

Atmosfera Modificada e Ozônio na Conservação de Grãos

03

Lêda Rita D'Antonino Faroni¹, Lucas Henrique Figueiredo Prates¹, Fernanda Fernandes Heleno², Adalberto Hipólito de Sousa³

RESUMO

Os produtos agrícolas armazenados estão sujeitos às perdas qualitativas e quantitativas devido à interação de fatores bióticos e abióticos desde à sua produção em campo e ao longo do armazenamento. Tradicionalmente, diversos produtos químicos são utilizados como inseticidas, fungicidas, e afins, para proteção dos produtos armazenados. O armazenamento em atmosfera modificada é uma das estratégias de armazenagem adotadas para manutenção da qualidade dos produtos agrícolas e, conseqüentemente, aumento do seu tempo de prateleira. Considerando a ocorrência de populações de insetos-praga resistentes à inseticidas tradicionalmente utilizados e a preocupação com a segurança alimentar dos produtos agrícolas, os óleos essenciais e o gás ozônio (O₃) destacam-se como alternativas seguras para utilização em atmosfera modificada para conservação dos grãos ao longo do armazenamento.

Palavras-chave: armazenamento de grãos; qualidade pós-colheita; insetos-praga; micotoxinas.

INTRODUÇÃO

O armazenamento de grãos é uma área estratégica no Brasil e no mundo. O armazenamento adequado possibilita o suprimento quantitativo e qualitativo de alimentos durante os períodos de menor produção. No Brasil, embora a capacidade

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, CEP: 36570-900 Viçosa, MG. Email: lfaroni@ufv.br

²Serviço Autônomo de Água e Esgoto, Prefeitura Municipal de Senador Firmino, CEP: 36540-970 Senador Firmino, MG.

³Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, CEP: 69920-900 Rio Branco, AC.

estática dos armazéns cadastrados na Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) tenha evoluído ao longo dos últimos anos, alcançando a marca de 162,3 milhões de toneladas em 2017, a capacidade de armazenamento ainda é inferior à produção de grãos, estimada em 228,5 milhões de toneladas para a safra 2017/18 (CONAB, 2018).

Ao longo do armazenamento, a massa de grãos comporta-se como um ecossistema em que a deterioração é o resultado da interação entre os fatores bióticos e fatores abióticos (Pomeranz, 1992), gerando perdas qualitativas e quantitativas causadas por pragas de grãos armazenados, principalmente insetos e fungos. Os insetos da ordem Coleoptera, carunchos ou gorgulhos, e os da ordem Lepdoptera, mariposas ou traças, destacam-se entre os de maior importância econômica no Brasil, estando presentes em quase todas as unidades armazenadoras de grãos no país (Faroni & Sousa, 2006). Em geral, o ataque por fungos em grãos armazenados ocorre devido a um processo de secagem ineficiente ou ao microclima com maior umidade resultante da atividade metabólica dos insetos-praga (Magan et al., 2003). O produto pode ser contaminado por esporos de fungos no campo e continuar, ou apenas apresentar, o desenvolvimento da colônia no armazenamento, ao encontrar condições que favorecem o seu desenvolvimento (Logrieco et al., 2003). A presença de fungos nos grãos armazenados, além dos problemas quantitativos e qualitativos do produto, pode resultar na ocorrência de micotoxinas nos grãos. As micotoxinas são metabólitos secundários tóxicos produzidos pelos fungos. Diversos estudos têm relacionado o consumo de alimentos contaminados com micotoxinas a sérios problemas de saúde. A exposição humana às aflatoxinas e fumonisinas tem sido relacionada a problemas hepáticos e ao câncer de esôfago, respectivamente (Groopman et al., 1988, Henry et al., 1999; Thiel et al., 1992; Reddy et al., 2010).

A principal alternativa tradicionalmente adotada para controle de pragas de grãos armazenados tem sido a utilização de agrotóxicos protetores com ação residual (Hagstrum e Subramanyam, 2006). No Brasil, são utilizados os inseticidas organofosforados e piretróides e os fumigantes fosfeto de alumínio (AIP) e fosfeto de magnésio (Mg_3P_2), precursores da fosfina (PH_3). Porém, a falta de estrutura adequada para a utilização dos fumigantes e o uso contínuo e indiscriminado de inseticidas, aliados a técnicas de aplicação inadequadas, tem favorecido o desenvolvimento de populações resistentes a fosfina (Champ & Dyte, 1976; Pacheco et al., 1990; Pimentel et al., 2007; 2009) e aos inseticidas organofosforados e piretróides (Guedes et al., 1994; Guedes et al., 1995; Ribeiro et al., 2003). A resistência é uma mudança genética que possibilita aos indivíduos resistentes suportar doses de inseticida que seriam deletérias para a maioria dos indivíduos de uma população normal da mesma espécie (Guedes, 1990/1991; Subramanyam & Hagstrum, 1996). Os insetos de uma população podem apresentar resistência a mais de um inseticida, sendo classificada como resistência cruzada, quando um único mecanismo confere resistência a dois ou mais inseticidas, ou resistência múltipla, quando dois ou mais mecanismos diferentes conferem resistência a dois ou mais inseticidas distintos (Georghiou, 1972; Guedes, 1990/1991; Subramanyam & Hagstrum, 1996; Mckenzie, 1996).

Além disso, a utilização de agrotóxicos não autorizados para a cultura, ou mesmo a sua utilização de maneira inadequada pode levar à produção de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos, fora dos padrões de segurança alimentar adotados no Brasil e no mundo (ANVISA, 2016). Diversos trabalhos têm relacionado o consumo de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos à problemas de saúde, como alergias e doenças respiratórias, tremores, dores crônicas, maior ocorrência de câncer, entre outros (Wilson & Tisdell, 2001; Gildden et al., 2010; Lozowicka et al., 2014).

Diante da preocupação em torno da evolução de resistência a inseticidas e da preocupação com os riscos oferecidos pelos inseticidas à saúde humana e ao meio ambiente, algumas pesquisas têm indicado a utilização de óleos essenciais e gás ozônio (O₃) como um importante método alternativo de controle em ambientes de atmosfera modificada (Kells et al., 2001; Mendez et al., 2003; Sousa et al., 2008; Isikber & Öztekin, 2009; Lu et al., 2009).

O controle de pragas com atmosfera modificada é um dos métodos utilizados no armazenamento de grãos. Por vezes, os termos “atmosfera modificada” e “atmosfera controlada” tem sido utilizados como equivalentes no armazenamento. Entretanto, destaca-se a diferença entre os métodos quanto à composição da atmosfera: no controle com atmosfera modificada, a composição da atmosfera é modificada inicialmente, mas altera-se ao longo do tempo de exposição, devido ao comportamento dos constituintes da atmosfera modificada e do próprio grão; em atmosfera controlada, a sua composição é continuamente controlada ao longo do período de exposição para a sua manutenção (Jayas & Jeyamkondan, 2002). Essa observação é ainda mais relevante quando se avalia a atmosfera modificada com compostos cuja decomposição é significativa em relação ao tempo, como é o caso dos óleos essenciais aplicados como fumigantes. Embora o gás ozônio também se decomponha em função do tempo e dos constituintes do grão, pode-se considerar uma atmosfera controlada pelo fato de sua aplicação ser na forma contínua e, após a saturação do meio, a concentração de ozônio manter-se-á constante.

ATMOSFERA MODIFICADA COM ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais podem ser obtidos a partir de matérias vegetais como: flores, ervas, brotos, folhas, frutos, ramos, cascas, sementes, madeiras e raízes (Solórzano & Miranda, 2012) e são compostos por várias substâncias químicas biossintetizadas pelas plantas (Bakkali et al., 2008). Eles podem ser obtidos através de vários métodos, incluindo a destilação a vapor, hidrodestilação, maceração, extração com solventes e extração com gases supercríticos.

A procura por espécies vegetais com propriedades inseticidas às pragas de grãos armazenados tornou-se uma linha de pesquisa promissora (Silva et al., 2012). Nesse

sentido, muitas espécies de plantas que são utilizadas para o tratamento homeopático de doenças na saúde humana e animal têm contribuído na obtenção de compostos com atividade inseticidas (Pascual-Villalobos & Ballesta-Acosta, 2003; Rajendran & Sriranjini, 2008).

Os óleos essenciais podem ser usados como fumigantes e inseticidas de contato, e como repelentes no controle de pragas de grãos armazenados (Kheradmand et al., 2010; Paranagama & Gunasekera, 2011) abrindo novas perspectivas para o manejo dessas pragas, através de abordagens comportamentais. Podendo conter vários componentes, dos quais no máximo três se encontram em alta concentração, os óleos essenciais têm suas propriedades biológicas determinadas através dos seus constituintes (Pichersky et al., 2006). O produto extraído de uma mesma espécie planta pode variar em composição de acordo com as condições a que a mesma esteja submetida, seja essa de cultivo ou método de extração (Chiasson et al., 2001; Masotti et al., 2003; Angioni et al., 2006).

Os óleos essenciais são comumente constituídos por terpenóides voláteis, como os monoterpenos e sesquiterpenos (Ahn et al., 2000), apresentando grande potencial a ser explorado no controle de pragas agrícolas, como uma alternativa barata e ecológica aos inseticidas sintéticos (Isman, 2006; Knaak & Fiuza, 2010).

Em decorrência de os óleos essenciais serem derivados das plantas ou extratos vegetais, estes possuem múltiplos modos de ação. Sendo eles totais ou fitoquímicos purificados, nos insetos, apresentam-se de diferentes formas (Sadek, 2003), incluindo a toxicidade (Hiremath et al., 1997), o retardamento no desenvolvimento (Breuer & Schmidt, 1995), a inibição da alimentação (Wheeler & Isman, 2001), a deterrência à oviposição (Zhao, 1998), a redução na fecundidade e na fertilidade (Muthukrishnan & Pushpalatha, 2001), destruição da cutícula; e atividade na via octopamínica no sistema nervoso central (Isman, 2000; Kostyukovsky et al., 2002; Akhtar & Isman, 2004).

Vários componentes dos óleos essenciais podem atuar como neurotóxicos nos insetos, e já foram descritos vários tipos de receptores, incluindo os neuronais (GABA), os quais são os sítios de destino dos compostos (Huignard et al., 2008). Em vista do grande potencial dos óleos essenciais como agentes inseticidas, vários óleos vêm sendo estudados no sentido de controlar pragas de grãos armazenados. Dentre outros exemplos, os óleos essenciais de cravo e canela apresentam potencial para controle de *Acanthoscelides obtectus* Say (Viteri Jumbo et al., 2014). O óleo essencial de mostarda, cujo componente majoritário é o isotiocianato de alilo (AITC), tem reconhecida atividade inseticida para *S. zeamais*, inclusive para populações resistentes à fosfina (Freitas et al., 2016). Os óleos essenciais de *Piper hispidinervum* e *Ocimum basilicum* também apresentam potencial inseticida para controle de *S. zeamais* (Araújo et al., 2017). A Tabela 1 lista diferentes óleos essenciais utilizados para o controle de pragas em grãos.

TABELA 1. Óleos essenciais utilizados em atmosfera modificada no controle de pragas.

Composição	Parâmetros estudados	Resultado	Referência
Trinta e um óleos naturais de origem vegetal em grãos de trigo	Controle de <i>Sitophilus oryzae</i>	Óleos de <i>Amomum subulatum</i> , <i>Artemisia maritime</i> , <i>Cedrus deodara</i> e <i>Zanthoxylum alatum</i> (30 dias) e óleo de <i>Pinus longifolia</i> (60 dias) protegeram os grãos de trigo de danos. Nenhum dos óleos, no entanto, protegeu os grãos de trigo de danos durante todo o período do estudo (90 dias)	Singh et al. (1989)
Óleos essenciais de orégano e tomilho em grãos de trigo	Controle de micélios e esporos de <i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. niger</i> e <i>A. ochraceus</i> , e controle da microflora natural	A taxa de infestação em grãos tratados com os óleos foi significativamente menor que a do controle (grãos não tratados)	Paster et al. (1995)
Óleos essenciais de <i>Cinnamomum zeylanicum</i> , <i>Menthapiperita</i> , <i>Ocimum basilicum</i> , <i>Origanum vulgare</i> , <i>Teloxys ambrosioides</i> , <i>Syzygium aromaticum</i> , e <i>Thymus vulgaris</i> em grãos de milho	Controle de fungos (<i>A. flavus</i>)	A dosagem ótima para proteção do milho variou de 3 a 8%	Montes-Belmont & Carvajal (1998)
Óleos essenciais de <i>Caesulia axillaris</i> e <i>Mentha arvensis</i> em grão de trigo	Controle de fungos (<i>A. flavus</i>) e insetos-praga (<i>S. oryzae</i> e <i>Tribolium castaneum</i>)	Os resultados indicaram a eficácia dos óleos para o controle da biodeterioração de trigo armazenado	Varma & Dubey (2001)
Isotiocianato de alilo (AITC) em grãos de arroz	Controle de <i>S. zeamais</i> , <i>Rhizopertha dominica</i> , <i>T. ferrugineum</i> e <i>Liposcelis entomophila</i>	100% de mortalidade das quatro pragas, após 72 h de exposição aos vapores de AITC na concentração de 3 µg mL ⁻¹	Wu et al. (2009)
2,25 a 5,62 µL L ⁻¹ de AITC	Controle de diferentes populações de <i>T. castaneum</i>	Eficácia do AITC como fumigante alternativo para controle de <i>T. castaneum</i> . Observou-se má-formação de larvas e adultos do inseto após tratamento com AITC a 4,50 µL L ⁻¹	Santos et al. (2011)

Composição	Parâmetros estudados	Resultado	Referência
Óleo essencial de mostarda (AITC 90%) em 1,25 e 1,87 $\mu\text{L L}^{-1}$	Controle de <i>S. zeamais</i> em diferentes estágios de desenvolvimento	Toxicidade diferenciada para cada estágio de desenvolvimento. Os ovos e pupas de <i>S. zeamais</i> foram mais resistentes ao tratamento do que larvas e adultos. A mortalidade das fases imaturas do inseto dentro do grão sugere penetração do AITC no grão.	Paes et al. (2012)
Óleo essencial extraído de sementes de mostarda	Controle de larva, pupa e adultos de <i>S. zeamais</i> e <i>Callosobruchus maculatus</i>	Toxicidade diferenciada para cada estágio de desenvolvimento. Os adultos de ambos insetos foram mais suscetíveis ao óleo essencial do que as fases imaturas	Sousa et al. (2014)
Óleo essencial de salsa em feijão caupi	Desenvolvimento de <i>C. maculatus</i>	Redução da taxa instantânea de crescimento	Massango et al. (2017)
0,5 a 10,0 $\mu\text{L L}^{-1}$ de AITC em grãos de milho	Toxicidade e efeitos subletais de <i>S. zeamais</i>	Susceptibilidade uniforme das cinco populações estudadas, indicando ausência de resistência ao AITC. Redução da emergência acumulada e redução em até 80,9% da emergência diária de insetos	Souza et al. (2018a)

ATMOSFERA CONTROLADA COM OZÔNIO

O ozônio é formado por três átomos de oxigênio (O) ligados a partir da adição de um radical livre de oxigênio à molécula de oxigênio (O_2). O primeiro relato do odor característico do ozônio ocorreu em 1781 (Evans, 1972), sendo nomeado como ozônio (do grego, *ozein* = cheiro) apenas em 1840.

Em condições ambientais de temperatura e pressão, o ozônio é instável, decompondo-se rapidamente em oxigênio molecular (O_2). Advém dessa propriedade, o fato de que o O_3 não deixa resíduos tóxicos no ambiente/produto, uma vez que seu produto de degradação é o oxigênio. A decomposição, em estado gasoso ou aplicado em água, do ozônio é influenciada pela sua concentração, temperatura e pelos outros compostos presentes no ar ou água (Khadre et al., 2001; Miller et al., 2016).

O ozônio, além de apresentar alto potencial oxidativo (2,07 V), ainda é capaz de formar radicais que apresentam potenciais oxidativos ainda maiores. Por esse motivo,

as reações que envolvem o O₃ podem ocorrer devido à reação direta entre o ozônio e a molécula de interesse ou através da formação de radicais intermediários que reagem com a molécula (Grimes et al., 1983; Benitez et al., 2002; O'Donnell et al., 2012). Diversos mecanismos da reação entre ozônio e alguns agrotóxicos e micotoxinas foram propostos nos últimos anos (Adams & Randtke, 1992; Ikehata, El-Din, 2012; Luo et al., 2013). Especial atenção deve ser dada à formação de possíveis produtos de degradação provenientes da reação entre o ozônio e a molécula em estudo (Zhang et al., 2010; Luo et al., 2013; Souza et al., 2018b).

Devido à instabilidade do ozônio nas condições de aplicação, não é possível armazenar o gás ozônio para ser aplicado posteriormente e o gás deve ser gerado no próprio local de aplicação. Os trabalhos com ozônio podem ser classificados em atmosfera modificada ou atmosfera controlada de acordo o nível de controle da concentração de ozônio durante os tratamentos, conforme descrito anteriormente. As primeiras investigações sobre a utilização do ozônio como inseticida foram realizadas com insetos domésticos (formigas, baratas, moscas e traças), visando manter as condições de higiene de ambientes domésticos (Faroni et al., 2008).

Em insetos-praga de produtos armazenados, a primeira pesquisa foi publicada no início dos anos oitenta (Erdman, 1980), quando foi constatada a toxicidade do ozônio para larvas, pupas e adultos de *T. castaneum*. A eficácia do ozônio também foi estudada em nível de campo, onde se observou que a ozonização de uma massa de grãos de milho de 8,9 ton foi eficaz no controle de *P. interpunctella*, *S. zeamais* e *T. castaneum* (Kells et al., 2001). Estudos mostraram que o ozônio não modifica a qualidade dos grãos e é economicamente viável como fumigante para milho (Pereira et al., 2007; 2008a). Adicionalmente, o ozônio não apresenta resistência cruzada com a fosfina, que é o único fumigante utilizado no setor de armazenamento no Brasil (Sousa et al., 2008). Além do potencial como inseticida, fungicida e para degradação de micotoxinas em grãos, o ozônio tem sido explorado como alternativa para degradação de resíduos de agrotóxicos em grãos e outros produtos agrícolas (Souza et al., 2018b). O ozônio apresenta potencial para aplicação prática como inseticida no tratamento de grandes volumes de grãos (dados não publicados). A Tabela 2 lista diferentes aplicações do ozônio em grãos.

TABELA 2. Atmosfera controlada com ozônio no controle de pragas.

Composição	Parâmetros estudados	Resultado	Referência
Até 40 kV e 23 kHz por 30, 60, 90 e 120 min	Inativação microbiológica (bactérias e fungos) em arroz	A exposição por 90 min pode eliminar 58,41% das bactérias e 26,23% dos fungos	Nur et al. (2013)
10, 20 e 40 mg L ⁻¹	Inativação de fungos (<i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Acremonium</i> , <i>Alternaria</i> e <i>Aureobasidium</i>) em arroz	Redução de 90,40% (10 mg L ⁻¹) e de 99,95% (20 e 40 mg L ⁻¹)	Rodrigues et al. (2015)
10, 13 mg L ⁻¹ por 12, 24, 36, 48 e 60 h	Inativação de fungos (<i>Aspergillus</i> e <i>Penicillium</i>) em arroz	Redução de 100% da ocorrência de fungos com 60 h de exposição	Santos et al. (2016)
3 mg L ⁻¹ por até 10 h	Degradação de resíduos de agrotóxicos (bifentrina e deltametrina) em arroz	Remoção de até 91,9% dos resíduos de bifentrina e 92,7% de deltametrina	Ávila et al. (2017)
50 µL L ⁻¹ por 3 dias	Controle de insetos-praga (<i>T. castaneum</i> , <i>S. zeamais</i> e <i>Plodia interpunctella</i>) em milho	Taxas de mortalidade de 92 a 100%	Kells et al. (2001)
25 µL L ⁻¹ por 5 dias	Controle de insetos-praga (<i>T. castaneum</i> , <i>S. zeamais</i> e <i>P. interpunctella</i>) em milho	Taxas de mortalidade de 77 a 100%	Kells et al. (2001)
50 µL L ⁻¹ por 3 dias	Inativação de fungos (<i>A. parasiticus</i>) em milho	63% de redução	Kells et al. (2001)
50 µL L ⁻¹ por 71,4 e 151,8 h	Controle de insetos-praga (<i>T. castaneum</i>) em milho	Taxas de mortalidade de 50 e 95%	Pereira et al. (2008b)
50 mg kg ⁻¹ por 23,76 e 64,19 h	Controle de insetos-praga (<i>S. zeamais</i> e <i>T. castaneum</i>) em milho	Taxas de mortalidade de 95%	Rozado et al. (2008)
2, 14 mg L ⁻¹ por 10, 20, 30 e 50 h	Inativação de fungos (<i>A. flavus</i> e <i>Penicillium</i> spp.) em milho	Até 78,5% de redução de <i>A. flavus</i> e até 98% de redução de <i>Penicillium</i> spp.	Brito Júnior et al. (2018)
0,2 - 0,9 mg L ⁻¹ por 1 h	Degradação de resíduos de agrotóxico (pirimifós-metílico) em milho	Taxas de degradação maiores que 64%	Freitas et al. (2014)
2,1 - 4,3 mg L ⁻¹ por 1 h	Degradação de resíduos de agrotóxico (bifentrina) em milho	Taxas de degradação maiores que 75%	Freitas et al. (2014)
100 e 200 µL L ⁻¹ por 1 h	Inativação de fungos (<i>Fusarium verticillioides</i>) e controle da produção de micotoxinas (Fumonisin) em milho	Até 100% de redução dos fungos e micotoxinas	Mylona et al. (2014)
13,5 mg L ⁻¹ por 60 h	Inativação de fungos (<i>A. flavus</i> , <i>Fusarium verticillioides</i> e <i>Penicillium</i> spp.) em milho	Redução superior a 93% para os três fungos	Ribeiro (2016)
13,5 mg L ⁻¹ por 24 h	Degradação de micotoxinas (Fumonisin) em milho	Redução no teor de Fumonisin superiores a 78%	Ribeiro (2016)
0,33 mg de ozônio (g trigo) ⁻¹ min ⁻¹	Inativação de fungos em trigo	Inativação de 96,9% dos esporos fúngicos	Wu et al. (2006)
13,9 mg L ⁻¹	Controle de insetos-praga (<i>Ephesia kuehniella</i> e <i>T. confusum</i>) em trigo	Taxas de mortalidade de 92 a 100%	Isikber & Oztekin (2009)

Composição	Parâmetros estudados	Resultado	Referência
25, 50 e 70 $\mu\text{L L}^{-1}$ por 1, 2, 3 e 4 dias	Controle de insetos-praga (<i>R. dominica</i> , <i>T. castaneum</i> , <i>S. oryzae</i> , <i>Cryptolestes ferrugineus</i> e <i>Oryzaephilus surinamensis</i>) em trigo	100% de mortalidade de adultos de <i>S. oryzae</i> e <i>T. castaneum</i> após 2 e 4 dias de tratamento, respectivamente	Bonjour et al. (2011)
20, 40, 60 e 80 mg L^{-1} por 2, 4, 8 e 12 h	Degradação de micotoxinas (Deoxinivalenol) em trigo	Taxa de degradação de 57,3% quando o trigo foi tratado com ozônio na concentração de 60 mg L^{-1} durante 12 h	Li et al. (2015)
40 e 60 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ por 30, 60, 120 e 180 min	Inativação de fungos (<i>A. flavus</i> e <i>P. citrinum</i>) e degradação de micotoxinas (Aflatoxina e Citrinina) em trigo	Os fungos foram completamente inibidos na maior concentração de O_3 por 180 min. Redução de até 94,6% de aflatoxina e 75,3% de citrinina	Savi et al. (2014)
60 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ por 60, 120 e 180 min	Degradação de resíduos de agrotóxicos (deltametrina e fenitrotiona) em trigo	Taxas de degradação de até 89,8% dos resíduos de deltametrina e 66,7% dos resíduos de fenitrotiona	Savi et al. (2015)
1,61 mg L^{-1}	Controle de insetos-praga (<i>R. dominica</i>) em trigo	Mortalidade de 50 e 95% de adultos de <i>R. dominica</i> com exposições de 8,69 a 13,08 h e de 11,28 a 18,11 h, respectivamente	Silva et al. (2016)
25, 50, 75 e 100 mg L^{-1} por 15, 30, 45 e 60 min	Degradação de micotoxinas (deoxinivalenol) em trigo	Taxa de degradação de 78,66% na maior concentração e maior tempo de exposição	Wang et al. (2016)
25 mg min^{-1}	Degradação de micotoxinas (Aflatoxinas) em amendoim	Aflatoxina B1 e G1 (100% de degradação) e Aflatoxina B2 (78% de degradação)	Dwarakanath et al. (1968)
4,2% por peso a 15 psi por 5, 10 e 15 min	Degradação de micotoxinas (Aflatoxinas B1, B2, G1 e G2) em amendoim	Aflatoxina B1 (até $77 \pm 2\%$), Aflatoxina G1 (até $80 \pm 2\%$), Aflatoxina B2 (até $56 \pm 3\%$) e Aflatoxina G2 (até $61 \pm 6\%$) de degradação	Proctor et al. (2004)
20 $\mu\text{L L}^{-1}$ por 5 minutos, 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ por 10 min e 50 $\mu\text{L L}^{-1}$ por 5 min	Redução da deterioração fúngica (<i>A. flavus</i>) e da concentração de Aflatoxinas (B1 e B2) em amendoim	Redução de até 89,5% da deterioração fúngica. Degradação de aflatoxinas (com 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ por 10 min) até as concentrações de 2,08 ng g^{-1} (AFB1) e 0,52 ng g^{-1} (AFB2)	Abdel-Wahhab et al. (2011)
13 e 21 mg L^{-1} por 24, 48, 72 e 96 h	Redução da deterioração fúngica e da concentração de Aflatoxinas em amendoim	Redução de até ~3 ciclos log da contaminação fúngica e das micotoxinas: 30% (aflatoxinas totais) e 25% (aflatoxina B1)	Alencar et al. (2012)
6,0 mg L^{-1} por 30 min	Redução da concentração de Aflatoxinas em amendoim	Redução de 65,8% (aflatoxinas totais) e 65,9% (aflatoxina B1)	Chen et al. (2014)

Composição	Parâmetros estudados	Resultado	Referência
3.960 $\mu\text{L L}^{-1}$ por 120 e 240 min	Redução da deterioração fúngica em amendoim	Redução superior a 2,4 e 3,0 ciclos log na contagem dos microrganismos	Ferreira (2014)
0,16 mg de ozônio/ (g cevada) . min	Inativação de fungos em cevada	96% de inativação dos esporos	Allen et al. (2003)
11 e 26 mg g^{-1} por 15 min	Inativação de fungos (<i>Fusarium</i>) em cevada	24 a 36% de redução da contaminação	Kottapalli et al. (2005)
6,88 g h^{-1}	Tratamento prévio à fermentação do café	Melhoria da segurança alimentar do café despulpado, sem alteração perceptível da qualidade da bebida	Nascimento et al. (2008)
10 e 20 mg L^{-1} por 0,5; 1; 1,5 e 2 h	Inativação de fungos (<i>Aspergillus</i> e <i>Fusarium</i>) em soja	Levando em consideração as qualidades fisiológica e sanitária, o tratamento com melhor resultado foi o de 10 mg L^{-1} e 1 h	Brandani (2014)
10, 35 e 60 mg L^{-1} por 120, 210 e 300 min em 2, 3,5 e 5 kg de grãos	Degradação de micotoxinas (DON e aflatoxinas B_1 , B_2 , G_1 e G_2) e inativação de fungos (<i>Fusarium</i> spp. e <i>Aspergillus</i> spp.) em grãos de trigo.	Redução em até 64,3% da contaminação por DON, e até 54,4, 63,2, 40,3, e 34,0% das aflatoxinas G_1 , B_1 , G_2 , B_2 , respectivamente. Redução de até 3,0 e 3,1 ciclos log de <i>Fusarium</i> spp. e <i>Aspergillus</i> spp., respectivamente.	Trombete et al., 2017
40 e 60 mg kg^{-1} por 30, 60, 120 e 180 min a $25\pm 0,5$ °C	Redução da contaminação fúngica por <i>F. poae</i> e <i>F. graminearum</i> em cevada e seu potencial de germinação após tratamento	Redução de até 93,3 e 92,6% de <i>F. poae</i> e <i>F. graminearum</i> , respectivamente. A germinação não foi afetada pelos tratamentos.	Piacentini et al., 2017
62 mg L^{-1} por até 240 min a 25 ± 1 °C em 30 g de farelo de trigo	Redução da contaminação por micotoxinas em farelo de trigo	Redução de até 32% da contaminação por desoxinivalenol e 61% de zearalenona	Alexandre et al., 2018
32,5 a 55 g (O_3) h^{-1} por 6 a 16 h	Redução da contaminação por micotoxinas em grãos de trigo	Redução da contaminação por desoxinivalenol e desoxinivalenol-3-Glc em 29 e 44%, respectivamente, sem alterar os parâmetros químicos e reológicos nas condições de O_3 de 55 g h^{-1} por 6 h.	Piemontese et al., 2018
100 a 400 ppm por 1 h e 100 ppm por 1 a 6 h	Mortalidade de diferentes fases de <i>O. mercator</i> em presença ou não de farinha de trigo	Potencial para controle de todas as fases de <i>O. mercator</i> com O_3	Mahroof et al., 2018

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Wahhab, M.A., Sehab, A.F., Hassanien, F.R., El-Nemr Sh, E., Amra, H.A., Abdel-Alim, H.A. Efficacy of ozone to reduce fungal spoilage and aflatoxin contamination in peanuts. **International Journal of Nuts and Related Sciences**, v.2, n.4, p.1-14, 2011.

Adams, C.D., Randtke, S.J. Ozonation byproducts of atrazine in synthetic and natural waters. **Environmental Science & Technology**, v.26, p.2218-2227, 1992.

Ahn, W.C., Kalish, S.A., Gelman, D.L., Medin, C., Luhmann, S., Atran, J.D., Coley, P., Shafto, P. Why essences are essential in the psychology of concepts: Commentary on Strevens. **Cognition**, v.15, p. 237–262, 2001.

Akhtar, Y., Isman, M.B. Comparative growth inhibitory and antifeedant effects of plant extracts and pure allelochemicals on four phytophagous insect species. **Journal of Applied Entomology**, v.128, p.32-38, 2004.

Alencar, E.R., Faroni, L.R.A., Soares, N.F.F., Silva, W.A., Carvalho, M.C.S. Efficacy of ozone as a fungicidal and detoxifying agent of aflatoxins in peanuts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.92, p.899-905, 2012.

Alexandre, A.P.S., Vela-Paredes, R.S., Santos, A.S., Costa, N.S., Canniatti-Brazaca, S.G., Calori-Domingues, M.A. Augusto, P.E.D. Ozone treatment to reduce deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEN) contamination in wheat bran and its impact on nutritional quality. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v.35, p.1189-1199, 2018.

Allen, B., Wu, J., Doan, H. Inactivation of Fungi Associated with Barley Grain by Gaseous Ozone. **Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v.38, p.617-630, 2003.

Angioni, A., Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S., Cabras, P. Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves and flowers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, n.12, p.4364-4370, 2006.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos: Relatório das análises de amostras monitoradas no período de 2013 a 2015. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/111215/0/Relat%C3%B3rio+PARA+2013-2015_VERS%C3%83O-FINAL.pdf/494cd7c5-5408-4e6a-b0e5-5098cbf759f8 [Acessado em Julho de 2018].

Araújo, A.M.N., Faroni, L.R.A., Oliveira, J.V., Navarro, D.M.A.F., Barbosa, D.R.S., Breda,

M.O., França, S.M. Lethal and sublethal responses of *Sitophilus zeamais* populations to essential oils. **Journal of Pest Science**, v.90, p.589-600, 2017.

Ávila, M.B.R., Faroni, L.R.A., Heleno, F.F., Queiroz, M.E.L.R., Costa, L.P. Ozone as degradation agent of pesticide residues in stored rice grains. **Journal of Food Science and Technology**, v.54, p.4092-4099, 2017.

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M. Biological effects of essential oils—a review. **Food and Chemical Toxicology**, v.46, n.2, p.446-475, 2008.

Benitez, F.J., Acero, J.L., Real, F.J. Degradation of carbofuran by using ozone, UV radiation and advanced oxidation processes. **Journal of Hazardous Materials**, v.89, p.51-65, 2002.

Bonjour, E.L., Opit, G.P., Hardin, J., Jones, C.L., Payton, M.E., Beeby, R.L. Efficacy of ozone fumigation against the major grain pests in stored wheat. **Journal of Economic Entomology**, v.104, p.308-316, 2011.

Brandani, E.B., 2015. Efeito do gás ozônio no controle de fungos e na qualidade fisiológica em sementes de soja. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasília: UnB. 49f.

Brito Júnior, J.G., Faroni, L.R.A., Cecon, P.R., Benevenuto, W.C.A.N., Benevenuto Júnior, A.A., Heleno, F.F. Efficacy of ozone in the microbiological disinfection of maize grains. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.21, e2017022, 2018.

Breuer, M., Schmidt, G.H. Influence of a short period treatment with *Melia azedarach* extract on food intake and growth of the larva of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lep., Noctuidae). **Journal of Plant Diseases Protection**, v.102, p.633-654, 1995.

Champ, B.R., Dyte, C.E. Global survey of pesticide susceptibility of stored grain pests. Rome: FAO/UN, 1976. 356p.

Chen, R., Ma, F., Li, P.W., Zhang, W., Ding, X.X., Zhang, Q., Li, M., Wang, Y.R., Xu, B.C. Effect of ozone on aflatoxins detoxification and nutritional quality of peanuts. **Food Chemistry**, v.146, p.284-288, 2014.

Chiasson, H., Bélanger, A., Bostanian, N., Vincent, C., Poliquin, A. Acaricidal properties of *Artemisia absinthium* and *Tanacetum vulgare* (Asteraceae) essential oils obtained by three methods of extraction. **Journal of Economic Entomology**, v.94, n.1, p.167-171, 2001.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: CONAB. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/>

item/download/21088_8ca248b277426bb3974f74efa00abab6 [acessado em Julho de 2018]

Dwarakanath, C., Rayner, E., Mann, G., Dollear, F. Reduction of aflatoxin levels in cottonseed and peanut meals by ozonization. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.45, n.2, p.93–95, 1968.

Erdman, H.E. Ozone toxicity during ontogeny of two species of flour beetles, *Tribolium confusum* and *T. castaneum*. **Environmental Entomology**, v.9, n.1, p.16-17, 1980.

Evans, F.L. Ozone in Water and Wastewater Treatment. Michigan: Ann Arbor Science Publishers, 1972. 185p.

Faroni, L.R.A., Sousa, A.H. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados.. In: Almeida, F. A. C.; Duarte, M. E. M.; Mata, M. E. R. M. C. (Org.). Tecnologia de Armazenagem em sementes. Campina Grande: UFCG, 2006. p. 371-402.

Faroni, L.R.A., Sousa, A.H., Santos, J.E. Potencial do ozônio como fumigante para grãos. In: Scussel, V.M.; Rocha, M.W.; Lorini, I.; Sabino, M.; Rosa, C.A.R.; Carvajal, M.M. (Org.). Atualidades em Micotoxinas e Armazenagem de Grãos II. Florianópolis: ABMAG, 2008. p.511-517.

Ferreira, W.F.D.S., 2014. Eficácia do ozônio no controle de fungos potencialmente aflatoxigênicos em amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Trabalho de Conclusão de Curso. Brasília: UnB. 32f.

Freitas, R.S., Queiroz, M.E.L.R., Faroni, L.R.A., Heleno, F.F., Moura, V.V. Desenvolvimento do método de extração sólido-líquido com partição em baixa temperatura para determinação de inseticidas em grãos de milho ozonizados. **Química Nova**, v.37, p.238-243, 2014.

Freitas, R.C.P., Faroni, L.R.A., Haddi, K., Viteru Jumbo, L.O., Oliveira, E.E. Allyl isothiocyanate actions on populations of *Sitophilus zeamais* resistant to phosphine: Toxicity, emergence inhibition and repellency. **Journal of Stored Products Research**, v.69, p.257-264, 2016.

Georghiou, G.P. The evolution of resistance to pesticides. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.3, p.133-168, 1972.

Gilden, R.C.; Huffling, K.; Sattler, B. Pesticides and Health Risks. **Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing**, v.39, p.103-110, 2010.

Grimes, H.D., Perkins, K.K., Boss, W.F. Ozone degrades into hydroxyl radical under physiological conditions. **Plant Physiology**, v.72, p.1016-1020, 1983.

Groopman, J.D., Cain, L.G., Kensler, T.W., Harris, C.C. Aflatoxin exposure in human populations: measurements and relationship to cancer. **CRC Critical Reviews in Toxicology**, v.19, p.113 – 145, 1988.

Guedes, R.N.C. Manejo integrado para a proteção de grãos armazenados contra insetos. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.15/16, n.1/2, p.3-48, 1990/1991.

Guedes, R.N.C., Lima, J.O.G., Santos, J.P., Cruz, C.D. Inheritance of deltamethrin resistance in a Brazilian strain of maize weevil *Sitophilus zeamais* Mots. **International Journal of Pest Management**, v.40, n.1, p.103-106, 1994.

Guedes, R.N.C., Lima, J.O.G., Santos, J.P., Cruz, C.D. Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Product Research**, v.31, n.2, p.145-150, 1995.

Hangstrum, D.W., Subramanyam, B. **Fundamentals of stored-product entomology**. St. Paul, Minnesota: AACCC International, 2006. 323p.

Henry, S.H., Bosch, F.X., Troxell, T.C., Bolger, P.M. Reducing liver cancer – global control of aflatoxin. **Science**, v.286, p.2453 – 2454, 1999.

Hiremath, G.I., Ahn, Y.J., Kim, S.I. Insecticidal activity of Indian plant extracts against *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). **Applied Entomology and Zoology**, v.32, n.1, p.159-166, 1997.

Huignard, J., Lapied, B., Dugravot, S., Magnin-Robert, M., Ketoh, G.K. Modes d'action neurotoxiques des dérivés soufrés et de certaines huiles essentielles et risques liés à leur utilisation. In Biopesticides d'origine végétale, 2e édition, Tec & Doc, p.225, 2008.

Isikber, A.A., Öztekin, S. Comparison of susceptibility of two stored-product insects, *Ephesia kuehniella* Zeller and *Tribolium confusum* du Val to gaseous ozone. **Journal of Stored Products Research**, v.45, n.3, p.159-164, 2009.

Ikehata, K., Gamal El-Din, M. Aqueous pesticide degradation by ozonation and ozone-based advanced oxidation processes: a review (Part I). **Ozone: Science and Engineering**, v.27, n.2, p.83-114, 2005.

Isman, M.B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop protection**, v.19, p.603-608, 2000.

Isman, M.B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology**, v.51, p.45-66, 2006.

Jayas, D.S., Jeyamkondan, S. Modified atmosphere storage of grains, meat, fruits, and vegetables. **Biosystems Engineering**, v.82, p.235-251, 2002.

Kells, S.A., Mason, L.J., Maier, D.E., Woloshuk, C.P.. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v.37, n.4, p.371–382, 2001.

Khadre, M.A., Yousef, A.E., Kim, J.G. Microbiological aspects of ozone application in food: a review. **Journal of Food Science**, v.66, p.1242-1252, 2001.

Kheradmand, K., Noori, S.A.S., Sabahi, G.H. Repellent effects of essential oil from *Simmondsia chinensis* (Link) against *Oryzaephilus surinamensis* Linnaeus and *Callosobruchus maculatus* (Fabricius). **Research Journal of Agricultural Sciences**, v.1, p.66-68, 2010.

Knaak, N. Fiuza, L.M. Potential of essential plant oils to control insects and microorganisms. **Neotropical Biology and Conservation**, v.5, n.2, p.120-132, 2010.

Kostyukovsky, M., Rafaeli, A., Gileadi, C., Demchenko, N., Shaaya, E. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: possible mode of action against insect pests. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v.58, n.11, p.1101-1106, 2002.

Kottapalli, B., Wolf-Hall, C.E., Schwarz, P. Evaluation of gaseous ozone and hydrogen peroxide treatments for reducing *Fusarium* survival in malting barley. **Journal of Food Protection**, v.68, n.6, p.1236–1240, 2005.

Li, M.M., Guan, E.Q., Bian, K. Effect of ozone treatment on deoxynivalenol and quality evaluation of ozonized wheat. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v.32, p.544-553, 2015.

Logrieco, A., Bottalico, A., Mulé, G., Moretti, A., Perrone, G. Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops. **European Journal of Plant Pathology**, v.109, p.645-667, 2003.

Lozowicka, B., Kacynski, P., Paritova, A.E., Kuzembekova, G.B., Abzhalieva, A.B., Sarsembayeva, N.B., Alihan, K. Pesticide residues in grains from Kazakhstan and potential health risks associated with exposure to detected pesticides. **Food and Chemical Toxicology**, v.64, p.238-248, 2014.

Lu, B., Ren, Y., Du, Y., Fu, Y., Gu, Jie. Effect of ozone on respiration of adult *Sitophilus oryzae* (L.), *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Rhyzopertha dominica* (F.). **Journal of Insect Physiology**, v.55, n.10, p.885-889, 2009.

Luo, X., Wang, R., Wang, L., Wang, Y., Chen, Z. Structure elucidation and toxicity analyses of the degradation products of aflatoxin B1 by aqueous ozone. **Food Control**, v.31, p.331-336, 2013.

Magan, N., Hope, R., Cairns, V., Aldred, D. Post-harvest fungal ecology: Impact of fungal growth and mycotoxin accumulation in stored grain. **European Journal of Plant Pathology**, v.109, p.723-730, 2003.

Mahroof, R.M., Amoah, B.A., Wrighton, J. Efficacy of Ozone Against the Life Stages of *Oryzaephilus mercator* (Coleoptera: Silvanidae). **Journal of Economic Entomology**, v.111, p.470-481, 2018.

Masotti, V., Juteau, F., Bessière, J.M., Viano, J. Seasonal and phenological variations of the essential oil from the narrow endemic species *Artemisia molinieri* and its biological activities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, n.24, p.7115-7121, 2003.

Massango, H.G.L.L, Faroni, L.R.A., Haddi, K., Heleno, F.F., Viteri Jumbo, L.O., Oliveira, E.E. Toxicity and metabolic mechanisms underlying the insecticidal activity of parsley essential oil on bean weevil, *Callosobruchus maculatus*. **Journal of Pest Science**, v.90, p.723-733, 2017.

McKenzie, J.A. Selection Against Resistant Phenotypes. In: McKenzie, J.A. **Ecological and evolutionary aspects of insecticide resistance**. Austin: Academic Press, 1996. 185p.

Mendez, F., Maier, D.E., Mason, L.J., Woloshuck, C.P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. **Journal of Stored Products Research**, v.39, n.1, p.33-44, 2003.

Miller, D.B., Ghio, A.J., Karoly, E.D., Bell, L.N., Snow, S.J., Madden, M.C., Soukup, J., Cascio, W.E., Gilmour, M.I., Kodavanti, U.P. Ozone exposure increases circulating stress hormones and lipid metabolites in humans. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v.193, p.1382-1391, 2016.

Montes-Belmont, R., Carvajal, M. Control of *Aspergillus flavus* in maize with plant essential oils and their components. **Journal of Food Protection**, v.61, p.616-619, 1998.

Muthukrishnan, J., Pushpalatha, E. Effects of plant extracts on fecundity and fertility of mosquitoes. **Journal of Applied Entomology**, v.125, p.31-35, 2001.

Mylona, K., Kogkaki, E., Sulyok, M., Magan, N. Efficacy of gaseous ozone treatment on spore germination, growth and fumonisin production by *Fusarium verticillioides* *in vitro* and *in situ* in maize. **Journal of Stored Products Research**, v.59, p.178-184, 2014.

Nascimento, L., Oiveira, L., Picolli, R., Fiorini, J., Silveira, S., Schneedorf, J. Ozônio e ultra-som: processos alternativos para o tratamento do café despulpado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.2, p.282-294, 2008.

Nur, M., Solichin, A., Kusdiyantini, E., Winarni, T.A., Rahman, D.A., Maryam, R., Teke, S., Wuryanti, Muharam, H., 2013. Ozone production by Dielectric Barrier Discharge Plasma for microbial inactivation in rice. In 3rd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME). pp. 221-225.

O'Donnell, C., Tiwari, B.K., Cullen, P.J., Rice, R.G. Ozone in food processing. Pondicherry: John Wiley & Sons, 2012. 298p.

Pacheco, I.A., Sartori, M.R., Taylor, R.W.D. Levantamento de resistência de insetos-praga de grãos armazenados à fosfina no estado de São Paulo. **Coletânea do ITAL**, v.20, n.2, p.144-154, 1990.

Paes, J.L., Faroni, L.R.A., Dhingra, O.D., Cecon, P.R., Silva, T.A. Insecticidal fumigant action of mustard essential oil against *Sitophilus zeamais* in maize grains. **Crop Protection**, v.34, p.56-58, 2012.

Paranagama, P.A., Gunasekera, J.J. The efficacy of the essential oils of Sri Lankan *Cinnamomum zeylanicum* fruit and *Micromelum minutum* leaf against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Essential Oil Research**, v.23, n.1, p.75-82, 2011.

Pascual-Villalobos, M.J., Ballesta-Acosta, M.C. Chemical variation in an *Ocimum basilicum* germplasm collection and activity of the essential oils on *Callosobruchus maculatus*. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.31, n.7, p.673-679, 2003.

Paster, N., Menasherov, M., Ravid, U., Juven, B. Antifungal activity of oregano and thyme essential oils applied as fumigants against fungi attacking stored grain. **Journal of Food Protection**, v.58, p.81-85, 1995.

Pereira, A.M., Faroni, L.R.A., Silva Júnior, A.G., Sousa, A.H., Paes, J.L. Viabilidade econômica do gás ozônio como fumigante em grãos de milho armazenados. **Engenharia na Agricultura**, v.16, n.2, p.144-154, 2008a.

Pereira, A.M., Faroni, L.R.A., Sousa, A.H., Urruchi, W.I., Paes, J.L. Influence of the

grain temperature on the ozone toxicity to *Tribolium castaneum*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.5, p.493–497, 2008b.

Pereira, A.M., Faroni, L.R.A., Sousa, A.H., Urruchi, W.I., Roma, R.C.C. Efeito imediato e latente da fumigação com ozônio na qualidade dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.32, n.2, p.100-110, 2007.

Piacentini, K.C., Savi, G.D., Scussel, V.M. The effect of ozone treatment on species of *Fusarium* growth in malting barley (*Hordeum vulgare* L.) grains. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v.9, n.4, p.383-389, 2017.

Pichersky, E., Noel, J.P., Dudareva, N. Biosynthesis of plant volatiles: nature's diversity and ingenuity. **Science**, v.311, n.5762, p.808-811, 2006.

Piemontese, L. Messia, M.C., Marconi, E., Falasca, L., Zivoli, R., Gambacorta, L., Perrone, G., Solfrizzo, M. Effect of gaseous ozone treatments on DON, microbial contaminants and technological parameters of wheat and semolina. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v.35, p. 760-771, 2018.

Pimentel, M.A.G., Faroni, L.R.A., Tótola, M.R., Guedes, R.N.C. Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in stored-product insects. **Pest Management Science**, v.63, n.9, p.876-881, 2007.

Pimentel, M.A.G., Faroni, L.R.A., Guedes, R.N.C., Sousa, A.H., Tótola, M.R. Phosphine resistance in Brazilian population of *Sitophilus zeamais* Motschulski (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v.45, p.71-74, 2009.

Pomeranz, Y. Insects: identification, damage and detection. In.: Sauer, D. B. Storage cereal grains and their products. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists Inc., 1992. p. 435-479.

Proctor, A.D., Ahmedna, M., Kumar, J.V., Goktepe, I. Degradation of aflatoxins in peanut kernels/flour by gaseous ozonation and mild heat treatment. **Food Additives and Contaminants**, v.21. n.8, p.786-793, 2004.

Rajendran, S., Sriranjini, V. Plant products as fumigants for stored-product insect control. **Journal of Stored Products Research**, v.44, n.2, p.126-135, 2008.

Reddy, K.R.N., Salleh, B., Saad, B., Abbas, H.K., Abel, C.A., Shier, W.T. An overview of mycotoxin contamination in foods and its implications for human health. **Toxin Reviews**, v.29, p.3-26, 2010.

Ribeiro, B.M., Guedes, R.N.C., Oliveira, E.E., Santos, J.P. Insecticide resistance and

synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v.39, n.1, p.21-31, 2003.

Ribeiro, D.F., 2016. Ozônio como agente fungicida e de degradação de micotoxinas em híbridos de milho. Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV. 47f.

Rodrigues, M.B., Savi, G.D., Scussel, V.M. Ozone effect on fungi proliferation and genera susceptibility of treated stored dry paddy rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Food Safety**, v.35, p.59-65, 2015.

Rozado, A.F., Faroni, L.R.A., Urruchi, W. M. I., Guedes, R.N.C., Paes, J.L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, p.282-285, 2008.

Sadek, M.M. Antifeedant and toxic activity of *Adhatoda vasica* leaf extract against *Spodoptera littoralis* (Lep., Noctuidae). **Journal of applied entomology**, v.127, n.7, p.396-404, 2003.

Santos, J.C., Faroni, L.R.A., Sousa, A.H., Guedes, R.N.C. Fumigant toxicity of allyl isothiocyanate to populations of the red flour beetle *Tribolium castaneum*. **Journal of Stored Products Research**, v.47, p.238-243, 2011.

Santos, R.R., Faroni, L.R.A., Cecon, P.R., Ferreira, A.P.S., Pereira, O.L. Ozone as fungicide in rice grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, p.230-235, 2016.

Savi, G.D., Piacentini, K.C., Bittencourt, K.O., Scussel, V.M. Ozone treatment efficiency on *Fusarium graminearum* and deoxynivalenol degradation and its effects on whole wheat grains (*Triticum aestivum* L.) quality and germination. **Journal of Stored Products Research**, v.59, p.245-253, 2014.

Savi, G.D., Piacentini, K.C., Scussel, V.M. Ozone treatment efficiency in *Aspergillus* and *Penicillium* growth inhibition and mycotoxin degradation of stored wheat grains (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, v.39, p.940-948, 2015.

Silva, G.N., Faroni, L.R.A, Sousa, A.H., Freitas, R.S. Bioactivity of *Jatropha curcas* L. to insect pests of stored products. **Journal Stored Products Research**., v.48, p.111-113, 2012.

Silva, G.N., Faroni, L.R.A., Cecon, P.R., Sousa, A.H., Heleno, F.F. Ozone to control *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat grains. **Journal of Stored Products and Postharvest Research**, v.7, p.37-44, 2016.

Singh, D., Siddiqui, M.S., Sharma, S. Reproduction retardant and fumigant properties in essential oils against rice weevil (Coleoptera: Curculionidae) in stored wheat. **Journal of Economic Entomology**, v.82, p.727-732, 1989.

Solórzano-Santos, F., Miranda-Navales, M. G. Essential oils from aromatic herbs as antimicrobial agents. **Current opinion in biotechnology**, v.23, n.2, p.136-141, 2012.

Sousa, A.H., Faroni, L.R.A., Guedes, R.N.C., Tótola, M.R., Urruchi, W.I. Ozone as a management alternative against phosphine-resistant insect-pests of stored products. **Journal of Stored Products Research**, v.44, n.4, p.379-385, 2008.

Sousa, A.H., Faroni, L.R.A., Freitas, R.S. Relative toxicity of mustard essential oil to insect-pests of stored products. **Revista Caatinga**, v.27, p.222-226, 2014.

Souza, L.P., Faroni, L.R.A., Lopes, L.M., Sousa, A.H., Prates, L.H.F. Toxicity and sublethal effects of allyl isothiocyanate to *Sitophilus zeamais* on population development and walking behavior. **Journal of Pest Science**, v.91, p. 761-770, 2018.

Souza, L.P., Faroni, L.R.A., Heleno, F.F., Pinto, F.G., Queiroz, M.E.L.R., Prates, L.H.F. Ozone treatment for pesticide removal from carrots: Optimization by response surface methodology. **Food Chemistry**, v.243, p.435-441, 2018b.

Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. Resistance Measurement and Management. In: Subramanyam, B.; Hagstrum, D. W. **Integrated Management of Insects in Stored Products**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.331-397.

Thiel, P.G., Marasas, W.F.O., Sydenham, E.W., Shephard, G.S., Gelderblom, W.C.A. The implications of naturally occurring level of fumonisins in corn for human and animal health. **Mycopathologia**, v.117, p.3 – 9, 1992.

Trombete, F.M., Porto, Y.D., Freitas-Silva, O., Pereira, R.V., Direito, G.M., Saldanha, T., Fraga, M.E. Efficacy of ozone treatment on mycotoxins and fungal reduction in artificially contaminated soft wheat grains. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.41, e12927, 2017.

Varma, J., Dubey, N.K. Efficacy of essential oils of *Caesulia axillaris* and *Mentha arvensis* against some storage pests causing biodeterioration of food commodities. **International Journal of Food Microbiology**, v.68, p.207-210, 2001.

Viteri Jumbo, L.O., Faroni, L.R.A., Oliveira, E.E., Pimentel, M.A. Silva, G.N. Potential use of clove and cinnamon essential oils to control the bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* Say, in small storage units. **Industrial Crops and Products**, v.56, p.27-34, 2014.

Wang, L. Shao, H., Luo, X., Wang, R., Li, Y., Li, Y., Luo, Y., Chen, Z. Effect of ozone treatment on deoxynivalenol and wheat quality. **Plos One**, v.11, p.1-13, 2016.

Wheeler, D.A., Isman, M.B. Antifeedant and toxic activity of *Trichilia americana* extract against the larvae of *Spodoptera litura*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.98, n.1, p.9-16, 2001.

Wilson, C., Tisdell, C. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. **Ecological Economics**, v.38, p.449-462, 2001.

Wu, H., Zhang, G.A., Zeng, S., Lin, K.C. Extraction of allyl isothiocyanate from horseradish (*Armoracia rusticana*) and its fumigant insecticidal activity on four stored product pests of paddy. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v.65, p.1003-1008, 2009.

Wu, J., Doan, H., Cuenca, M.A. Investigation of gaseous ozone as an anti-fungal fumigant for stored wheat. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.81, p.1288-1293, 2006.

Zhang, Y., Xiao, Z., Chen, F., Ge, Y., Wu, J., Hu, X. Degradation behavior and products of malathion and chlorpyrifos spiked in apple juice by ultrasonic treatment. **Ultrasonics Sonochemistry**, v.17, p.72-77, 2010.

Zhao, B. Detering and inhibiting effects of quinolizidine alkaloids on spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) oviposition. **Environmental Entomology**, v.27, p.984-992, 1998.