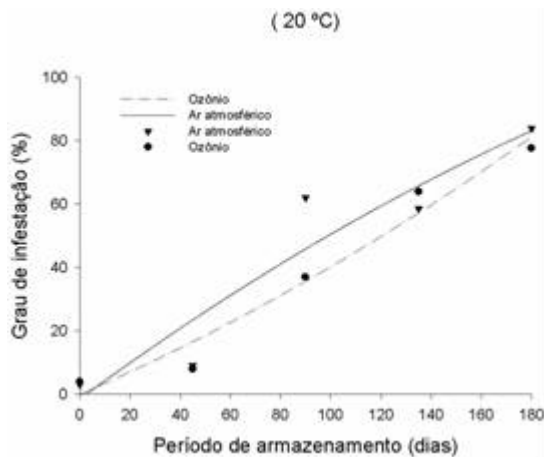
### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Infestação por insetos-praga e teor de umidade dos grãos**

Os resultados mostraram estreita relação entre o grau de infestação por insetos (Figura 4) e o teor de umidade dos grãos (Figura 5). Observa-se que, com a elevação do percentual de grãos infestados, maior foi o teor de umidade dos grãos. Santos et al. (2002) também observaram relação entre o grau de infestação por insetos e o teor de umidade dos grãos. Esses autores verificaram que o aumento da infestação de grãos de milho por *S. zeamais* durante o armazenamento foi acompanhado por elevação do teor de umidade dos grãos. De acordo com LOECK (2002), o ataque de insetos provoca danos no tegumento da semente, aumentando a produção de gás carbônico e água. Isso contribui para o aumento do teor de umidade da massa armazenada, que, por sua vez, aumenta a taxa de respiração e, conseqüentemente, a temperatura, tornando o ambiente propício para sua proliferação, além de facilitar a multiplicação de fungos e ácaros.

Observa-se ainda nas Figuras 4 e 5 que, à medida que se elevou a temperatura da massa de grãos no momento da fumigação com ozônio e ar ambiente, o grau de infestação por inseto e o teor de umidade dos grãos foram menores (35 °C) ou praticamente constantes (40 °C) durante o período de armazenamento. De acordo com FARONI et al.(2002), temperaturas mais elevadas tornam os insetos mais suscetíveis à ação dos fumigantes e, conseqüentemente, aumentam a eficácia de aplicação do tratamento. Em temperaturas altas, além da elevação da taxa respiratória dos insetos (THRONE et al., 2000) e do maior consumo de O<sub>2</sub> e produção de CO<sub>2</sub> (CELARO, 2002), há maior gasto energético para manutenção da integridade do ambiente interno das células (HOSTETLER et al., 1994; HARAK et al., 1999), o que os torna mais suscetíveis à ação dos fumigantes.

O aumento da quantidade de grãos infestados ao longo do armazenamento pode ser atribuído ao fato de o ozônio, na concentração de 50 ppm, não penetrar eficazmente no pericarpo dos grãos para matar os insetos nas fases jovens, que se encontram nas partes mais internas dos grãos (STRAIT, 1998). Por outro lado, resultados promissores foram encontrados para larvas de *Plodia interpunctella* (Hubner), *T. castaneum* e *T. confusum* (Du Val) (ERDMAN, 1980; KELLS et al., 2001), em razão de ocorrerem na superfície dos grãos. ERDMAN (1980) observou a mortalidade de larvas de *T. castaneum* e *T. confusum* ao serem expostas ao gás ozônio em uma concentração de 45 ppm.



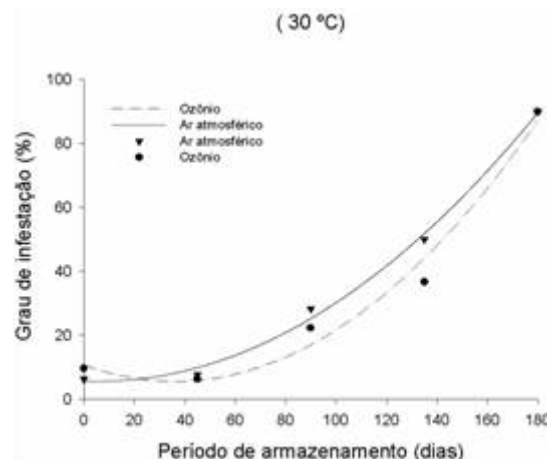
$$(Y_{(a)AR} = -0,0006X^2 + 0,5825X - 1,52)$$

$$(R^2 = 0,86; P < 0,0001; F = 38,41);$$

$$(Y_{(a)OZ} = 0,0006X^2 + 0,3418X - 0,057)$$

$$(R^2 = 0,91; P < 0,0001; F = 61,82); \text{ sendo:}$$

Y = grau de infestação  
X = período de armazenamento.



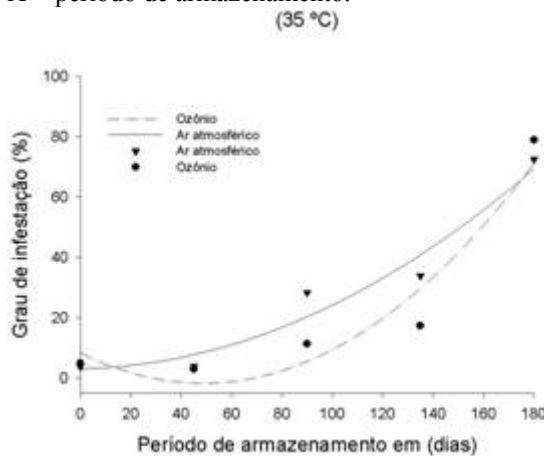
$$(Y_{(b)AR} = 0,0028X^2 - 0,0314X + 5,72)$$

$$(R^2 = 0,96; P < 0,0001; F = 153,51);$$

$$(Y_{(b)OZ} = 0,0039X^2 - 0,2846X + 10,75)$$

$$(R^2 = 0,92; P < 0,0001; F = 75,66); \text{ sendo:}$$

Y = grau de infestação  
X = período de armazenamento.



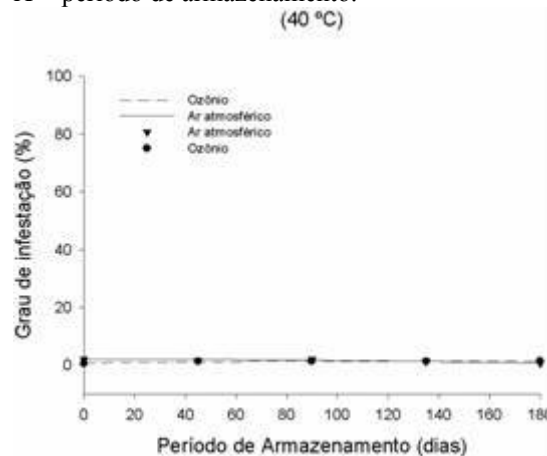
$$(Y_{(a)AR} = 0,0020X^2 + 0,0152X + 3,11)$$

$$(R^2 = 0,84; P < 0,0001; F = 29,40);$$

$$(Y_{(a)OZ} = 0,0042X^2 - 0,4113X + 8,29)$$

$$(R^2 = 0,89; P < 0,0001; F = 47,53); \text{ sendo:}$$

Y = grau de infestação  
X = período de armazenamento



$$(Y_{(b)AR} = -0,0001X^2 + 0,0028X + 1,90)$$

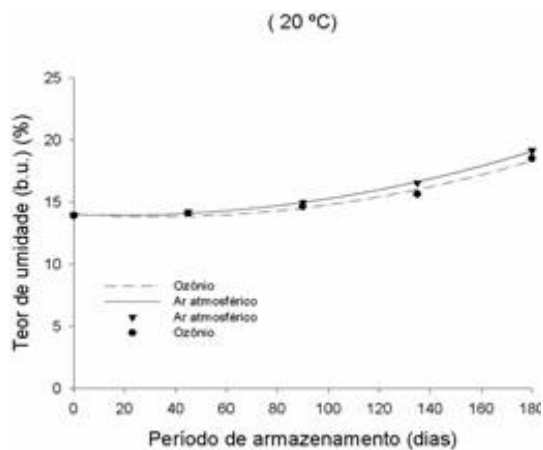
$$(R^2 = 0,27; P = 0,1749; F = 2,05);$$

$$(Y_{(b)OZ} = 0,0104X + 0,75)$$

$$(R^2 = 0,15; P = 0,3983; F = 1,00); \text{ sendo:}$$

Y = grau de infestação  
X = período de armazenamento.

Figura 4 – Efeito do período de armazenamento sobre o grau de infestação por insetos nos grãos de milho submetidos ao gás ozônio e ar atmosférico, nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C.



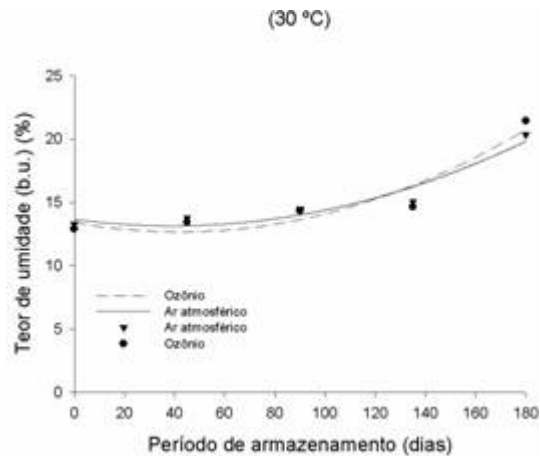
$$(Y_{(a)AR} = 0,0002 X^2 - 0,0066X + 13,98)$$

$$(R^2 = 0,93; P < 0,0001; F = 303,92);$$

$$(Y_{(a)OZ} = 0,0002 X^2 - 0,0129X + 14,02)$$

$$(R^2 = 0,87; P < 0,0001; F = 149,98); \text{ sendo:}$$

Y= teor de umidade  
X = período de armazenamento



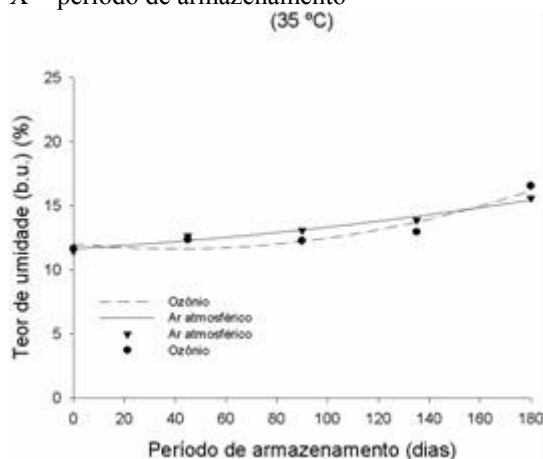
$$(Y_{(b)AR} = 0,0003 X^2 - 0,0264X + 13,39)$$

$$(R^2 = 0,85; P < 0,0001; F = 128,75);$$

$$(Y_{(b)OZ} = 0,0004 X^2 - 0,0354X + 13,39)$$

$$(R^2 = 0,75; P < 0,0001; F = 66,39); \text{ sendo:}$$

Y= teor de umidade  
X = período de armazenamento.



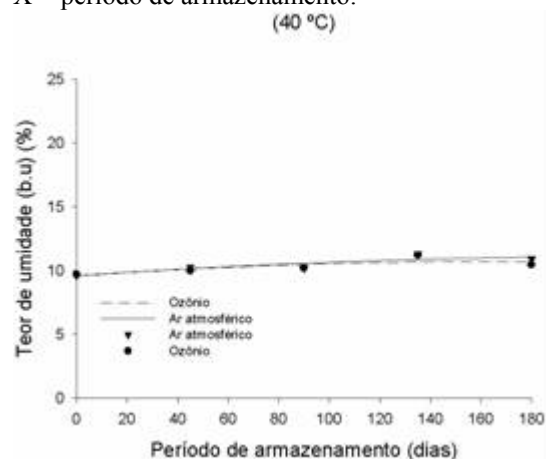
$$(Y_{(a)AR} = 0,0002 X^2 - 0,0184X + 12,00)$$

$$(R^2 = 0,82; P < 0,0001; F = 99,16);$$

$$(Y_{(a)OZ} = 0,0001 X^2 + 0,0116X + 11,64)$$

$$(R^2 = 0,86; P < 0,0001; F = 133,03); \text{ sendo:}$$

Y= teor de umidade  
X = período de armazenamento



$$(Y_{(b)AR} = 0,0135X + 9,61)$$

$$(R^2 = 0,49; P < 0,0001; F = 20,57);$$

$$(Y_{(b)OZ} = 0,0142X + 9,58)$$

$$(R^2 = 0,38; P < 0,0001; F = 13,12); \text{ sendo:}$$

Y= teor de umidade  
X = período de armazenamento.

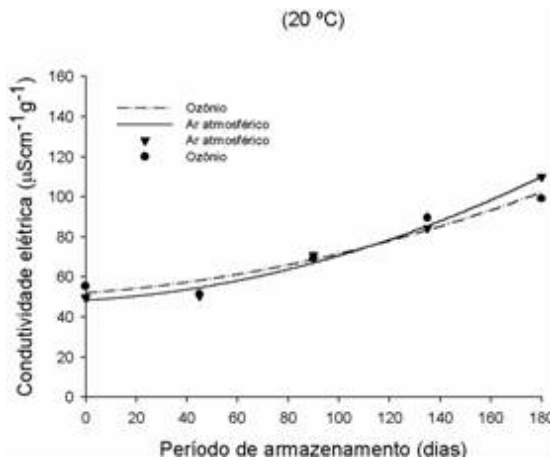
Figura 5 – Efeito do período de armazenamento sobre o teor de umidade dos grãos de milho submetidos ao gás ozônio e ar atmosférico, nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C.

### 3.2. Condutividade elétrica

Os resultados encontrados para a condutividade elétrica da solução que continha os grãos de milho (Figura 6) também mostraram relação com o grau de infestação (Figura 4). O aumento da condutividade elétrica das soluções está relacionado à deterioração dos grãos (VIEIRA; CARVALHO, 1994), que tem como uma das

principais causas o ataque de insetos (LOECK, 2002). Ressalta-se ainda que a infestação por inseto favorece o desenvolvimento de fungos. Segundo BERJAK (1987), consideráveis alterações bioquímicas ocorrem em sementes infectadas, como resultado da atividade fúngica.

Em geral, os grãos submetidos ao gás ozônio na concentração de 50 ppm, durante 168 horas consecutivas, apresentaram maior deterioração da membrana celular, medida pela condutividade elétrica (Figura 6), principalmente para temperaturas mais elevadas da massa de grãos. Resultados semelhantes foram observados por ROZADO (2005), quando grãos de milho foram submetidos a uma atmosfera modificada com 50 ppm de ozônio durante 168 horas. Com isso, pode-se inferir que grãos submetidos ao tratamento com atmosfera modificada com 50 ppm de ozônio, em períodos de 168 horas consecutivas, poderão ter redução moderada no seu valor qualitativo.



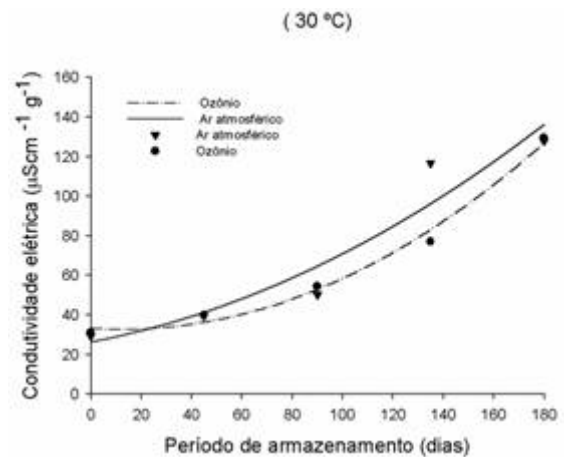
$$(Y_{(a)AR} = 0,0015X^2 + 0,0736X + 48,31)$$

$$(R^2 = 0,90; P < 0,0001; F = 196,48);$$

$$(Y_{(a)OZ} = 0,0010X^2 + 0,0918X + 51,98)$$

$$(R^2 = 0,84; P < 0,0001; F = 112,34); \text{ sendo:}$$

Y = condutividade elétrica  
X = período de armazenamento



$$(Y_{(b)AR} = 0,0021X^2 + 0,2392X + 26,26)$$

$$(R^2 = 0,89; P < 0,0001; F = 196,48);$$

$$(Y_{(b)OZ} = 0,0033X^2 - 0,082X + 33,18)$$

$$(R^2 = 0,90; P < 0,0001; F = 205,45); \text{ sendo:}$$

Y = condutividade elétrica  
X = período de armazenamento



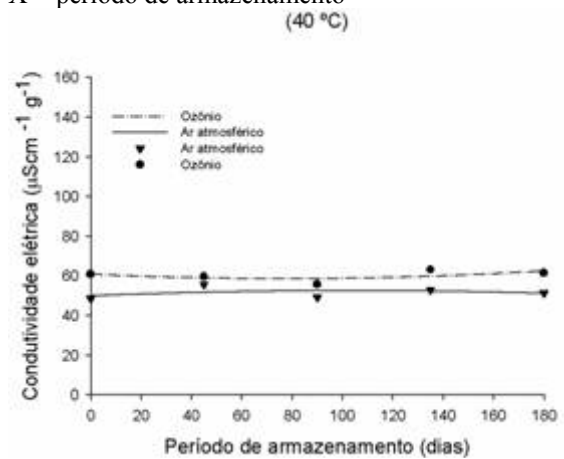
$$(Y_{(a)AR} = 0,0012X^2 - 0,018X + 42)$$

$$(R^2 = 0,75; P < 0,0001; F = 65,33);$$

$$(Y_{(a)OZ} = -0,0032X^2 - 0,2494X + 46,12)$$

$$(R^2 = 0,87; P < 0,0001; F = 151,39); \text{ sendo:}$$

Y = condutividade elétrica  
X = período de armazenamento



$$(Y_{(b)AR} = -0,0002X^2 + 0,0507X + 49,95)$$

$$(R^2 = 0,05; P < 0,0001; F = 1,23);$$

$$(Y_{(b)OZ} = 0,0004X^2 - 0,0583X + 60,80)$$

$$(R^2 = 0,10; P < 0,0001; F = 2,37); \text{ sendo:}$$

Y = condutividade elétrica  
X = período de armazenamento

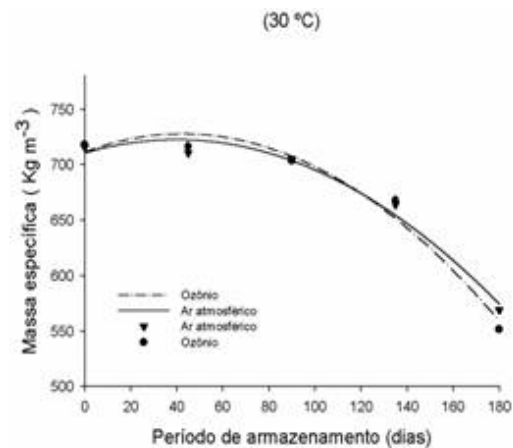
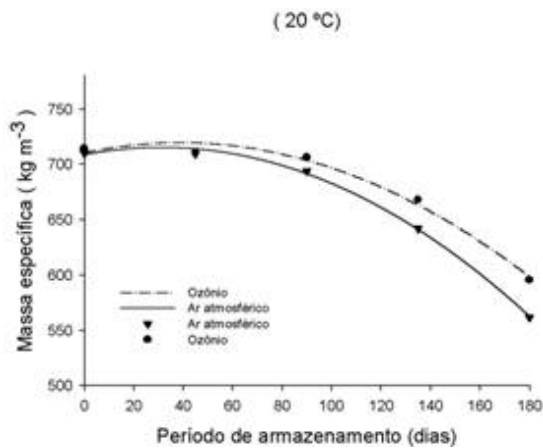
Figura 6 – Efeito do período de armazenamento sobre a condutividade elétrica dos grãos de milho submetidos ao gás ozônio e ar atmosférico, nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C.

### 3.3. Massa específica aparente

A massa específica dos grãos de milho submetidos ao gás ozônio e ao ar atmosférico (Figura 7) diminuiu ao longo do armazenamento proporcionalmente ao aumento do grau de infestação (Figura 4) e do teor de umidade dos grãos (Figura 5).

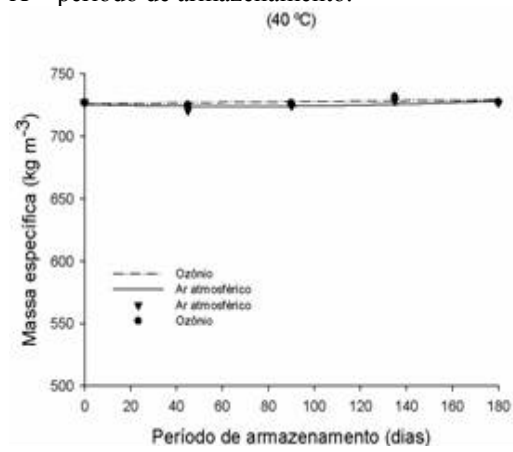
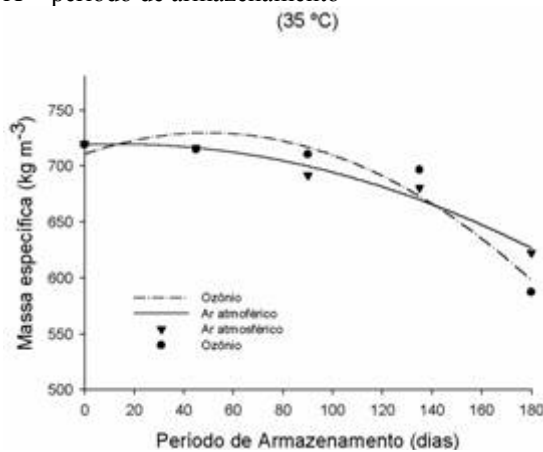
Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA et al. (2003), ao relacionarem a massa específica aparente de grãos de milho com o grau de infestação e com o teor de água dos grãos. De acordo com esses autores, a massa específica dos grãos pode reduzir proporcionalmente com a elevação da infestação por insetos e com a elevação dos teores de umidade dos grãos.

Para a temperatura da massa de grãos de 40 °C, durante o processo de fumigação com ozônio e com ar ambiente, a massa específica dos grãos de milho permaneceu praticamente constante, confirmando o menor grau de infestação (Figura 4), e o teor de umidade (Figura 5) dos grãos permaneceu praticamente constante ao longo do armazenamento.



$(Y_{(a)AR} = -0,0069X^2 + 0,4316X + 708,49)$   
 $(R^2 = 0,92; P < 0,0001; F = 274,17);$   
 $(Y_{(a)OZ} = -0,0061X^2 + 0,4700X + 710,41)$   
 $(R^2 = 0,84; P < 0,0001; F = 116,74);$  sendo:  
 Y = massa específica  
 X = período de armazenamento

$(Y_{(b)AR} = -0,0076X^2 + 0,6037X + 710,42)$   
 $(R^2 = 0,93; P < 0,0001; F = 304,06);$   
 $(Y_{(b)OZ} = -0,0089X^2 + 0,7575X + 711,62)$   
 $(R^2 = 0,85; P < 0,0001; F = 124,29);$  sendo:  
 Y = massa específica  
 X = período de armazenamento.



$(Y_{(a)AR} = -0,0034X^2 + 0,0908X + 718,95)$   
 $(R^2 = 0,68; P < 0,0001; F = 45,30);$   
 $(Y_{(a)OZ} = -0,0077X^2 + 0,7643X + 710,65)$   
 $(R^2 = 0,87; P < 0,0001; F = 147,54);$  sendo:  
 Y = massa específica  
 X = período de armazenamento

$(Y_{(b)AR} = 0,0003X^2 - 0,0470X + 725,31)$   
 $(R^2 = 0,18; P = 0,0131; F = 4,81);$   
 $(Y_{(b)OZ} = 0,0281X + 725,62)$   
 $(R^2 = 0,10; P = 0,0903; F = 2,54);$  sendo:  
 Y = massa específica  
 X = período de armazenamento

Figura 7 – Efeito do período de armazenamento sobre a massa específica aparente dos grãos de milho submetidos ao gás ozônio e ar atmosférico, nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C.

### 3.4. Classificação

A classificação dos grãos de milho avaliados durante o armazenamento incluiu, além do total de grãos avariados e do tipo final, outras informações qualitativas, como o

percentual de grãos ardidos. Não foi observada qualquer alteração significativa em relação aos grãos submetidos ao gás ozônio e ao ar atmosférico, exceto para o período de armazenamento (Tabela 1). Os grãos classificados como tipo 1 apresentaram-se, no final de 180 dias de armazenamento, como tipo 2, em razão do total de avariados. Os resultados da classificação confirmaram mais uma vez o aumento do grau de infestação (Figura 4) ao longo do armazenamento.

Tabela 1 - Efeito do período de armazenamento sobre o tipo final dos grãos de milho submetidos ao gás ozônio e ar atmosférico, nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C

Temperatura da massa de grãos	Período de armazenamento	Classificação			
		Total de avariados (%)		Tipo	
		Ar atmosférico	Ozônio	Ar atmosférico	Ozônio
20 °C	0	7,08	7,44	1	1
	45	3,92	4,48	1	1
	90	4,52	5,6	1	1
	135	-	5,12	-	1
	180	-	-	-	-
30 °C	0	6,6	0	1	1
	45	6,36	7,72	1	1
	90	-	-	-	-
	135	5,72	5,44	1	1
	180	-	-	-	-
35 °C	0	10,6	6,4	1	1
	45	6,24	8,12	1	1
	90	-	-	-	-
	135	5,32	4,76	1	1
	180	14,88	11,4	2	2
40 °C	0	8,2	6,64	1	1
	45	1,96	4,92	1	1
	90	3,72	5,36	1	1
	135	2,92	2,32	1	1
	180	15,21	20,75	2	2

#### 4. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que o tratamento com o gás ozônio na concentração de 50 ppm, em comparação ao tratamento com ar atmosférico, durante 168 horas consecutivas, não afetou a qualidade dos grãos de milho durante o

armazenamento. A elevação da temperatura da massa de grãos no momento do tratamento com o gás ozônio, na concentração de 50 ppm, possivelmente afeta a integridade da membrana celular e, conseqüentemente, a perda de qualidade fisiológica, para temperatura acima de 35 °C.

## REFERÊNCIAS

ASAE - **Moisture Measurement-Unground grain and seeds**. Page 563 In: Standards 2000 St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1992. 365p.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and stored of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.

BERJAK, P. Stored seeds: The problems caused by microorganisms (with particular reference to the fungi) In: NASSER, L. C.; WETEZ, M. M.; FERNANDES, J. M. **Seed Pathology**, Brasília: Informativo ABRATES, 1987. p.38-50.

CELARO, J. C., Métodos curativos de controle de pragas de grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p.493-529.

ERDMAN, H. E. Ozone toxicity during ontogeny of two species of flour beetles, *Tribolium confusum* e *T. castaneum*. **Environmental Entomology**, v. 9, p.16-17, 1980.

FARONI, L. R. D.; GUEDES, R. N. C.; BERBEERT, P. A.; SILVA, A. P. R. A. Atmosfera modificada no controle das pragas de grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p.463-491.

JAY, E. G. **Suggested conditions and procedures for using carbon dioxide to control insects in grain storage facilities**, Washington: Agriculture Research Service, 1971, 6p. (Report, ARS 51-46).

HARAK, M.; LAMPRECHT, I.; KUUSIK, A.; HIIESAAR, K.; METSPALU, L.; TARTES, U. Calorimetric investigations of insect metabolism and development under

the influence of a toxic plant extract. **Thermochimistry Acta**, v.333, n.1, p.39-48, 1999.

HOSTETLER, M. E.; ANDERSON, J. F.; LANCIANI, C. Pesticide resistance and metabolic rate in german cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). **Florida Entomologist**, v.77, n.2, p.288-290, 1994.

KELLS, S. A.; MASON, L. J.; MAIER, D. E.; WOLOSOSHUK, C. P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.37, n.4, p.371-383, 2001.

RICE, R. G.; GRAHAM, D. M. "Recent developments in Food and Agricultural Uses of Ozone", Annual Conference - Ozone Applications in a Changing Regulatory Environment – IOA - Raleigh, North Caroline, 1-12, 2002.

ROZADO, A. F. **Ozônio como fumigante na proteção de milho armazenado**. (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. 46f. Dissertação.

LOECK, A. E., **Pragas de produtos armazenados**. Pelotas: EGUPEL, 2002. 113p.

MARTINS, J. H.; MONTEIRO, P. M. B.; MOTA, A. M. N.; FONSECA, J. A. G. The *I-wire<sup>TM</sup>* System – An Application for Agricultural Processes. In: Portuguese Conference on Automatic Control, 6, 2004, Faro, Portugal. **Proceedings...** Faro, Portugal: Controlo, 2004, v.2, p.602-607.

MENDEZ, F.; MAIER, D. E.; MASON, L. J.; WOLOSOSHUK, C. P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and performance. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.39, n.1, p. 33-44, 2003.

PIMENTEL, M. A. G.; FARONI, L. R. D. A.; GONÇALVES, J. R.; OLIVEIRA, C. R. F.; ALENCAR, E. R. Influencia da temperatura na eficácia biológica de pirimifós metílico em milho armazenado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.29, n.1, p58-61, 2004.

PIMENTEL, M. A. G.; FARONI, L. R. D. A.; GUEDES, R. N. C.; GONÇALVES, J. R.; OLIVEIRA, C. R. F. Eficácia biológica de bifentrina aplicado em milho armazenado sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.263-267, 2005.

POPINIGIS, F. Qualidade fisiológica da semente. IN: **Fisiologia da semente**. Brasília, 289p. 1985.

RUFFATO, S.; CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; MANTOVANI, B. H. M.; SILVA, J. N. Influência do processo de secagem sobre a massa específica aparente, massa específica unitária e porosidade de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.45-48, 1999.

SANTOS, A. K.; FARONI, L. R. D.; GUEDES, R. N. C.; SANTOS, J. P.; ROZAZDO, A. F. Nível de dano econômico de *Sitophilus zeamais* (M.) em trigo armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.273-279, 2002.

SILVA, A. A. L.; FARONI, L. R. D. A.; GUEDES, R. N. C.; MARTINS, J. H.; PIMENTEL, M. A. G. Modelagem das perdas causadas por *Sitophilus zeamais* e *Rhyzopertha dominica* em trigo armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.292-296, 2003.

STRAIT, C.A., IN. **Efficacy of ozone to control insects and fungi in stored grain**. Purdue University, West Lafayette, IN, 1998, 59p. (M.S. thesis)

THRONE, J. E.; BAKER, J. E.; MESSINA, F. J.; KRAMER, K. J.; HOWARD, J. A.; Varieal resistance. In: SUBRAMANYAM, B.; HAGSTRUM, D.W. **Alternatives to pesticides in stored-product IMP**. Massachusetts: Kluwer Academic, 2000. p.165-192.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164p.

ZHANGGUI, Q.; XIA, W.; GANG, D.; XIAOPING, Y.; XUECHAO, H.; DEKE, X.; XINGWEN, L. Investigation of the use of ozone fumigation to control several species of stored grain insects. In: International Working Conference on Stored-Product Protection, 8, 2002, York. **Advances in stored product protection**, York, 2003, v.1, p.846-851.

# *Terceiro capítulo*

## Viabilidade econômica do gás ozônio como fumigante em grãos de milho armazenados

ALEXANDRE DE MELO PEREIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Email: amelo\_pereira@yahoo.com.br

### **RESUMO**

Este trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade econômica da utilização do ozônio como fumigante. Adotou-se como parâmetro de produção a diferença do valor final da massa específica aparente dos grãos ozonizados com os não-ozonizados, em diferentes temperaturas da massa de grãos (20, 30, 35 e 40 °C), armazenados à temperatura ambiente durante 180 dias. Os indicadores usados na análise econômica foram o tempo de retorno do capital, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno, utilizando uma taxa de desconto de 6% ao ano. Os indicadores demonstraram maior rentabilidade de aplicação do ozônio quando os grãos de milho foram armazenados durante 90, 135 e 180 dias após a ozonização realizada na temperatura da massa de grãos a 20 °C.

**Palavras-chave:** ozonização, proteção de grãos, análise econômica.

## **ABSTRACT**

The present work aimed to study the economical viability of using ozone as fumigant. The difference between the final value of apparent specific grain mass between ozone-treated and non-treat grain was used as production parameter at different maize grain temperatures (20, 30, 35 and 40 °C) stored for 180 days. The indicators used for economical analysis were time length for the capital return, present net value and inner return rate using a discount rate of 6% per year. The indicators showed higher profit of ozone application for grains stored during 90, 135 and 180 days at 20 °C.

**Key-words:** ozonization, grain protection, economical analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

A agroindústria brasileira vem se destacando com o aumento da produção, principalmente de grãos, obtido com investimentos em novas tecnologias de plantio e colheita, além do uso de variedades mais produtivas, o que tem feito do Brasil um dos maiores produtores de grãos do mundo. A produção brasileira de milho é responsável, atualmente, por 33,5% da produção total de grãos do país, cerca de 122,7 milhões toneladas, segundo a estimativa da safra de 2005/2006 (CONAB, 2006).

A conservação de grãos e a sua proteção ao longo do seu armazenamento constituem-se em uma necessidade social e econômica. Toda reserva destinada à alimentação deve ser cuidadosamente conservada durante o armazenamento, para que não se altere o seu valor nutritivo. O tipo de grão e o tratamento a que foi submetido durante o seu manejo e processamento irão orientar a definição do procedimento correto a ser adotado no seu armazenamento. No entanto, o Brasil não possui um sistema eficiente para armazenagem de grãos e investe pouco em novas tecnologias pós-colheita, convivendo com elevadas perdas causadas por insetos-praga que infestam grãos e subprodutos armazenados.

Atualmente, o setor agrícola enfrenta o problema do baixo valor agregado de seus produtos e do alto custo de seus insumos, que podem reduzir a margem de lucro da atividade do setor agrícola (SANTOS, 2002). Em razão dos resultados de pesquisas que apontam o potencial do ozônio no controle de fungos e insetos-praga de grãos armazenados, este gás tem se tornado uma importante alternativa para proteção de produtos armazenados. Sua utilização na agricultura vem se tornando atraente pelo fato de poder ser gerado no próprio local de uso e descartar a necessidade de embalagens e transporte de mercadorias (MENDEZ et al., 2003).

KELLS et al. (2001), ao avaliarem a eficácia do ozônio como fumigante para desinfestação de milho armazenado, verificaram que o tratamento de 8,9 toneladas de grãos de milho com 50 ppm de ozônio durante três dias resultou numa faixa de mortalidade entre 92 e 100% de adultos de *T. castaneum* e *S. zeamais*, de larva de *Plodia interpunctella* (Hubner, 1813), tendo reduzido em 63% o nível de contaminação do fungo *Aspergillus parasiticus*. Estes autores mencionam que ERDMAN (1980) observaram a mortalidade de larvas de *T. castaneum* e *T. confusum* ao serem expostas ao gás ozônio a uma concentração de 45 ppm.

Com relação à qualidade dos grãos, STRAIT (1998) constatou que o milho tratado com ozônio na concentração de 50 ppm não sofreu alteração na germinação. MENDEZ et al. (2003) observaram que não houve alterações na concentração de aminoácidos e ácidos graxos de grãos de trigo, milho, soja, arroz e milho-pipoca tratados com ozônio na concentração de 50 ppm.

Diante desses resultados, faz-se necessário que sejam feitos estudos detalhados sobre a viabilidade econômica dessa nova tecnologia. Uma análise dessa natureza é de fundamental importância por trazer contribuições para o setor agrícola, podendo auxiliar na tomada de decisão acerca do planejamento, da administração e do retorno financeiro da atividade de armazenagem. Dessa forma, o presente trabalho foi desenvolvido com o propósito de estudar a viabilidade econômica da utilização de ozônio como fumigante.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram realizados no Setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Avaliou-se a viabilidade econômica do gás ozônio fumigado na dose de 50 ppm, durante 168 horas, aplicado em diferentes temperaturas da massa de grãos de milho (20, 30, 35 e 40 °C). Para comparação dos resultados, ar ambiente foi aplicado, durante 168 horas, na massa de grãos de milho nas mesmas condições do tratamento com gás ozônio. Na avaliação econômica foi utilizado o custo de implantação e utilização do equipamento, a massa específica aparente e os indicadores tempo de retorno do capital, valor presente líquido e taxa interna de retorno.

### **2.1. Obtenção do ozônio e do ar atmosférico**

O gás ozônio foi obtido de um gerador desenvolvido pelo Departamento de Física do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). No processo de geração do gás, utilizou-se como insumo ar ambiente seco (ponto de orvalho menor que -40 °C), passando um ou outro através de um reator refrigerado, onde existe a Descarga por Barreira Dielétrica (DBD). Esse tipo de descarga é produzido ao se aplicar uma alta tensão elétrica entre dois eletrodos paralelos, tendo entre eles um dielétrico (vidro) e um espaço livre, por onde flui o ar seco ou o oxigênio. Nesse espaço livre é produzida uma

descarga em forma de filamentos, onde são gerados elétrons com energia suficiente para produzir a quebra das moléculas de oxigênio, formando o ozônio (O<sub>3</sub>).

O ar seco utilizado como insumo foi obtido a partir de um compressor de ar instalado juntamente com um filtro de alumina. Na saída do filtro, foi instalada, ainda, uma conexão com duas saídas: uma passando pelo gerador de ozônio e a outra indo diretamente para o sistema que utilizou ar ambiente (testemunha). A produção de ozônio foi regulada em função da tensão aplicada, ajustada no regulador de tensão do gerador, e do fluxo de ar seco, monitorado com auxílio de um medidor de fluxo de ar. A concentração de ozônio foi medida por meio de um espectrofotômetro com precisão de 0,1 g m<sup>-3</sup>. Com o intuito de aumentar a resolução nas leituras de concentração, um multímetro foi conectado ao espectrofotômetro, para que fosse possível estabelecer uma relação entre os valores lidos no espectrofotômetro (g m<sup>-3</sup>) e a corrente elétrica (mA).

## **2.2. Exposição dos grãos de milho ao gás ozônio e ao ar ambiente**

Para aplicação do ozônio e do ar ambiente, grãos de milho do tipo 1 (25 kg), classificados conforme a Portaria n° 845, de 8.11.1976, do Ministério da Agricultura, foram acondicionados em seis recipientes cilíndricos de PVC com 20 cm de diâmetro e 100 cm de altura. Nas tampas inferior e superior dos cilindros, foram instaladas conexões para injeção e exaustão do gás. A 10 cm do fundo do recipiente, colocou-se uma tela metálica para sustentação dos grãos e formação de uma câmara, para melhor distribuição do gás. Os grãos de milho foram expostos ao ozônio e ao ar ambiente durante 168 horas.

## **2.3. Controle da temperatura da massa de grãos**

Os cilindros contendo os grãos de milho foram acondicionados em câmaras climáticas com a temperatura do ar controlada conforme a temperatura da massa de grãos, que foi monitorada por meio de um sistema computacional de aquisição e armazenamento de dados denominado *I-wire*<sup>TM</sup>. Este sistema é constituído de uma rede de transmissão de dados, em que, através de um programa, um único cabo condutor permite a comunicação entre o computador e os sensores de temperatura na massa de grãos (MARTINS et al., 2004).

## **2.4. Armazenamento dos grãos**

Após a exposição ao ozônio e ao ar atmosférico em cada temperatura, a massa de grãos foi homogeneizada e distribuída em frascos de vidro de 2,5 L, os quais foram armazenados em condições ambientes durante 180 dias. Para quantificar as perdas dos grãos de milho ao longo do armazenamento, foram feitas análises de massa específica aparente, segundo BRASIL (1992), em seguida ao tratamento com ar e ozônio, a cada 45 dias.

## **2.5. Massa específica aparente**

A determinação da massa específica foi feita com auxílio da balança hectolétrica, com capacidade para 250 ml ou um quarto de litro. Foram feitas cinco leituras para cada amostra, sendo escolhidas as três mais próximas. Como o peso hectolétrico de uma amostra varia de acordo com o seu teor de umidade, fizeram-se determinações simultaneamente (BRASIL, 1992). Com base nos resultados de massa específica, foi calculado o custo da utilização do ozônio, comparando-se as possíveis perdas dos grãos tratados com o ozônio com aquelas dos não-tratados com este gás, armazenados durante seis meses.

## **2.6. Análise econômica**

A princípio foi realizado um estudo das diferentes estruturas de custos, os quais foram divididos em custos fixos e custos variáveis. Foram estabelecidos como custos fixos aqueles que não dependem do nível de produção da unidade, como o custo de oportunidade do capital e a depreciação do gerador de ozônio. Já os custos variáveis foram aqueles que dependeram diretamente do nível de produção da unidade, como os custos da matéria-prima para geração de ozônio, ou seja, o custo da energia elétrica (BUARQUE, 1991).

Na análise de custos (Tabela 1) foram considerados os valores de massa específica aparente dos grãos ozonizados e não-ozonizados, obtidos ao longo de 180 dias de armazenamento, em que os valores de massa específica aparente, referentes a cada tratamento, foram adimensionalizados, convertendo a massa específica em massa específica relativa, dividindo-se os valores de massa específica pelo seu valor inicial. Os cálculos foram baseados no preço de R\$ 17,30, que corresponde à saca de 60 kg de

milho, segundo a cotação da Bolsa Brasileira de Mercadorias, conforme o demonstrativo da Tabela 1 para a temperatura de 20 °C.

Tabela 1 - Exemplo da conversão da massa específica em uma adimensional e o preço da saca de milho, segundo cotação da Bolsa Brasileira de Mercadorias, para tratamento com ozônio e ar atmosférico na temperatura da massa de grãos a 20 °C

Período de armazenamento dia	Massa específica		Quantidade (em kg)		Quantidade (em t) segundo o volume de 5.000 m <sup>3</sup>		Preço Milho	
	Ozônio	Ar	Ozônio	Ar	Ozônio	Ar	R\$/Saca	R\$/kg
	0	714,3	710,2	1	1	3571,5	3551	17,30
45	710,5	709,6	0,99468	0,99915517	3552,5	3548	17,30	0,288333
90	706,6	694	0,98922	0,97718952	3533	3470	17,30	0,288333
135	668,1	642	0,935321	0,90397071	3340,5	3210	17,30	0,288333
180	595,6	561,8	0,833823	0,79104478	2978	2809	17,30	0,288333

### 2.6.1. Estrutura de custo

Os custos relacionados nesta avaliação correspondem à implantação da nova tecnologia e ao processo de produção, em que foram considerados como custo de implantação o investimento feito para aquisição do equipamento gerador de ozônio, juntamente com o custo de oportunidade e a depreciação. Já os custos correspondentes ao processo de produção foram, basicamente, os custos de degradação do produto armazenado tratado com ozônio e não-tratado e o custo da energia elétrica para produção de ozônio. O custo da degradação do produto armazenado (Tabela 2) foi calculado com base nos valores de massa específica aparente transformada em um adimensional e no preço de mercado da saca de milho, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 2 - Preço da degradação do milho e o custo da energia para ozonizar um volume de 5.000 m<sup>3</sup>

Período de armazenamento (dia)	Degradação		Consumo de Energia			Preço do kWh	
	Preço / kg		kW			R\$ 0,30	
	Ozônio	Ar	Entrada/A*	Saída/A*	Total/kW	R\$/kWh	R\$/kg
0	0,288333	0,288333	0,21	0,882	147,84	576,58	0,000161
45	0,286799	0,28809	0,21	0,882	147,84	576,58	0,000162
90	0,285225	0,281756	0,21	0,882	147,84	576,58	0,000163
135	0,269684	0,260645	0,21	0,882	147,84	576,58	0,000173
180	0,240419	0,228085	0,21	0,882	147,84	576,58	0,000194

\*valor de corrente elétrica medida em amperes.

Os custos do consumo da energia elétrica utilizada para geração do ozônio foram calculados considerando uma situação hipotética para aplicação de ozônio em um silo de volume de 5.000 m<sup>3</sup>. De acordo com o fabricante, em função das características do gerador de ozônio e da concentração utilizada (50 ppm), o período de ozonização é de 13 dias. Sabendo-se que o consumo de energia nesse período seria de 576,58 kWh e que o valor convencional do kWh para o consumidor rural equivale a R\$ 0,30 (CEMIG, 2006), fez-se o cálculo do custo da energia elétrica por quilograma de grãos de milho, conforme o demonstrativo da Tabela 2.

O custo da energia para controlar a temperatura da massa de grãos não foi considerado na análise econômica, pois o objetivo do controle da temperatura foi apenas simular as possíveis condições ambientais em que se pode armazenar grãos no Brasil.

#### **2.6.1.1. Juros e custo de oportunidade**

Juros e custo de oportunidade (equação 1) pode ser definido como a remuneração acrescida pelo direito de uso de uma unidade monetária por um período de tempo. O custo de oportunidade do capital é dado pela sua taxa de crescimento no tempo em seu melhor uso alternativo, independentemente de o custo de oportunidade do capital ser próprio ou de terceiros (NORONHA, 1987). A taxa de juros utilizada para análise econômica foi de 1% ao mês, a mesma paga pelo investimento feito em caderneta de poupança. A Tabela 3 demonstra o procedimento do cálculo dos juros e custo de oportunidade para a temperatura de 20 °C em cada período de armazenamento.

$$F = P (1+J)^n \quad (1)$$

em que: F = valor acrescido de juros (remuneração paga);

P = valor investido;

J = juros; e

n = período em tempo.

Tabela 3 - Exemplo do cálculo do custo de oportunidade

Período de armazenamento (dia)	Custo de Oportunidade		
	Montante R\$	Taxa de juro de 1% ao mês	
	R\$	R\$	R\$/kg
0	15.000,00	0,00	0,00
45	15.225,00	225,00	0,000063
90	15.453,38	453,37	0,000131
135	15.685,18	685,18	0,000213
180	15.920,45	920,45	0,000328

### 2.6.1.2. Depreciação

Depreciação (equação 2) é uma reserva contábil destinada a gerar fundos necessários para a substituição do capital investido em bens produtivos de longa duração. É a maneira que a empresa dispõe de recuperar bens de capital, ficando em condições de repô-los quando não mais for economicamente útil (NORONHA, 1987). Para o cálculo de depreciação, por ser um bem considerado durável, a taxa de depreciação utilizada no gerador de ozônio foi de 10% ao ano, sendo posteriormente calculada para cada período de armazenamento e quilograma do produto, como se vê na equação:

$$Dt = \frac{B - F}{N} \quad (2)$$

em que: Dt = valor da depreciação em qualquer ano, R\$;

B = valor depreciável durante os anos de vida útil do ativo, R\$;

F = valor final, R\$; e

N = vida útil, ano.

Na Tabela 4 é demonstrado o procedimento do cálculo da depreciação para a temperatura de 20 °C em cada período de armazenamento.

Tabela 4 - Demonstrativo da depreciação do gerador de ozônio ocorrida no período de seis meses para fumigação com ozônio na temperatura da massa de grãos de 20 °C

Período de armazenamento (dia)	Gerador de ozônio R\$	Depreciação 10% ao ano		
		R\$ /ano	R\$/período	R\$/kg
0	15.000,00	1.500,00	0,00	0,00
45		1.500,00	187,50	0,000052780
90		1.500,00	375,00	0,000106142
135		1.500,00	562,50	0,000168388
180		1.500,00	750,00	0,000251847

### 2.6.2. Estrutura de receita

As receitas são os fluxos de recursos financeiros que a implantação da tecnologia recebe ao longo de sua vida útil, direta ou indiretamente, conforme suas operações (BUARQUE, 1991). A receita foi calculada utilizando o valor da degradação ocorrida na massa específica aparente ao longo do armazenamento (Tabela 2), descontando-se os custos de depreciação, de oportunidade e os da energia elétrica dos valores monetários dos grãos ozonizados. Posteriormente, foram subtraídos os valores monetários da massa específica aparente dos grãos tratados com ozônio em relação aos não-tratados, obtendo os resultados do lucro (Tabela 5).

Tabela 5 - Demonstrativo do lucro da utilização do ozônio em função do período de armazenamento e da temperatura da massa de grãos

Temperatura da Massa de Grãos	Período de armazenamento	Receita final		Lucro com o uso do ozônio	
		R\$/kg		R\$/kg	R\$/1000t
		Dia	Ozônio	Ar	
20 °C	0	0,288172	0,288333	-0,000161	-161,44
	45	0,286521	0,28809	-0,001569	-1.568,81
	90	0,284825	0,281756	0,003069	3.068,85
	135	0,26913	0,260645	0,008485	8.484,98
	180	0,239646	0,228085	0,011561	11.561,34
	0	0,288173	0,288333	-0,000161	-160,64
30 °C	45	0,287502	0,286111	0,001392	1.391,83
	90	0,282291	0,283912	-0,001621	-1621,03
	135	0,267667	0,267366	0,000300	300,32
	180	0,232425	0,229197	0,003228	3.227,87
	0	0,288173	0,288333	-0,000160	-158,69
	45	0,286188	0,286736	-0,000548	1.479,51
35 °C	90	0,28439	0,276965	0,007426	477,34
	135	0,278784	0,272549	0,006235	921,01
	180	-	-	-	-
	0	0,288175	0,288333	-0,000159	-160,34
	45	0,28727	0,285791	0,001480	-547,75
	90	0,287764	0,287286	0,000477	7.425,62
40 °C	135	0,289714	0,288793	0,000921	6.235,15
	180	-	-	-	-
	180	-	-	-	-

Tendo como base os dados de renda (custos e receitas), estabeleceram-se: o tempo de retorno de capital (TRC), o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) para os períodos de armazenamento em que a utilização do ozônio foi rentável em relação ao ar atmosférico, conforme cada temperatura da massa de grãos em que foram feitas as aplicações de ar e ozônio.

### 2.6.3. Período de retorno do capital (TRC)

O tempo de retorno do capital (equação 3) consiste no tempo de funcionamento necessário para que se possa recuperar o capital investido. Por isso, é conhecido também como tempo de recuperação do capital (BUARQUE, 1991), sendo representado por:

$$\sum_{t=0}^n Lt = 0 \quad (3)$$

em que: L = fluxo líquido do projeto, R\$;

t = tempo, ano;

N = horizonte do projeto, ano; e

t = 0, 1, 2, ..., N sendo  $N \geq n$ .

Em geral,  $L_0 < 0$  e  $L_t > 0$  para  $t \geq 1$ .

### 2.6.4. Valor presente líquido (VPL)

O valor presente líquido VPL (equação 4) representa o retorno líquido gerado pelo investimento. Foi calculado de acordo com os fluxos monetários (receitas e custos), medindo-se as diferenças entre as receitas operacionais líquidas e os investimentos adicionais feitos com o projeto (WOLIER, 1986).

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{L_t}{(1 + \rho)^t} \quad (4)$$

em que: VPL = valor presente, R\$;

N = horizonte do projeto, ano;

L = fluxo líquido do projeto, R\$;

t = tempo, ano; e

$\rho$  = taxa de desconto relevante para a empresa.

### 2.6.5. Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (equação 5) é o valor de “ $\rho$ ” que torna o valor presente do fluxo líquido igual a zero:

$$0 = \sum_{t=0}^N \frac{L_t}{(1 + \rho)^t} \quad (5)$$

em que: N = horizonte de projeto, ano;

L = fluxo líquido do projeto, R\$;

t = tempo, ano; e

$\rho$  = taxa interna de retorno (a ser calculada).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Retorno do capital

Observa-se, na Figura 1, que a fumigação com ozônio sobre grãos de milho apresentou retorno de capital quando foram utilizadas as temperaturas da massa de grãos a 20, 30 e 35 °C no momento da ozonização. Na temperatura de 20 °C, a fumigação foi rentável a partir de 90 dias de armazenamento, num horizonte de quatro anos. Essa rentabilidade foi maior e teve retorno mais rápido nos períodos de armazenamento subsequentes, em que se constatou que a melhor rentabilidade e o mais rápido retorno do investimento ocorreram quando o armazenamento dos grãos foi feito no período de 180 dias depois da aplicação do ozônio, no horizonte de um ano. Quando a ozonização foi feita com a temperatura da massa de grãos a 30 °C, só foi constatado retorno de capital quando os grãos foram armazenados durante 180 dias, num horizonte maior que cinco anos. Para os grãos ozonizados na temperatura de 35 °C só foi

observado retorno de capital quando os grãos de milho foram armazenados durante 90 e 135 dias, em que o menor horizonte para que a tecnologia se torne viável corresponde ao planejamento de utilização do ozônio durante dois anos, caso o armazenamento seja feito por um período mínimo de 135 dias após a ozonização. Já na temperatura de 40 °C não foi observado retorno de capital até 180 dias de armazenamento, no horizonte de dez anos.

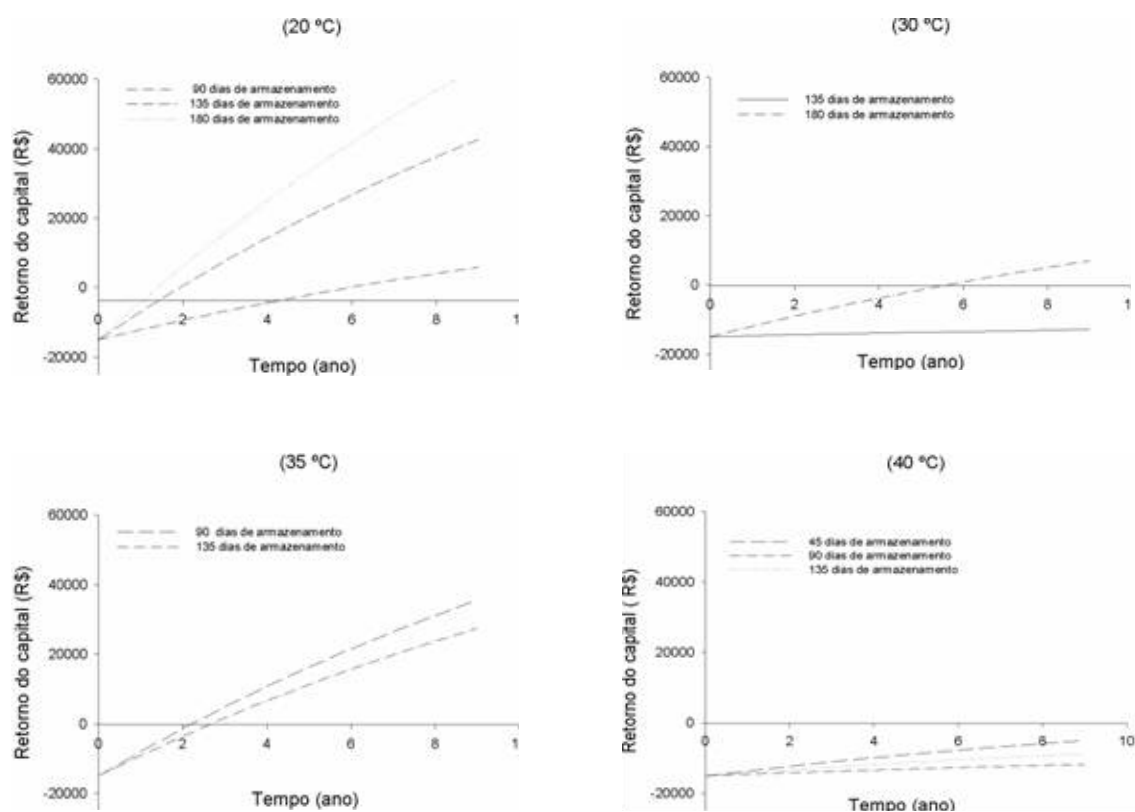


Figura 1 - Efeito do período de armazenamento sobre o retorno do capital investido para aplicação do ozônio sobre os grãos de milho nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C.

### 3.2. Valor presente líquido (VPL)

A viabilidade econômica da utilização de ozônio pelo método do valor presente líquido (VPL) é indicada pela diferença positiva entre receitas e custos, atualizados de acordo com a taxa de descontos de 6% ao ano, conforme TSUKAMOTO FILHO et al. (2003). Observa-se, na Figura 2, que o VPL foi maior que zero na temperatura de 20 °C em todos os períodos de armazenamento dos grãos que tiveram receita (90, 135 e 180 dias), em que se constatou que o VPL aumentou proporcionalmente com o período de armazenamento. Quando a ozonização dos grãos foi feita na temperatura de 30 °C, o VPL foi maior que zero apenas no período de armazenamento de 180 dias. Na

temperatura de 35 °C, o VPL foi maior que zero nos períodos de armazenamento de 90 e 135 dias, sendo esse valor maior quando os grãos foram armazenados durante 90 dias. Já na temperatura de 40 °C, os valores de VPL de todos os períodos de armazenamento que tiveram receitas foram menores que zero.

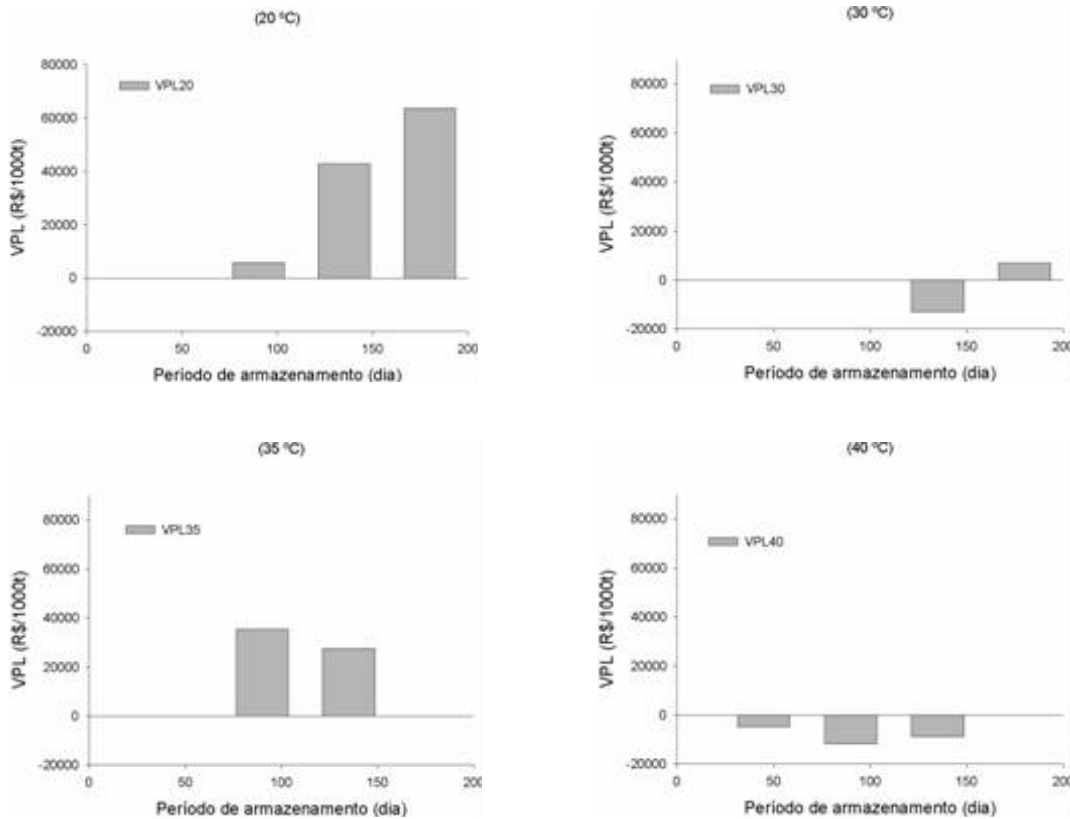


Figura 2 - Efeito do período de armazenamento sobre o valor presente líquido para aplicação do ozônio sobre os grãos de milho nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C.

Na análise de implantação de uma tecnologia, independentemente das alternativas de investimento, o critério de decisão consiste em aceitá-lo se  $VPL \geq 0$  (NORONHA, 1987). TSUKAMOTO FILHO et al. (2003) afirmam que, dada a independência do investimento numa determinada tecnologia, as decisões de aceitação ou rejeição de um projeto são perfeitamente coincidentes com aquelas obtidas quando se aplica o método do VPL. Dessa forma, pode-se inferir que a fumigação com ozônio pode se tornar economicamente viável quando a ozonização for feita nas temperaturas da massa de grãos de 20, 30 e 35 °C, preferencialmente com os períodos de armazenamento em torno de 135 dias.

### 3.3. Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) de um projeto, também chamada de eficiência marginal do capital, é a taxa de desconto que iguala o valor atual das receitas futuras ao valor atual dos custos futuros do projeto, ou seja, é a taxa média de crescimento de um investimento (TSUKAMOTO FILHO et al., 2003). A TIR do presente investimento (Figura 3) aumentou proporcionalmente com o período de armazenamento quando a ozonização dos grãos foi feita na temperatura da massa de grãos de 20 °C, em que as TIRs 14,33%, 55,5% e 76,6% correspondem, respectivamente, aos períodos de armazenamento de 90, 135 e 180 dias. Na temperatura de 30 °C, a TIR foi maior que zero apenas no período de armazenamento de 180 dias, com percentual de 15,75%. Para temperatura de 35 °C, as TIRs correspondentes aos períodos de armazenamento de 90 e 135 dias foram, respectivamente, de 50 e 30%. Já na temperatura de 40 °C, todas as TIRs foram negativas, indicando a inviabilidade de utilização do ozônio nesta temperatura, confirmando, assim, os resultados observados para o retorno do capital e para o VPL.

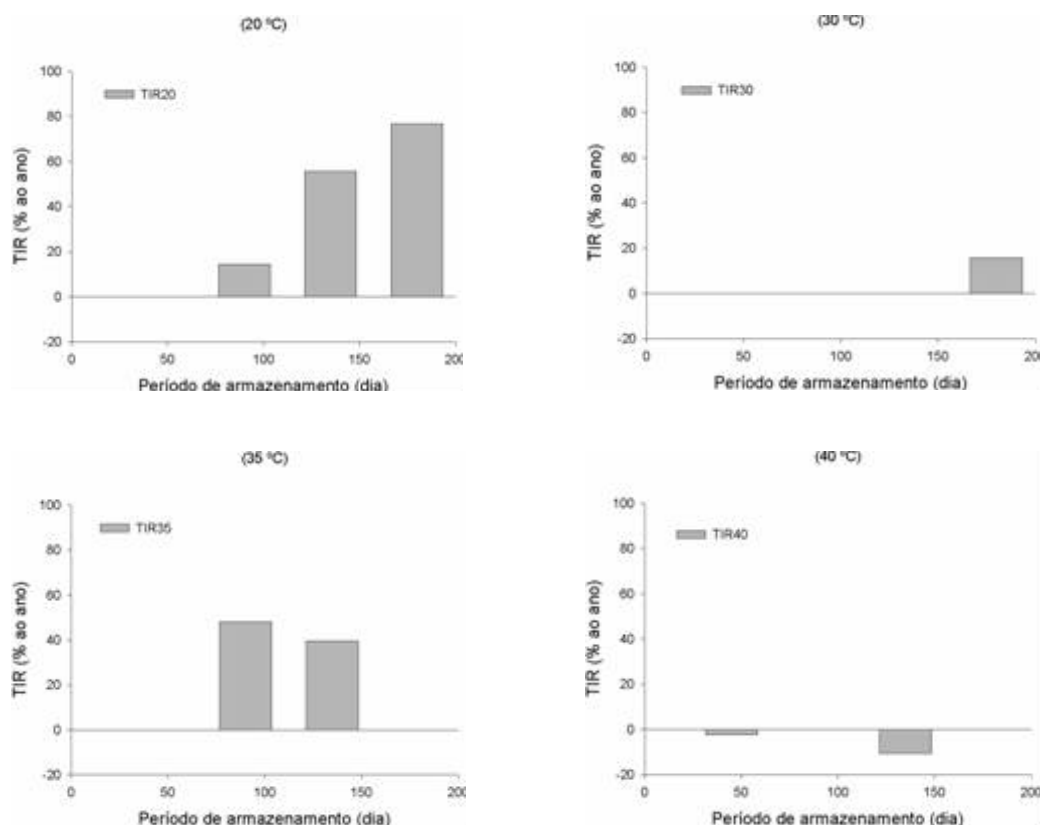


Figura 3 – Efeito do período de armazenamento na taxa interna de retorno para aplicação do ozônio sobre os grãos de milho nas temperaturas de 20, 30, 35 e 40 °C.

Os resultados das TIRs maiores que zero encontrados neste trabalho indicam que as receitas descontadas seriam superiores aos custos descontados, mesmo se o mercado trabalhasse com taxas superiores a 10% ao ano.

Os resultados deste trabalho mostram estreita relação com a temperatura na qual se inicia a degradação do ozônio. Como o processo de degradação do ozônio principia-se entre temperaturas variando de 30 a 35 °C (DELIMPASIS, 2001), é muito provável que o comprometimento do retorno do capital na temperatura de 30 °C esteja relacionado com perdas na concentração do ozônio, que podem ter comprometido a proteção dos grãos contra o ataque de insetos e, conseqüentemente, provocado perdas da massa específica aparente dos grãos. No caso da temperatura de 35 °C, atribuem-se os resultados positivos da análise econômica à ação conjunta do ozônio, mesmo em processo de degradação, com a temperatura da massa de grãos, pois esta temperatura é considerada desfavorável ao desempenho da atividade biológica da espécie de inseto *S. zeamais* (REES, 1996), considerado o principal inseto-praga de grãos de milho armazenados no Brasil.

O baixo desempenho econômico obtido na temperatura de 40 °C pode ser atribuído ao fato de temperaturas próximas a esta serem letais em poucas horas aos insetos-praga de produtos armazenados (BURKS et al., 2000), tendo como conseqüência a equivalência dos valores da massa específica dos grãos de milho tratados e não-tratados com o ozônio. Conseqüentemente, as receitas provenientes dos grãos tratados com ozônio e não-tratados tiveram valores próximos (Tabela 1), portanto sem viabilidade econômica nesta temperatura.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os resultados permitiram as seguintes conclusões:

- Os indicadores financeiros demonstraram rentabilidade da fumigação do gás ozônio quando os grãos de milho foram armazenados durante 90, 135 e 180 dias após a ozonização realizada na temperatura da massa de grãos de 20 °C.

- Já na temperatura de 30 °C, constatou-se rentabilidade apenas no período de 180 dias de armazenamento após a ozonização.
- Na temperatura de 35 °C, os indicadores demonstraram rentabilidade de aplicação do ozônio quando os grãos foram armazenados nos períodos de 90 e 135 dias após a ozonização.
- Na temperatura de 40 °C, não foi observada rentabilidade da utilização do ozônio em nenhum dos períodos de armazenamento.

## REFERÊNCIAS

BBM - **Bolsa Brasileira de mercadorias.**

<http://www.bbmnet.com.br/pages/portal/index.asp>. Acessada 6 de janeiro de 2006.

BRASIL. **Regras para Análise de Sementes.** Brasília: Ministério da Agricultura, 1992. 365p.

BUARQUE, C.; **Avaliação econômica de projetos.** In: BUARQUE, C. Avaliação Financeira e Econômica. Editora Campus, 1991 p.130-180.

BURKS, A.S.; JOHNSON, J.A; MAIER, D.E.; HEAPS, J.W. Temperature In: SUBRAMANYAM, b.; HAGSTRUM, D.W. **Alternatives to pesticides in stored-product IMP.** Massachusetts: Kluwer Academic, 2000. p.73-104.

CEMIG – Cemig distribuição Tarifas de energia (Tarifa convencional) <http://www.cemig.com.br/>. Acessado 6 de janeiro de 2006.

CONAB 2006 - **Companhia nacional de abastecimento.** Acompanhamento da safra 2005/2006 – 2º Levantamento novembro/ 2005. Disponível em <http://www.conab.gov.br/>. Acessado em: 01 de fevereiro de 2006.

DELIMPASIS, K. Ozone application for wastewater color removal. **Public Service Ads by Google** (online), 2001. Disponível em:

[http://www.e-telescope.gr/en/cat04/art04\\_010601.htm](http://www.e-telescope.gr/en/cat04/art04_010601.htm). Acesso em: 22 de fevereiro de 2006.

KELLS, S.A.; MASON, L.J.; MAIER, D.E.; WOLOSOSHUK, C.P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, p.371-383, 2001

MENDEZ, F.; MAIER, D.E.; MASON, L.J.; WOLOSOSHUK, C.P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and performance. **Journal of Stored Products Research**, v.39, p.33-44, 2003.

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

STRAIT, C. A. **Efficacy of ozone to control insects and fungi in stored grain**. M.Sc. Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, 1998, 59p. (M.S.thesis).

TSUKAMOTO FILHO, A. A.; SILVA, M. L.; COUTO L.; MULLER, M. D. Análise econômica de um plantio de teca a desbastes. **Revista Árvore**, v.27, n.4, p.487-494, 2003

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

WOILER, S.; MATHIAS, F. Projetos, planejamento, elaboração e análise. In: WOILER, S.; MATHIAS, F. **Crítérios quantitativos de análise econômica de projetos**. Atlas, 1986. p.172-230.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

O armazenamento constitui-se numa etapa crucial nas regiões produtoras e consumidoras de grãos. Considerando o potencial do uso do gás ozônio como uma nova estratégia de fumigação para proteção dos grãos contra ataque de insetos-praga, este trabalho foi desenvolvido com o propósito de avaliar a influência de temperaturas crescentes da massa de grãos (20, 30, 35 e 40 °C) no período de exposição do ozônio necessário para matar 50 e 95% de insetos adultos de *Tribolium castaneum* Herbst (coleoptera: Tenebrionidae), avaliar e monitorar os efeitos imediato e latente na qualidade de grão de milho durante o armazenamento e estudar a viabilidade econômica da utilização do ozônio como fumigante. Para avaliação da mortalidade dos insetos, grãos de milho foram distribuídos em recipientes cilíndricos de PVC com conexões para injeção e exaustão de gás. Os insetos foram contidos em gaiolas dispostas na camada mediana da massa de grãos e submetidos a uma atmosfera modificada com 50 ppm de ozônio em todas as temperaturas. Para avaliar e monitorar os efeitos imediatos e latentes, apenas a massa de grãos submetida a 168 horas consecutivas ao gás ozônio e à atmosfera ambiente foi utilizada. Os grãos ozonizados ou não foram distribuídos em frascos de vidro e armazenados em condições de laboratório por 180 dias. Já para avaliação econômica adotou-se como parâmetro de produção a diferença do valor final da massa específica dos grãos ozonizados ou não, armazenados à temperatura ambiente durante os 180 dias. Os indicadores usados na análise econômica foram o tempo de retorno do capital, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno, utilizando uma taxa de desconto de 6% ao ano.

De maneira geral, os resultados deste trabalho foram promissores. Com relação aos tempos letais, os resultados mostraram que temperaturas mais elevadas podem contribuir de maneira a tornar os insetos mais suscetíveis ao gás ozônio; no entanto, tornou-se claro que as mesmas temperaturas em que os insetos mostraram maior sensibilidade ao ozônio equivalem àquelas em que o processo de degradação deste gás se torna evidente. Já no que se refere aos resultados da avaliação dos efeitos imediato e latente do ozônio sobre a qualidade dos grãos armazenados, pode-se concluir que o tratamento com o gás ozônio na concentração de 50 ppm em comparação à utilização de apenas ar atmosférico, durante 168 horas consecutivas, não afetou a qualidade dos grãos de milho durante o armazenamento. A elevação da temperatura da massa de grãos no

momento do tratamento com o gás ozônio, na concentração de 50 ppm, pode afetar a integridade da membrana celular e, conseqüentemente, a perda de qualidade fisiológica.

Os resultados da avaliação econômica permitiram concluir que a utilização do gás ozônio foi rentável quando os grãos de milho foram armazenados durante 90, 135 e 180 dias após a ozonização realizada na temperatura da massa de grãos de 20 °C. Na temperatura de 30 °C, constatou-se rentabilidade apenas no período de 180 dias de armazenamento após a ozonização. Já na temperatura de 35 °C, os indicadores demonstraram rentabilidade de aplicação do ozônio quando os grãos foram armazenados nos períodos de 90 e 135 dias após a ozonização. Na temperatura de 40 °C, não foi observada rentabilidade da utilização do ozônio em nenhum dos períodos de armazenamento.

# Apêndice

Tabelas com valores calculados de retorno do capital

Valores em R\$ calculados de Retorno do Capital 20 °C				
Períodos de armazenamento (dia)				
Tempo em anos	45 dias	90 dias	135 dias	180 dias
0		-15.000,00	-15.000,00	-15.000,00
1		-12.104,86	-6.995,31	-4.093,08
2		-9.373,59	556,28	6.196,48
3		-6.796,93	7.680,43	15.903,60
4		-4.366,11	14.401,32	25.061,26
5		-2.072,89	20.741,78	33.700,57
6		90,53	26.723,35	41.850,86
7		2.131,49	32.366,34	49.539,81
8		4.056,93	37.689,91	56.793,54
9		5.873,37	42.712,15	63.636,68

Valores em R\$ calculados de Retorno do Capital 30 °C				
Períodos de armazenamento (dia)				
Tempo em anos	45 dias	90 dias	135 dias	180 dias
0			-15.000,00	-15.000,00
1			-14.716,69	-11.954,85
2			-14.449,41	-9.082,07
3			-14.197,27	-6.371,89
4			-13.959,39	-3.815,12
5			-13.734,99	-1.403,08
6			-13.523,28	872,43
7			-13.323,56	3.019,15
8			-13.135,14	5.044,35
9			-12.957,38	6.954,91

Tabelas com valores calculados de retorno do capital

Valores em R\$ calculados de Retorno do Capital 35 °C				
Períodos de armazenamento (dia)				
Tempo em anos	45 dias	90 dias	135 dias	180 dias
0		-15.000,00	-15.000,00	
1		-7.994,70	-9.117,78	
2		-1.385,92	-3.568,52	
3		4.848,77	1.666,63	
4		10.730,56	6.605,45	
5		16.279,41	11.264,72	
6		21.514,18	15.660,25	
7		26.452,64	19.806,99	
8		31.111,57	23.719,00	
9		35.506,78	27.409,57	

Valores em R\$ calculados de Retorno do Capital 40 °C				
Períodos de armazenamento (dia)				
Tempo em anos	45 dias	90 dias	135 dias	180 dias
0	-15.000,00	-15.000,00	-15.000,00	
1	-13.604,24	-14.549,68	-14.131,13	
2	-12.287,48	-14.124,85	-13.311,45	
3	-11.045,25	-13.724,06	-12.538,16	
4	-9.873,34	-13.345,97	-11.808,64	
5	-8.767,77	-12.989,27	-11.120,41	
6	-7.724,77	-12.652,76	-10.471,14	
7	-6.740,81	-12.335,31	-9.858,63	
8	-5.812,55	-12.035,82	-9.280,78	
9	-4.936,83	-11.753,28	-8.735,64	

Tabela com valores calculados de TIR (Taxa Interna de Retorno) e VPL (Valor Presente Líquido).

Temperatura	Período de armazenamento	TIR (%)	VPL (R\$/1000t)
20 °C	0		
	45		
	90	14,33%	5.873,37
	135	55,50%	42.712,15
	180	76,61%	63.636,68
30 °C	0		
	45		
	90		
	135		-12.957,38
	180	15,75%	6.954,91
35 °C	0		
	45		
	90	48,06%	35.506,78
	135	39,49%	27.409,57
	180		
40 °C	0		
	45	-2,32%	-4.936,83
	90		-11.753,28
	135	-10,47%	-8.735,64
	180		