

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

CASSIUS ISHMAEL SCOLMEISTER DA SILVA

SATURAÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO EM MEIO POROSO
CONTENDO CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)

BRASÍLIA, DF

2015

CASSIUS ISHMAEL SCOLMEISTER DA SILVA

SATURAÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO EM MEIO POROSO
CONTENDO CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)

Orientador: Prof. Dr. Ernandes Alencar

BRASÍLIA, DF

2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

SATURAÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO EM MEIO POROSO
CONTENDO CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)

Cassius Ishmael Scolmeister da Silva

Matrícula: 11/0026713

Prof. Orientador: Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar

Monografia, submetido à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada por:

Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar
(Universidade de Brasília – FAV)
(Orientador)

MSc. Márcio Antônio Mendonça
(Universidade de Brasília – FAV)
(Examinador Interno)

MSc. Rosa Maria de Deus de Sousa
(Examinador Externo)

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, C. I. S.

SATURAÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO EM MEIO POROSO CONTENDO CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)

Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2015.

Orientação: Prof. Dr. Ernandes de Rodrigues Alencar

1. Ozonização. 2. Processo de Saturação 3. Cinética de Decomposição.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, C. I. S. SATURAÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO EM MEIO POROSO CONTENDO CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). 2015. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2015.

Nome do Autor: Cassius Ishmael Scolmeister da Silva

Título da Monografia de Conclusão de Curso: SATURAÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO EM MEIO POROSO CONTENDO CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.).

Grau: 3º Ano: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Cassius Ishmael Scolmeister da Silva
CPF: 043.091.951-48
Matrícula: 11/0026713
E-mail: cassiusishmael@yahoo.com

RESUMO: A castanha-do-brasil é uma árvore cujo o fruto é amplamente apreciado ao redor do mundo por seu sabor e valor nutritivo, porém, as castanhas também são excelente substrato para microrganismos. Muitos destes microrganismos produzem aflatoxinas que são altamente tóxicas tanto a animais como ao ser humano. Diante desse problema é fundamental a adoção de métodos que sejam eficazes no controle de microrganismos e que não prejudiquem a saúde humana. Um destes que tem sido proposto é o o gás ozônio. Objetivou-se com esse trabalho determinar o tempo e a concentração de saturação do ozônio e avaliar a cinética da decomposição do gás em meio poroso contendo castanha-do-Brasil, adotando-se diferentes condições. O teor de água do produto foi de aproximadamente 6,0% (b.u.), valor encontrado através de análise. Em outras pesquisas e estudos as concentrações do gás ozônio de 630, 1.080 e 2.050 ppm demonstraram eficácia no controle de microrganismos e aflatoxinas sendo estas, então, as concentrações usadas no trabalho na temperatura de 25°C e vazão de 5,0 L min⁻¹. A cinética de decomposição foi avaliada depois da saturação do meio poroso com o ozônio, quantificando-se a concentração residual do gás, após intervalos de tempo durante os quais aconteceu a decomposição do ozônio. Obteve-se valores de tempo de saturação do gás ozônio de 102, 50 e 25 min, para concentrações iniciais de 630, 1080 e 2050 ppm, respectivamente. No que tange a concentração de saturação do gás ozônio no meio poroso, obteve-se valores equivalentes a 434, 833 e 1.494 ppm, para concentrações iniciais de 630, 1080 e 2050 ppm, respectivamente. No que se refere ao tempo de meia vida do ozônio, os valores obtidos permaneceram na faixa entre 2,1 e 3,5 min. Os valores encontrados mostram que concentrações iniciais maiores do ozônio reduz o tempo de saturação e aumenta a concentração de saturação, já as concentrações menores demonstram o oposto, ou seja, aumentam o tempo de saturação e reduzem a concentração de saturação. Conclui-se que, em relação à grãos como milho e trigo, a castanha-do-brasil tem uma reatividade maior com o ozônio atingindo o tempo de meia-vida entre 2,1 e 3,5.

PALAVRAS-CHAVE: ozonização, saturação, meia-vida

SATURATION AND DECOMPOSITION OF OZONE IN POROUS MEDIUM CONTAINING THE BRAZIL NUT

ABSTRACT: The Brazil nut is a tree which has a fruit broadly valued by its flavor and nutritional value, however, those nuts are excellent substrate for microorganisms. Many of those microorganisms produce aflatoxins which are highly toxic to animals and the human being. Against this problem it is fundamental to adopt methods that are effective to control microorganisms and doesn't harm the human health. One method that has been proposed is the use of ozone gas. The objective of this work was to determine the time needed and the concentration of saturation of the ozone gas and evaluate the kinetics of decomposition of the gas in porous environment containing Brazil nut, using different conditions.

KEYWORDS: ozonation, saturation, half-life

Sumário

INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	3
MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
CONCLUSÕES.....	14
REFERÊNCIAS.....	15

INTRODUÇÃO

Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) é uma árvore pertencente à família *Lecythidaceae* e tem como origem as terras não inundáveis da floresta amazônica (SALOMÃO, 2009). O fruto da castanheira é um produto florestal não-madeireiro (PFNM) de grande popularidade nacionalmente e internacionalmente e amplamente comercializado dentro do território brasileiro e exportado através de uma única colheita feita exclusivamente em florestas primárias (PETERS, 1994; CLAY, 1997; PERES *et al.*, 2003).

As amêndoas da castanha-do-Brasil se destacam por ser ricas em selênio, além de outros constituintes como carboidratos, lipídeos, proteínas com enxofre e minerais (BARCLAY *et al.*, 1995; COUTINHO *et al.*, 2002). Entretanto, a castanha-do-Brasil é um excelente substrato para fungos, em especial aqueles capazes de produzir as aflatoxinas. Ressalta-se que a presença dessa micotoxina em castanha-do-Brasil, segundo ARRUS *et al.* (2005), é um sério entrave para os exportadores do produto, principalmente desde 1998, quando a União Europeia estabeleceu limites máximos de 4 e 2 ppb, para aflatoxinas totais e aflatoxina B1, respectivamente.

Diante de tal cenário, é de suma importância estudos de tecnologias que possam contribuir para a prevenção e controle de aflatoxinas em alimentos, e em especial na castanha-do-Brasil. Uma alternativa que vem sendo apresentada para prevenção e controle de aflatoxinas é o gás ozônio. Sabe-se que em produtos agrícolas o gás ozônio inibe ou retarda o desenvolvimento de fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Myrothecium* e *Mucor*, dentre outros (WU *et al.*, 2006; ALENCAR *et al.*, 2012), além de outros microrganismos, como vírus e bactérias (ÖZTEKIN *et al.*, 2006). Além de ser utilizado como agente antimicrobiano, o ozônio tem sido proposto como agente na degradação de micotoxinas (ALENCAR, 2012). Encontram-se, na literatura, relatos que indicam o gás ozônio como agente capaz de degradar as aflatoxinas, fumonisina, ochratoxina, patulina, deoxinivalenol e zearalenona em diferentes matérias-primas (MCKENZIE *et al.*, 1997; YOUNG *et al.*, 2006; ALENCAR *et al.*, 2012).

Outro aspecto que torna a ozonização de produtos atrativa é a ausência de resíduos produzidos no processo. Ressalta-se que o ozônio é gerado a partir de oxigênio (O_2) e o produto de sua degradação é também oxigênio. Apesar de serem encontrados na literatura alguns relatos que tratam, por exemplo, da eficácia do ozônio como agente antimicrobiano e na degradação de micotoxinas, há carência de trabalho com o uso dessa técnica em castanha-do-Brasil. Um dos aspectos que precisam ser abordados é a cinética de decomposição do gás em meio poroso contendo esse produto. Os parâmetros relacionados a cinética de decomposição do ozônio são importantes na previsão da distribuição do gás em um determinado meio poroso, na avaliação da viabilidade técnica do processo de ozonização e para dimensionar sistemas industriais.

Em vista do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o processo de saturação e a cinética de decomposição do gás ozônio em meio poroso contendo castanha-do-Brasil.

REVISÃO DE LITERATURA

A castanheira conhecida popularmente por “castanha-do-pará”, “castanha-da-amazônia” ou “castanha-do-Brasil” é presente nas regiões de solos arenosos ou argilo-arenosos de toda a área de terras não inundáveis da Amazônia, isso inclui estados como Acre, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Roraima, Rondônia e Tocantins, assim como em países como Bolívia, Colômbia, Peru e Venezuela (EMBRAPA, 2010; SALOMÃO, 2009).

Seu porte pode atingir a altura de 50 metros em casos excepcionais, porém, em sua maior parte atinge alturas entre 30 e 50 metros, o tronco pode atingir diâmetros altura do peito (DAP) 54 cm em 23 anos (EMBRAPA, 2010) e com uma madeira de alta qualidade atingindo uma densidade considerada alta ($0,75\text{g/cm}^3$) o que a fez ser muito visada para a construção civil e naval tornando necessário a proteção por lei em 1994 através da proibição da exploração de exemplares nativos (SALOMÃO, 2009; ZUIDEMA e BOOT, 2002).

O produto mais visado da *Bertholletia excelsa* é a sua castanha tanto para consumo “in natura” ou misturada com outros alimentos, por conta de seu alto valor nutritivo, como para produção de cosméticos e remédios. A coleta de seus frutos não é ilegal por ser um produto florestal não-madeireiro (PFNM). Cerca de 26.000 toneladas de castanha são produzidas no Brasil anualmente sendo que em 2004 foram exportadas 9.643 toneladas, com receita de US\$12,6 milhões sendo o segundo maior produtor mundial da castanha-do-brasil atrás da Bolívia (SIMÕES, 2004).

A atividade extrativista da castanha é feita, em grande parte, por produtores de baixa renda, sendo a principal fonte de renda e alimento em muitos casos (SOARES, 2004).

Suas sementes são envolvidas por e amadurecem dentro de um fruto indeiscente denominado ouriço (SCOLES, 2010; MORI E PRANCE, 1990). A dispersão do fruto ocorre naturalmente, no seu pico, entre os meses de dezembro e março de

duas formas, uma delas é de forma gravitacional, ou seja, através da queda do fruto sem a quebra da estrutura lenhosa do ouriço (ZUIDEMA E BOOT, 2002) que pode rolar espalhando os frutos, a outra forma ocorre através de roedores como na citação de Scoles, 2010.

O comportamento destes roedores de armazenar e enterrar as sementes em outro lugar após ficarem saciados (“scatter-hoarding”) é o principal mecanismo de dispersão de sementes de castanheira quando estas não são mais encontradas ou são esquecidas por estes roedores (SCOLES, 2010).

Durante os meses entre dezembro e março que é feita a coleta das sementes, tanto para fins comerciais como para interesses florestais. Sua semeadura deve ser feita manualmente por haver a necessidade de se plantar com o polo radicular (parte mais grossa da semente) voltada para baixo a 1 cm da superfície do solo (EMBRAPA, 2010).

Conforme os dados da EMBRAPA (2010), a germinação das sementes começa 20 a 30 dias após a semeadura podendo estender-se até 5 meses e apenas quando as mudas atingirem a altura de 25 cm e tiverem 16 folhas que o seu plantio é feito em covas profundas de maneira que o colo destas se encontre rente ao nível do solo e em espaçamentos de 4 m x 4 m e 12 m x 12 m em consórcios com culturas perenes e/ou semi-perenes (SEBRAE, 2010; EMBRAPA, 2010;).

Há um ponto firme de concordância entre diversas fontes bibliográficas que é a alta importância dos cuidados no armazenamento e processamento das castanhas, por serem substratos de fungos que produzem aflatoxinas como o fungo *Aspergillus flavus* (ARRUS, 2005; EMBRAPA, 2010).

As aflatoxinas são metabólitos secundários carcinogênicos (cancerígenas), tóxicos e de efeito deletério aos animais e ao homem alterando o crescimento em jovens e crianças, ocasionando distúrbios neurológicos, imunológicos e o desenvolvimento de câncer hepático (EATON, 1994; FURLONG, 1999, HUSSEIN, 2001; WANG, 2010). Em animais, a contaminação por aflatoxinas na ração alimentar pode

passar ao ser humano e aos bezerros produzidos pela matriz através do leite que pode excretar aflatoxina M_1 (EATON et al., 1994).

Há muitos relatos de mortes de humanos e animais causadas pelas aflatoxinas, porém, o efeito destas afeta em outras áreas além da saúde. De acordo com Robens et al. (1992) em seu livro "Aflatoxins in Animal and Human Health" relata que esse grupo de toxinas afeta economicamente na produção na redução da produtividade, isso inclui redução do peso dos animais e de produção de ovos em aves, aumento de incidências de doenças por imunossupressão e danos à órgãos vitais (ROBENS et al. 1992).

A contaminação por aflatoxinas de amêndoas de castanha-do-Brasil reduziu as exportações do produto por restrições no mercado externo. As exportações passaram de 51.195 toneladas em 1990, para 26.505 toneladas em 1993, 19.301 toneladas em 1995/96, 17.230 toneladas em 2000 e 6.300 toneladas em 2003 (SIMÕES, 2004; PINHEIRO, 2004), comprovando a necessidade de processamentos e cuidados pós-colheita que reduzam a presença de microrganismos.

O ozônio, ou oxigênio triatômico (O_3), é um forte oxidante e desinfetante (MCKENZIE, 1997) é considerado uma substância segura desde 1997 por não deixar resíduos e tem sido usado em vários setores na indústria alimentar na sanitização ou desintoxicação de produtos químicos ou microrganismos. (SILVA, 2001; RAILA, 2006; INAN, 2007), porém, ainda se têm uma grande carência por informações para o uso de ozônio na degradação de micotoxinas em cereais e grãos no geral.

Naturalmente o ozônio é formado pela quebra de uma molécula de oxigênio através da baixa pressão atmosférica e alta exposição aos raios UV's do sol e a ligação dos átomos separados com outras moléculas de oxigênio, outra forma é através dos raios que rompem as moléculas de oxigênio liberando átomos que se unem a outras moléculas de oxigênio, esses feitos naturais que fazem a manutenção da camada de ozônio do nosso planeta (RICE e AHARON NETZWER, 1982).

É possível gerar ozônio de forma artificial através da descarga elétrica, eletrólise, uso de UV e radioquímica (DIMITRIOU, 1990). O trabalho realizado optou por utilizar o método de descarga elétrica (corona-discharge) que se trata da utilização de um

gerador que possui duas placas afastadas por um espaço pequeno que quando eletrizadas forçam a condução da energia pelo ar, formando o ozônio (DIMITRIOU, 1990).

A eficiência do ozônio na decomposição de aflatoxinas e controle de microrganismos é claramente notável. Tem-se ainda que seu uso é amplamente aplicado tanto em tratamentos de água quanto na medicina e ortodontia (LANGLAIS et al., 1991).

Existem tratamentos alternativos como o uso de hexafluoreto de enxofre e “low pressure cold plasma”, porém, em contraste ao ozônio, deixam resíduos que afetam a qualidade do produto e geram gastos com insumos, tornando o uso do ozônio mais ideal e atrativo comercialmente (BASARAM et al., 2008).

Pesquisa realizada por Sahab et al. (2013) sobre o efeito do gás ozônio em aflatoxinas no amendoim resultou que em uma exposição do produto em concentração de 40 ppm por 10 minutos foi capaz de decompor 94,58% das aflatoxinas B_1 e 99,49% de B_2 (SAHAB et al., 2013) enquanto que outros tratamentos como o uso de “low pressure cold plasma” (LPCP) e hexafluoreto de enxofre (SF_6) demonstram resultados de 50% e de 20% respectivamente em exposições que perduraram 20 minutos (BASARAM et al., 2008).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, da Universidade de Brasília. No processo de ozonização foi utilizado castanha-do-Brasil com teor de água em torno de 6,0% (b.u.).

A avaliação da cinética de decomposição do ozônio em meio poroso contendo castanha-do-Brasil foi realizada depois da determinação do tempo de saturação e da respectiva concentração de saturação. Para determinar o tempo de saturação do ozônio em meio poroso contendo o produto, foi feita a injeção do gás, nas concentrações de 630, 1.080 e 2.050 ppm, em recipientes de vidro, com capacidade de 3,25 L, contendo 1 kg de amostra. A vazão de entrada do gás será de 5,0 L min⁻¹, na temperatura de 25 °C.

A concentração residual do ozônio foi determinada após a passagem do gás pelo produto, em intervalos de tempos regulares, até que ela se mantivesse constante. Para relacionar concentração residual do gás ozônio com o tempo, realizou-se ajuste da equação sigmoideal aos dados obtidos (Equação 1):

$$C = \left[\frac{a}{1 + e^{-\frac{(t-b)}{c}}} \right]$$

Em que:

C = concentração do gás ozônio (ppm);

t = tempo (min);

a, b e c = são as constantes da equação.

A partir dos valores das constantes b e c, de acordo com VENEGAS et al. (1998), foi possível obter o tempo de saturação para cada combinação de teor de água, temperatura e vazão do gás (Equação 2):

$$t_{sat} = b + 2c$$

Em que:

t_{sat} = tempo de saturação (min).

Conhecendo-se a concentração de saturação (C_{sat}), foi possível determinar a relação C_{sat}/C_0 , em que C_0 é definida como a concentração inicial do gás ozônio.

A cinética de decomposição foi avaliada depois da saturação do meio poroso com o ozônio, quantificando-se a concentração residual do gás, após intervalos de tempo durante os quais aconteceu a decomposição do ozônio. Esse procedimento foi repetido até que o ozônio residual não pudesse ser quantificado pelo método iodométrico.

O modelo cinético de primeira ordem, Equação 3, foi ajustado aos dados da concentração de ozônio em função do tempo (WRIGHT, 2004). O ajuste do modelo de cinética de decomposição após linearização, Equação 4, foi realizado por meio de análise de regressão. A constante da taxa de decomposição (k) é dada pela inclinação da reta depois do ajuste dos modelos integrados e linearizados.

$$\frac{dC}{dt} = -kC$$

$$\ln C = \ln C_0 - kt$$

Em que:

C = concentração do gás ozônio (ppm);

t = tempo (min);

k = constante de reação de decomposição (min⁻¹).

C_0 = ozônio injetado na massa de produto no tempo inicial (ppm).

A partir dos valores da constante da taxa de decomposição, foi possível obter o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) do ozônio em meio poroso contendo castanha-do-Brasil, que, para o modelo cinético de primeira ordem, é definido pela Equação 5 (WRIGHT, 2004):

$$t_{\frac{1}{2}} = (\ln 2) / k$$

O ajuste dos modelos de cinética de decomposição, após linearização foi realizado por meio de análise de regressão. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estabilidade do ozônio depende do meio no qual o gás está presente. De acordo com Jung et al. (2004), o comportamento do ozônio é dependente de parâmetros físicos, como temperatura e vazão do gás, e da composição dos constituintes do meio poroso. Novak e Yuan (2007) afirmam que, a 20 °C, o ozônio na forma gasosa apresenta tempo de meia vida menor que 20 min. Por outro lado, segundo Cullen et al. (2009), em água destilada na temperatura de 20 °C, o ozônio apresenta tempo de meia-vida dissolvido na faixa entre 20 e 30 min. Ainda de acordo com esses autores, com a elevação da temperatura há decréscimo do tempo de meia-vida, de tal forma que a 35 °C permanece entre 8 e 10 min.

Apresentam-se, na Figura 1, as curvas referentes às concentrações de ozônio em função do tempo de exposição, durante o processo de saturação de meio poroso contendo amêndoas de castanha-do-Brasil, quando adotadas três diferentes concentrações iniciais do gás (630, 1.080 e 2.050 ppm), vazão de 5,0 L min⁻¹, na temperatura de 25 °C. O comportamento observado seguiu tendência esperada para meio poroso contendo grãos e que descrita por Strait (1998), Kells et al (2001) e Mendez et al. (2003). Segundo esses autores, inicialmente o ozônio reage com sítios ativos na superfície do produto, ocorrendo degradação do gás e eliminação dos sítios ativos. Tal processo é definido como etapa 1. A etapa 2 é caracterizada pela movimentação do gás no meio poroso com taxa de degradação reduzida.

No que se refere ao tempo de saturação, observou-se redução à medida que se elevou a concentração inicial do gás. Obteve-se valores equivalentes a 102, 50 e 25 min, para concentrações iniciais de 630, 1080 e 2050 ppm, respectivamente.

Com relação à concentração de saturação do gás ozônio no meio poroso contendo castanha-do-Brasil, obteve-se valores equivalentes a 434, 833 e 1.494 ppm, para concentrações iniciais de 630, 1080 e 2050 ppm, respectivamente. Os valores obtidos referentes à relação C_{Sat}/C_0 permaneceram na faixa entre 0,69 e 0,77.

Os valores obtidos referentes a relação C_{Sat}/C_0 são superiores ao encontrado por ALENCAR et al. (2011). Esse autores verificaram, para grãos de amendoim com 7,1% de teor de água, relação C_{Sat}/C_0 equivalente a 0,57, para concentração inicial do gás

de 450 ppm e vazão de $3,0 \text{ L min}^{-1}$. Entretanto, Santos et al., (2007) estudaram o processo de saturação em grãos de milho com 12,8% de teor de água, na temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e vazão de $4,6 \text{ L min}^{-1}$ e verificaram relação C_{Sat}/ C_0 equivalente a aproximadamente 1,00. Silva (2014) estudou o processo de saturação em meios porosos contendo grãos de trigo, feijão e soja, adotando-se concentração de 630 ppm e vazão do gás de $5,0 \text{ L min}^{-1}$. Nesse estudo, a maior relação C_{Sat}/ C_0 foi de 0,97 para meio poroso contendo grãos de trigo.

Apresentam-se, na Tabela 1, as equações de regressão ajustadas e os seus respectivos coeficientes de determinação, que relacionam o ozônio residual e o tempo de exposição ao gás.

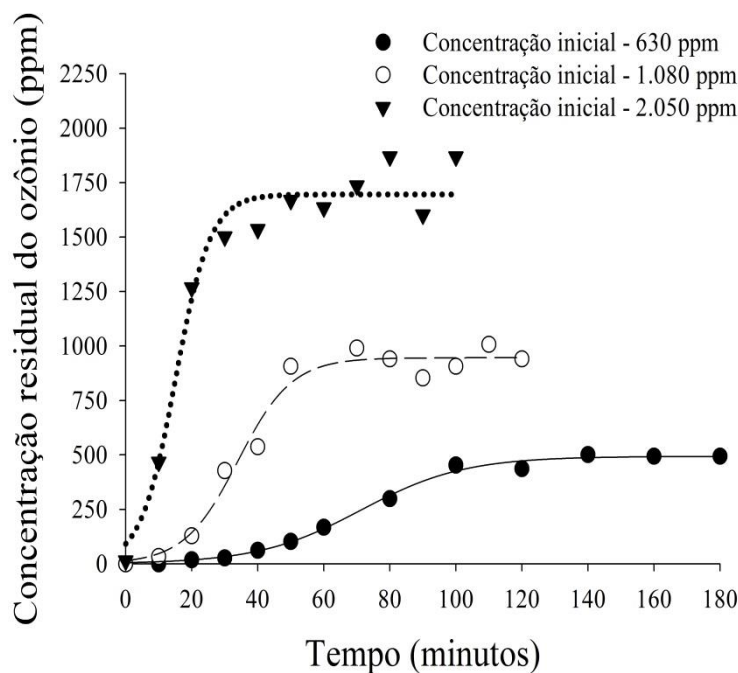


Figura 1. Concentração residual do ozônio (ppm) em função do tempo durante o processo de saturação do meio poroso contendo castanha-do-Brasil, com diferentes concentrações iniciais do ozônio, na temperatura de 25°C .

Tabela 1. Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2) para concentração residual do ozônio (ppm) durante o processo de saturação de meio poroso contendo castanha-do-Brasil, adotando-se diferentes concentrações iniciais do ozônio, na temperatura de 25 °C

Concentração inicial (C_0 , ppm)	Equações ajustadas	R^2	t_{Sat} (min)	C_{Sat} (ppm)	Relação C_{Sat}/C_0
630	$y = \frac{492,97}{1 + e^{-\left(\frac{x - 71,23}{15,58}\right)}}$	0,99	102,4	434	0,69
1.080	$y = \frac{945,79}{1 + e^{-\left(\frac{x - 34,00}{8,14}\right)}}$	0,98	50,3	833	0,77
2.050	$y = \frac{1.695,93}{1 + e^{-\left(\frac{x - 15,10}{5,27}\right)}}$	0,97	25,7	1.494	0,73

t_{Sat} = Tempo de saturação; C_{Sat} = Concentração de saturação

Encontram-se, na Figura 2, as curvas referentes a decomposição do gás ozônio em meio poroso contendo amêndoas de castanha-do-Brasil, quando adotadas três diferentes concentrações iniciais do gás (630, 1.080 e 2.050 ppm), vazão de 5,0 L min⁻¹, na temperatura de 25 °C. Na Tabela 2, são apresentadas as equações de regressão ajustadas e os seus respectivos coeficientes de determinação, que relacionam o ozônio residual e o tempo durante o processo de decomposição, assim como o tempo de meia-vida.

Destaca-se que o modelo cinético de primeira ordem descreveu satisfatoriamente o processo de decomposição do ozônio em meio poroso contendo amêndoas de castanha-do-Brasil. Os coeficientes de determinação permaneceram na faixa entre 0,78 e 0,88. Com relação ao tempo de meia-vida, obteve-se valores entre

2,1 e 3,5 min. Não foi verificado efeito pronunciado do aumento da concentração do ozônio no tempo de meia-vida do gás no meio poroso.

Os valores obtidos para meio poroso contendo castanha-do-Brasil são inferiores aos encontrados na literatura para outras matérias primas. Os tempos de meia-vida para milho e amendoim encontrados são equivalentes a 5,57 e 7,7 min, respectivamente (SANTOS, 2007; ALENCAR et al., 2011). SILVA (2014) obtiveram tempos de meia-vida para os grãos de feijão, soja e trigo equivalentes a 10,5, 9,3 e 10,7 minutos, respectivamente. Então, a decomposição do ozônio é mais acelerada em meio poroso contendo castanha-do-Brasil, que naqueles que contêm os tipos de grãos citados anteriormente.

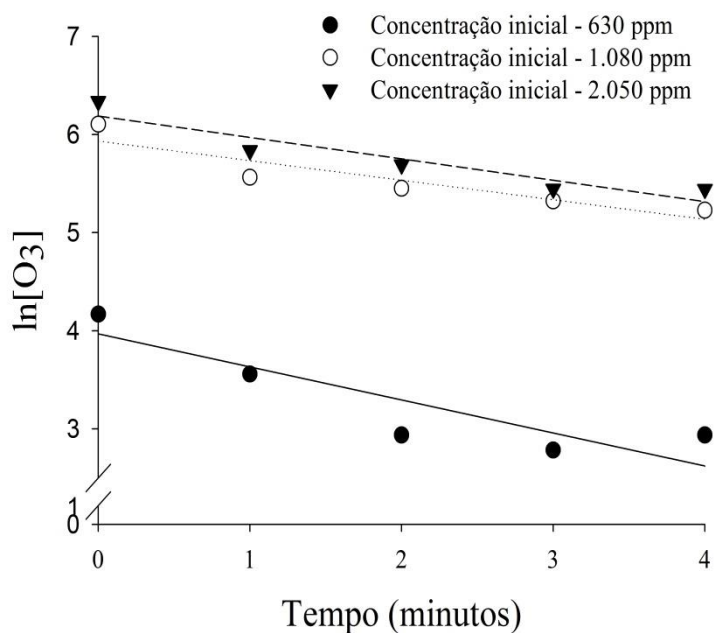


Figura 2. Modelo cinético de primeira ordem ajustado aos dados observados de concentração residual de ozônio, após saturação, do meio poroso contendo castanha-do-Brasil, com diferentes concentrações iniciais do ozônio, na temperatura de 25°C.

Tabela 2. Equações de regressão ajustadas em função do tempo para a concentração residual do gás ozônio em meio poroso contendo castanha-do-Brasil, adotando-se diferentes concentrações iniciais do ozônio, na temperatura de 25°C, seus respectivos coeficientes de determinação (r^2) e tempos de meia vida

Concentração inicial (ppm)	Equações ajustadas	r^2	Tempo de meia vida (min)
630	$\hat{y} = 3,92 - 0,324^* x$	0,78	2,1
1.080	$\hat{y} = 5,93 - 0,199^* x$	0,84	3,5
2.050	$\hat{y} = 6,19 - 0,218^* x$	0,88	3,2

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que a concentração inicial do ozônio afeta o processo de saturação e decomposição do ozônio em meio poroso contendo castanha-do-Brasil. À medida que se eleva a concentração do gás, têm-se redução do tempo de saturação e aumento da concentração de saturação. Com relação ao processo de decomposição, tem-se que a degradação do ozônio é mais rápida em meio poroso contendo amêndoas de castanha-do-Brasil, que naqueles contendo outros tipos de grãos, como milho e trigo.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, E.R. ; FARONI, L.R.D.; 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.
- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.D.; MARTINS, M.A.; COSTA, A.R.; CECON, P.R. Decomposition kinetics of gaseous ozone in peanuts. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.5, p.930-939, 2011.
- ARRUS, K.; BLANK,G.; ABRAMSON, D.; CLEAR, R.; HOLLEY, R.A. Aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in Brazil nuts. *Journal of Stored Products Research*, v.41, p.513-527, 2005.
- BARCLAY, M.N.I.; MCPHERSON, A.; DIXON, J. Selenium content of a range of UK foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, v.8, p.307-318, 1995.
- BASARAM, P. et al. 2008. *Food Microbiology*, v.25, p. 626–632.
- COUTINHO, V.F., BITTENCOURT, V.B. & COZZOLINO, S.M.F. Effects of supplementation with Brazil nuts (CP, *Bertholletia excelsa* H.B.K.) in capoeira players on selenium (Se) concentration and glutathione peroxidases activity (GSH X, E.C.1.11.1.9). In: trace elements in man and animal. Springer ed., Part II. 2002.
- CULLEN, P.J.; TIWARI, B.K.; O'DONNELL, C.P.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Modelling approaches to ozone processing of liquid foods. *Trends in Food Science & Technology*, Amsterdam, v.20, p.125-136, 2009.
- EATON, D.L.; GROPMAN, J.D. The toxicology of aflatoxins: human health, veterinary, and agricultural significance. San Diego (CA): Academic Press, 1994.
- EMBRAPA. 2010. "Castanha-do-Brasil". Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47749/1/folder-castanhadobrasil.pdf>>. Acesso em: 04/12/2015.
- FURLONG, E.B.; Soares, L.A.S.; Vieira, A.P.; Dadalt, G. Aflatoxinas, ocratoxina A e zearalenona em alimentos da região sul do Rio Grande do Sul. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, v. 58, p. 105-111, 1999.
- HUSSEIN, H.S.; BRASEL, J.M. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on

- humans and animals. *Toxicology*, v. 167, p. 101-134, 2001.
- INAN, F., Pala, M., Doymaz, I., 2007. Use of ozone in detoxification of aflatoxin B1 in red pepper. *Journal of Stored Products Research* 43, 425-429.
- 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, n.4, p.371-383, 2001.
- LANGLAIS, B. et al. 1991. *Ozone in Water Treatment: Application and Engineering*. American Water Works Association.
- MCKENZIE, K.S.; SARR, A.B.; MAYURA, K.; BAILEY, R.H.; MILLER, D.R.; ROGERS, T.D.; NORRED, W.P.; VOSS, K.A.; PLATTNER, R.D.; KUBENA, L.F.; PHILLIPS, T.D. Oxidative degradation and detoxification of mycotoxins using a novel source of ozone. *Food and Chemical Toxicology*, v.35, p.807–820, 1997.
- 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, n.1, p.33-44, 2003.
- MORI, S.A.; PRANCE, G.T. 1990. Taxonomy, ecology, and economic botany of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. E Bonpl.: Lecythidaceae). *Advances in economic botany* 8: 130-150.
- NOVAK, J.S.; YUAN, J.T.C. The ozonation concept: advantages of ozone treatment and commercial developments. In: Tewari, G.; Juneja, V.K. (Eds.) *Advances in Thermal and Non-Thermal Food Preservation*. Ames: Blackwell Publishing, 2007, p.185-193.
- ÖZTEKIN, S.; ZORLUGENC, B.; ZORLUGENC, F.K. Effects of ozone treatment on microflora of dried figs. *Journal of Food Engineering*, v.75, p.396–399, 2006.
- PINHEIRO, M.R.R.; Estudo de Variabilidade Genética de *Aspergillus flavus* como base para o Desenvolvimento de PCR múltiplex para detecção de fungos produtores de aflatoxinas em castanha do Brasil e castanha de caju. Brasília, 2004. Disponível em: . Acesso em: 19 mar. 2008.
- RAILA, A., LUGAUSKAS, A., STEPONAVICIOUS, D., RAILENE, M.,

- STEPONAVICIENE, A. and ZVICEVICIOUS, E. 2006. Application of ozone for reduction of mycological infection in wheat grain. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 13, 287-294.
- RICE; NETZWER, A. HANDBOOK OF OZONE TECHNOLOGY AND APPLICATIONS VOLUME 1. 1982. Ann Arbor Science Publishers, Editors Rip G.,
- ROBENS, J.F. et al.1992. Aflatoxins in Animal and Human Health, v.127, p.69-94.
- SAHAB, A. et al. 2013. Effect of Ozone Gaseous On Aflatoxin Degradation And Fat And Protein Content In Peanut Seeds. ORIGINAL ARTICLES.
- SALOMÃO, R.P. 2009. Densidade, estrutura e distribuição espacial da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional. *Boletim do Museu Paranaense Emilio Goeldi Ciências Naturais*, 4: 11-5.
- SANTOS, J.E.; MARTINS, M.A.; FARONI, L.R.A.; ANDRADE, M.P.; CARVALHO, M.C.S. Ozonization process: saturation time, decomposition kinetics and quality of maize grains (*Zea mays* L.). In: IOA CE, 2007, Valência, Espanha, Proceedings... 2007. Valência: IOA.
- SCOLES, R. Ecologia e extrativismo da castanheira (*Bertholletia excelsa*, *Lecythidaceae*) em duas regiões da Amazônia Brasileira". 2010. Dissertação de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Programa de Pós Graduação em Ecologia. Manaus, 2010.
- SEBRAE, 2015. O cultivo e o mercado da castanha do Brasil. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/O-cultivo-e-o-mercado-da-castanha-do-brasil>>. Acesso em: 04/12/2015
- SILVA, E. S. Cinética de decomposição do gás de ozônio em grãos de feijão, soja e trigo. 2014. 18 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 2013.
- SILVA, L. M. DA, de FARIA, L. A., BOODTS, J. F. C., 2001. Green processes for environmental application: Electrochemical ozone production. *Pure and Applied Chemistry* 73, 1871–1884.
- SIMÕES, A.V.; Impactos de tecnologias e do manejo da castanha-do-brasil (*Bertholletia*

excelsa, HUMB & MONPL. 1808) no controle da contaminação por aflatoxina em sua cadeia produtiva”. 2004. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. Manaus, 2004.

SMITH, W. “PRINCIPLES OF OZONE GENERATION”. Disponível em:

<<http://watertecengineering.com/TZ000002%20Principles%20of%20Ozone%20Generation.pdf>> Acesso em: 04/12/2015.

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

VENEGAS, J.G.; HARRIS, R.S.; SIMON, B.A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. American Physiological Society, v.84, n.1, p.389-395, 1998.

WANG, S. et al. 2010. “Can ozone fumigation effectively reduce aflatoxin B1 and other mycotoxins contamination on stored grain?”.

WRIGHT, M.R. An introduction to chemical kinetics. 1ª Edição. Editora John Wiley & Sons, Ltd. New York. 2004. 441p.

WU, J.; DOAN, H.; CUENCA, M.A. Investigation of gaseous ozone as an anti-fungal fumigant for stored wheat. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, v.81, n.7, p.1288-1293, 2006.

YOUNG, J.C.; ZHU, H.; ZHOU, T. Degradation of trichothecene mycotoxins by aqueous ozone. Food and Chemical Toxicology, v.44, p. 417-424, 2006.

ZUIDEMA, P.A.; DIJKMAN, W.; RIJSOORT, J.V. 1999. Crescimento de plantines de *Bertholletia excelsa* H.B.K. em función de su tamaño y la disponibilidad de luz. Ecología em Bolivia, 33: 23-36.