

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**CINÉTICA DE DECOMPOSIÇÃO DO GÁS OZÔNIO EM GIRASSOL
(*Helianthus annuus*) E SORGO (*Sorghum bicolor* L.)**

Sérgio Fernandes Mendonça Filho

BRASÍLIA, DF
DEZEMBRO/2014

SÉRGIO FERNANDES MENDONÇA FILHO

**CINÉTICA DE DECOMPOSIÇÃO DO GÁS OZÔNIO EM GIRASSOL
(*Helianthus annuus*) E SORGO (*Sorghum bicolor* L.)**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar

BRASÍLIA, DF
DEZEMBRO/2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA–FAV
CINÉTICA DE DECOMPOSIÇÃO DO GÁS OZÔNIO EM GIRASSOL
(*Hellianthusannus*) E SORGO (*Sorghum bicolor L.*)

Sérgio Fernandes Mendonça Filho

Matrícula: 10/0020631

Prof. Orientador: Dr. Ernandes Rodrigues
de Alencar

Projeto final de Estágio Supervisionado, 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)

Márcio Antonio Mendonça

(Universidade de Brasília – FAV)

(Examinador Interno)

Sabrina MagalyNavasCajamarca

(Examinador Externo)

FICHA CATALOGRÁFICA

MENDONÇA FILHO, S. F.

CINÉTICA DE DECOMPOSIÇÃO DO GÁS OZÔNIO EM GIRASSOL (*Hellianthusannus*)
E SORGO (*Sorghum bicolor L.*)

Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de
Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2014.

Orientação: Prof. Dr. Ernandes de Rodrigues Alencar

1. Ozonização. 2. Girassol. 3. Sorgo. 4. Saturação. 5. Decomposição

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MENDONÇA FILHO, S. F.; **CINÉTICA DE DECOMPOSIÇÃO DO GÁS OZÔNIO EM GIRASSOL** (*Hellianthusannus*) E **SORGO** (*Sorghum bicolor L.*). 2014. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília- UnB, Brasília, 2014.

Nome do Autor: Sérgio Fernandes Mendonça Filho

Título da Monografia de Conclusão de Curso: CINÉTICA DE DECOMPOSIÇÃO DO GÁS OZÔNIO EM GIRASSOL (*Hellianthusannus*) E SORGO (*Sorghum bicolor L.*)

Grau: 3º **Ano:** 2014

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.

Sérgio Fernandes Mendonça Filho
CPF: 032.804.121-10
Matrícula: 10/0020631
E-mail: sergio.filho@ambientare-sa.com.br
Cel: (61)8283-9001

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter me concedido o dom da vida, e por ter sido nos momentos difíceis aquele que no fundo me fez perseverar e acreditar durante estes cinco anosque realmente estava no caminho certo.

Ao meu pai, Sérgio Fernandes Mendonça, meu melhor amigo e maior incentivador, por todo apoio emocional e financeiro, se não fosse por ele, eu teria desistido, a ele o meu muito obrigado.

À minha mãe, Sayonara Aparecida Novais Neves, por todo carinho que me foi dado ao longo da vida.

À minha irmã, Kamylla Novais Neves Mendonça, que apesar das brigas sempre foi e sempre será a pessoa que realmente posso contar nos momentos mais difíceis, muito obrigado.

Aos meus avós, em especial minha avó paterna, Eleuza Fernandes Mendonça, por toda paciência, orações, conselhos e amor que me foi dado durante toda minha vida.

Ao professor Ernandes, por todas oportunidades, pela amizade, por acreditar em mim, e por todos os momentos de experiência, estudo, brincadeiras, sendo aquele que não me deixou “arregar”. Hoje mais do que um apenas um professor, e sim um verdadeiro amigo e exemplo de profissional que pretendo manter contato até o fim da vida, minha gratidão e admiração eternas.

Aos professores do curso de Agronomia, em especial Marcelo Fagioli, Cristina Schetino, José Américo e Márcio Pires, que ao longo desta trajetória tiveram tanta paciência comigo, por aturarem todas brincadeiras e piadas, saibam que os admiro e vou levar esta consideração por toda minha vida.

A todos aqueles que de alguma forma me deram a oportunidade de estagiar e trabalhar ao longo deste curso, Maria da Paz, Álvaro Ávila, Iuri Marmo, Lúcia Maia, Paulo Estevam e MenicSander, por todos ensinamentos, conselhos e puxões de orelha.

Aos meus colegas de curso, que fizeram desta trajetória a mais engraçada e divertida possível, sem eles nada do que sou hoje seria da mesma forma. Obrigado por estarem ao meu lado em quase todos os momentos e por compartilharem alegrias, frustrações, piadas, expulsões de sala, trotes, almoços, festas e tudo mais. Graças a todos eles não consigo me imaginar cursando algo tão prazeroso quanto a Agronomia.

A todos meus amigos e pessoas que estiveram ao meu lado de alguma forma durante esta caminhada.

Muito Obrigado!

*“Não busque a morte. A morte irá encontra-lo.
Mas busque a estrada que transforme a morte em plenitude.”*
Dag Hammarskjöld

Dedicatória: A Deus, a todos
meus familiares e amigos,
em especial ao meu pai
Sérgio Fernandes
Mendonça.

RESUMO

MENDONÇA FILHO, Sérgio Fernandes. Cinética de decomposição do gás ozônio em girassol e sorgo. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Dezembro 2014

A eficácia do ozônio como agente antimicrobiano tem sido estudada por diversos autores, e esse gás é considerado um dos mais potentes sanitizantes conhecidos, por apresentar largo espectro antimicrobiano e ser eficiente no controle de fungos, bactérias, vírus e protozoários. Diante da expressiva aplicabilidade do ozônio como agente protetor de produtos armazenados, faz-se necessário o estudo dos parâmetros relacionados à distribuição do ozônio durante o processo de fumigação dos grãos. Tais parâmetros são fundamentais na predição da distribuição do ozônio no meio poroso. Em vista do exposto, objetivou-se com este trabalho o processo de saturação e a cinética de decomposição do ozônio em girassol e sorgo. No processo de ozonização foram utilizados grãos sorgo e girassol. A avaliação da cinética de decomposição do gás na massa de grãos foi realizada determinando-se o tempo de saturação e a respectiva concentração de saturação, e a constante da taxa de reação de decomposição. Para determinar o tempo de saturação do gás ozônio na massa de grãos, foi feita a injeção do gás, na concentração de 600 ppm, em recipientes de vidro, com capacidade de 3,00 L, contendo 1 kg de grãos. 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. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Obteve-se concentração e tempo de saturação iguais a 356,1 ppm e 12,8 min, respectivamente, para grãos de sorgo. No que se refere aos grãos de girassol, obteve-se concentração de saturação equivalente a 260,0 ppm e respectivo tempo de saturação de 18,2 min. Verifica-se que o processo de saturação é mais lento no meio poroso contendo grãos de girassol, com menor concentração de saturação, quando comparado com meio poroso contendo grãos de sorgo. Os tempos de meia-vida do ozônio em meios porosos contendo grãos de sorgo e girassol foram de 5,4 e 5,5 min, respectivamente. A partir dos dados obtidos, é possível concluir que o processo de saturação é mais lento em meio poroso contendo grãos de girassol. Entretanto, os tempos de meia vida nos meios porosos contendo grãos de sorgo e girassol são similares, em condições semelhantes às adotadas no trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Ozonização, saturação, decomposição.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Sobre a cultura do Girassol (<i>Helianthus annuus</i>).....	3
2.1.1	Histórico	3
2.1.2	Características Botânicas	4
2.1.3	Importância	5
2.1.4	Armazenamento.....	6
2.1.5	Mercado Mundial	6
2.2	Sobre a cultura do Sorgo (<i>Sorghum bicolor L.</i>).....	8
2.2.1	Histórico	8
2.2.2	Características Botânicas	10
2.2.3	Importância	10
2.2.4	Armazenamento.....	11
2.2.5	Mercado Mundial	12
2.3	Ozônio	14
3	Materiais e Métodos	17
4	Resultados e Discussão	20
5	Conclusões.....	24
6	Referências Bibliográficas	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico da Produção e Consumo Mundial de Girassol	7
Figura 2. Produção de sorgo nos maiores produtores mundiais entre os anos de 2010 e 2013.	12
Figura 3. Concentração residual do ozônio (ppm) em função do tempo durante o processo de saturação de meio poroso contendo grãos de girassol (A) e de sorgo (B) com 10,0% (b.u.) de teor de água, na temperatura de 25 °C e vazão de 5,0 L min ⁻¹ e concentração inicial	21

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo de Área, Produtividade e Produção de Girassol entre as safras 2012/13 e 2013/14	8
Tabela 2. Oferta e Consumo Mundial de grãos de sorgo.....	13
Tabela 3. Área plantada, produtividade e produção de sorgo no Brasil	14
Tabela 4. 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 grãos de girassol e de sorgo com 10,0% (b.u.) de teor de água, na temperatura de 25° C e vazão de 5,0 L min ⁻¹	22

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é a base da economia brasileira, é reconhecido mundialmente todo o potencial e vocação agrícola do nosso país. Por ser um país de proporção continental abrange diversos tipos de solo, clima e relevo o que permite que possamos produzir praticamente todos os produtos agrícolas. Ainda há possibilidade de expansão da área agricultável – o que não é praticamente possível nos Estados Unidos e países da União Européia – o que tornam as expectativas de produção ainda maiores no futuro.

Dentro deste cenário, destaca-se a produção de grãos, tais como: Amendoim, Arroz, Feijão, Girassol, Milho, Soja, Sorgo, Trigo dentre outros. A produção estimada para a safra de 2013/14 é de aproximadamente 195,47 milhões de toneladas, 3,6 % superior à obtida na safra 2012/13, quando atingiu 188,66 milhões de toneladas. Esse resultado representa um ganho de 6,81 milhões de toneladas em relação à safra anterior (CONAB, 2014).

Apesar do incremento na produção, diversas perdas ocorrem na cadeia produtiva brasileira, problemas que abrangem colheita, pós-colheita, armazenagem e transporte. Então, é necessária conscientização cada vez maior de todos os participantes da cadeia de produção no sentido de aprimorar todos os processos de colheita, armazenagem e transporte, para que se possa aumentar a qualidade dos produtos e, conseqüentemente, a competitividade do agronegócio brasileiro no mercado (VILELA, 2003). A adoção de Boas Práticas Agrícolas é cada vez mais recomendada, práticas estas que vão desde as orientações como sistema de plantio, densidade, ponto de colheita, umidade, teor de água, adoção de manejo integrado. A limpeza de colheitadeiras e veículos ainda são práticas relativamente simples que podem influenciar na qualidade do grão produzido. Além disso, a modernização dos Sistemas de Armazenagem e Logística de transporte surge como fator de fundamental importância para que o produto brasileiro exportado não perca valor e seja competitivo a nível mundial.

O país ainda é deficitário quando o assunto é a existência de armazéns no nível de fazenda. Costuma-se dizer que o Brasil é campeão de produção e produtividade apenas da “porteira para dentro”, ou seja, as etapas de pós-colheita da produção brasileira ainda é o grande gargalo dos desperdícios. A produtividade do país é tamanha que excede a capacidade de armazenamento que temos, e de nada adianta produzir bem com qualidade e produtividade elevadas, se a produção estragar ou ficar comprometida por

processos de armazenamentos inadequados (NOGUEIRA; TSUNECHIRO, 2005). Para aumentar a exportação de grãos e suprir a crescente demanda interna, é necessário que não se invista somente na produção, mas também na pós-colheita e armazenagem de qualidade. Atualmente programas de concessão de créditos, com taxas de juros especiais, para construção de silos são realizados pelo governo, a fim de que este problema aos poucos seja resolvido. Sabe-se que grãos mal armazenados tornam-se “presas” fáceis para a ação de microrganismos, insetos e patógenos causadores de doenças, e é exatamente na armazenagem que ocorrem as principais perdas qualitativas dos grãos produzidos. Para que sejam aproveitados pela indústria, seja grãos destinados à alimentação humana ou aqueles destinados a produção de ração animal, é de fundamental importância que os mesmos apresentem-se livres de contaminação e patógenos.

Sendo assim, o gás Ozônio (O_3) surge como uma alternativa na prevenção e controle de contaminação dos grãos por toxinas, patógenos e insetos. O gás Ozônio é uma forma alotrópica do oxigênio, é instável, diamagnético e possui cheiro característico. É um oxidante extremamente forte, pode ser produzido naturalmente como resultado de relâmpagos e radiação ultravioleta (KIM et al., 1999a).

O ozônio é um importante agente microbiano que pode atuar na inativação ou inibição de microrganismos (de maneira geral ao entrar em contato com estes, o ozônio liga-se nas cadeias de ácidos graxos insaturados presentes nos microrganismos, e acaba por romper a parede celular destes). Outro fator chave é que o ozônio não apresenta resíduos tóxicos, sendo que o seu produto de degradação é o oxigênio (MANAHAN, 2005, citado por MAHAMOUND & FREIRE, 2007). O que lhe dá uma vantagem comparativa, por exemplo, com materiais fumigantes.

Em vista disso, objetivou-se com este trabalho determinar o tempo e a concentração de saturação e avaliar a cinética de decomposição do gás ozônio para os grãos de girassol (*Helianthus annuus*) e sorgo (*Sorghum bicolor*).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL (*Helianthus annuus*)

2.1.1 Histórico

O Girassol(*Helianthus annuus*), é uma planta originária da América do Norte, com referências que indicam o cultivo nos Estados do Arizona e Novo México cerca de 3000 anos antes de Cristo, pelos índios americanos.

Sua domesticação foi feita pelos índios, na região do México e sudoeste dos EUA, porém podiam encontrar-se plantas de girassol por todo país (SCHULER; HIRMIN; HOFMAN; LUNDSTROM et al., 1978). Acredita-se que o girassol de haste única apareceu como uma mutação do tipo silvestre (considerado uma planta invasora pelos índios) ramificado e foram selecionadas para esse caráter, outras características como pigmentação, tamanho das sementes, peculiaridade da casca e maturação também foram fixadas pelos índios. Estes já usavam as plantas como alimento, para fins medicinais e decorativos.

A partir de 1500 com a descoberta da América (1492) os navegadores espanhóis introduziram a cultura no continente europeu por volta de 1510. Porém apenas a partir dos anos de 1800, quando a cultura foi introduzida na Rússia, que o girassol se tornou uma cultura alimentar. Já nos anos de 1860 fazendeiros russos dominavam a cultura, e foram responsáveis por melhoramentos significantes na mesma, e já naquele tempo tornaram a Rússia o maior produtor mundial de sementes de girassol (UNGARO, 2000).

O cultivo no Brasil teve início no século XIX, na região Sul, provavelmente trazida por colonizadores europeus que consumiam as sementes torradas e fabricavam uma espécie de chá (PELEGRINI, 1985). Por conta da desinformação e da falta de adaptação dos cultivares da época para o clima brasileiro, os primeiros cultivos comerciais no Rio Grande do Sul, não obtiveram sucesso, ainda mais porque a cultura competia em espaço com a cultura da Soja.

A partir da década de 1960, houve um estímulo por meio do governo para o cultivo no Estado de São Paulo, porém os prejuízos causados pela ferrugem e a falta de informações sobre correção do solo, nutrição da planta, além do baixo teor de óleo bruto

das cultivares brasileiras, desestimulou o cultivo na região. De forma que em cerca de cinco anos as áreas de cultivo foram reduzidas em cerca de 60% (UNGARO, 2000).

De forma geral, até os últimos anos da década de 1970, o girassol não conseguiu se estabelecer como uma cultura expressiva, pois não conseguia competir com outras culturas mais atraentes, como o milho, a soja, o amendoim, o algodão e outras. A partir do final da década de 1990, as empresas começaram a obter sucesso com o cultivo da cultura, cooperativas foram criadas, e algumas empresas foram se firmando na produção e processamento, fator esse facilitado pelo fato da cultura utilizar o mesmo maquinário das culturas de soja e milho (PELEGRINI, 1985).

As últimas estimativas da safra feitas pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) apontaram uma área plantada cerca de 139,9 mil hectares, sendo que apenas o estado do Mato Grosso é responsável por cerca de 85% desta área.

2.1.2 Características Botânicas

O Girassol, *Helianthus annuus*, é uma planta da família Asteraceae. O gênero deriva do grego helios, que significa sol, e de anthus, que significa flor, ou “flor do sol”. É um gênero que compreende 49 espécies e 19 subespécies (CAVASIN JUNIOR, 2001).

Geralmente são plantas de grande porte, e podem ser cultivadas em diversas partes do mundo devido ao seu curto período de crescimento. Além disso, seu sistema radicular pivotante, segundo Gimenez & Ferreres (1986), a raiz principal atinge dois metros de profundidade com certa facilidade, permite a reciclagem de nutrientes do solo, além de tornar a planta eficiente na captação de água.

Uma característica comum dos girassóis é a tendência das flores acompanharem o movimento do sol durante o dia. Tal fenômeno é chamado heliotropismo, que beneficia a planta reduzindo os danos causados por pássaros e prevenindo o desenvolvimento de doenças (FAO, 2010).

As plantas são resistentes à seca, porém o teor de óleo contido nas sementes é reduzido à medida que são expostas a estresse causado pela seca durante as fases de crescimento e floração (LEITE, 2005).

Apresenta ampla adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e seu rendimento é pouco influenciado pela latitude, altitude e fotoperíodo.

2.1.3 Importância

O girassol é umas das quatro maiores culturas oleaginosas produtoras de óleo vegetal comestível em utilização no mundo. É cultivado com sucesso em todos os continentes, em mais de 20 milhões de hectares (FAO, 2010).

Aproveita-se quase tudo da planta, suas raízes profundas promovem a reciclagem de nutrientes, além da matéria orgânica deixada no solo após sua morte; as hastes podem originar matéria para a forração acústica com ótimas características, além de, juntamente com as folhas ser ensiladas e promover uma excelente adubação verde, podendo a massa seca atingir de 3 a 5 toneladas por hectare. Mel pode ser produzido a partir das flores. Estas fecundadas dão origem aos frutos aquênios que contêm as sementes ricas em óleo (47%) de excelente qualidade nutricional (UNGARO, 2000).

Pode ser utilizado com diversas finalidades tais como: decoração, grãos in natura, farelo para alimentação de aves, bovinos e suínos. Também pode ser consumido na alimentação humana in natura, tostado ou salgado (FAO, 2010).

O óleo é o principal produto extraído do girassol e tem boa aceitação no mercado, principalmente devido à sua excelente qualidade. A qualidade do óleo é relacionada à sua composição em ácidos graxos. Os compostos derivados de ácidos graxos polinsaturados essenciais (ácidos linoleico e linolênico) são importantes na prevenção de doenças cardiovasculares, o que ressalta a importância do consumo de óleos com altos teores de ácidos graxos polinsaturados como é o caso do óleo de girassol (UNGARO, 2000).

A dieta rica em ácidos graxos polinsaturados favorece o aumento das proteínas de alta densidade (HDL), além de atuarem na redução do colesterol plasmático e das proteínas de baixa densidade (LDL e VLDL), contribuindo para a prevenção de aterosclerose e dos acidentes cardiovasculares. O óleo bruto de girassol vem sendo usado no tratamento de pessoas com esclerose múltipla (UNGARO, 2000).

Nutricionistas recomendam o consumo de amêndoas de girassol como forma de prevenir a senilidade. A justificativa inclui o alto teor de fósforo dos aquênios, o qual é o “alimento” do cérebro.

Em suma, a cultura do girassol é umas das mais versáteis para o produtor, pois preenche as necessidades de rotação de culturas com vantagens sobre outras plantas, devido à sua resistência à seca e a baixas temperaturas. E vem sendo amplamente

utilizada como opção de plantio na entre safra do milho ou soja, e na renovação de canaviais (ROSSI, 1988).

2.1.4 Armazenamento

Devem-se armazenar os grãos em local seco e bem ventilado. Tomando devidos cuidados com roedores, com uso de estrados que não permita o contato direto das sacas com o chão. Os grãos devem ser armazenados com no máximo 11% de umidade para evitar o desenvolvimento de fungos, o que torna o produto impróprio para consumo (ROSSI, 1988).

Por seu elevado conteúdo de óleo, a semente de girassol é extremamente vulnerável às conseqüências de deterioração durante o processo de armazenagem. Portanto as condições de umidade relativa e temperatura do ar devem ser monitoradas periodicamente.

Fungos de armazenagem, *Aspergillus* spp., e *Penicillium* spp., proliferam na semente em ambiente com umidade relativa acima de 75% (SCHULER et al., 1978). Já foi relatada na literatura a incidência desses fungos em sementes de girassol armazenada com 11% de umidade (SCHULER et al., 1978).

2.1.5 Mercado Mundial

Historicamente os países do Leste europeu, principalmente Rússia e Ucrânia, são os maiores produtores mundiais. Vale ressaltar que foi nesta região que o girassol trazido para Europa, em meados de 1800, foi melhorado geneticamente. Anos mais tarde ao difundir-se pela Ásia, a China destacou-se como grande produtor. Na Argentina, a cultura encontrou um ambiente favorável para o seu desenvolvimento, onde também foi e continua sendo melhorado geneticamente (FAO, 2010).

O mercado mundial de sementes de girassol é dominado por Rússia, Ucrânia e Argentina, que juntos são responsáveis por mais de 50% da produção mundial. De acordo com o último relatório da FAO (Food and Agriculture Organization) no ano de 2010, o Brasil ocupava apenas a 26ª posição mundial.

Segundo estimativas do USDA – Abril/2014, para a safra 2013/2014, a produtividade deve ser em torno de 43,8 milhões de toneladas, um aumento de 20% comparado à safra passada. O maior produtor e consumidor de grãos é a Ucrânia com

uma produção para a safra 2013/2014 de aproximadamente 12,5 milhões de toneladas, e com um consumo esperado de 11,3 milhões de toneladas seguida da Rússia com uma produção de 10,5 milhões de toneladas e um consumo de aproximadamente 10 milhões de toneladas. A Figura 1 mostra os principais produtores mundiais e a produtividade esperada nestes países.

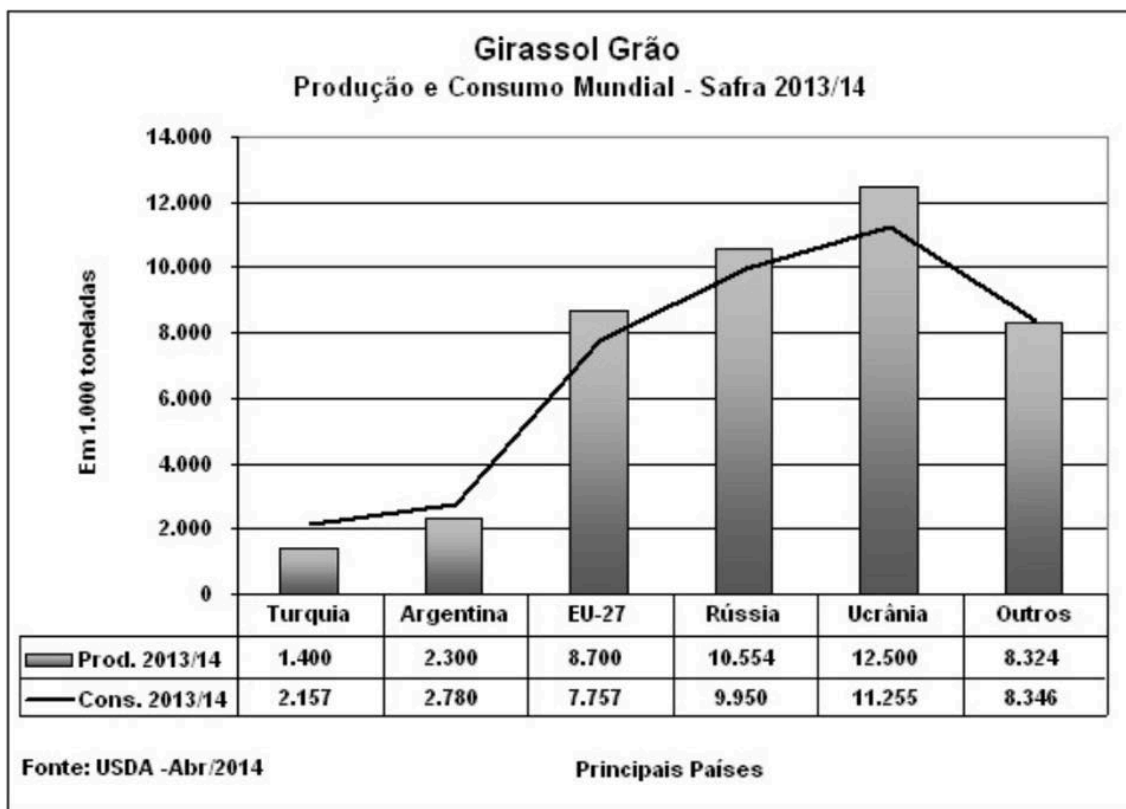


Figura 1. Gráfico da Produção e Consumo Mundial de Girassol

No Brasil - segundo o 7º “Levantamento de Safra 2013/14”, realizado pela CONAB - a estimativa foi que a área de cultivo do girassol deva ser de 139,9 mil hectares, com um aumento de quase 100% em relação à safra passada. Destaca-se o Estado de Mato Grosso, responsável por cerca de 85% da área plantada do país. As estimativas de produção giram em torno de 207,8 mil toneladas, 89% maior que a safra passada.

A Tabela 1 demonstra um comparativo de produção, produtividade e área plantada, entre as safras 2012/13 e 2013/14 no Brasil.

GIRASSOL GRÃO
COMPARATIVO DE ÁREA, PRODUTIVIDADE E PRODUÇÃO
SAFRAS 2012/13 e 2013/2014

REGIÃO/UF	Área (Em mil ha)			Produtividade (Em kg/ha)			Produção (Em mil t)			Produção	Área
	12/13	13/14	Var. %	12/13	13/14	Var. %	12/13	13/14	Var. %	(%)	(%)
Nordeste	0,5	0,5	0,0	422	422	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,4
CE	0,2	0,2	0,0	456	456	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
BA	0,3	0,3	0,0	400	400	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2
Centro-Oeste	55,2	125,5	127,4	1.682	1.393	-17,2	91,9	187,7	104,2	90,3	89,7
MT	50,7	118,9	134,5	1.671	1.503	-10,1	84,7	178,7	111,0	86,0	85,0
MS	0,9	3,0	233,3	1.810	1.150	-36,5	1,6	3,5	118,8	1,7	2,1
GO	3,6	3,6	0,0	1.564	1.525	-2,5	5,6	5,5	-1,8	2,6	2,6
SUDESTE	11,0	11,0	0,0	1.192	1.400	17,4	13,1	15,4	17,6	7,4	7,9
MG	11,0	11,0	0,0	1.192	1.400	17,4	13,1	15,4	17,6	7,4	7,9
SUL	3,4	2,9	-14,7	1.394	1.318	-5,5	4,8	4,5	-6,3	2,2	2,1
PR	0,7	0,1	-85,7	1.083	1.083	0,0	0,8	0,1	-87,5	0,0	0,1
RS	2,7	2,8	3,7	1.475	1.552	5,2	4,0	4,4	10,0	2,1	2,0
HORTE/NORDESTE	0,5	0,5	0,0	428	428	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,4
CENTRO-SUL	69,6	139,4	100,3	1.423	1.370	-3,7	109,8	207,6	89,1	99,9	99,6
BRASIL	70,1	139,9	99,6	1.570	1.476	-6,0	110,0	207,8	88,9	100	100

Fonte: CONAB – Levantamento de Safra: abr./2014

Tabela 1. Comparativo de Área, Produtividade e Produção de Girassol entre as safras 2012/13 e 2013/14

O cultivo do girassol na entressafra vem mostrando-se viável na região dos Cerrados, pois este: possibilita uma segunda safra ao produtor, racionaliza o uso da área, máquinas e mão de obra da propriedade, já que utiliza praticamente o mesmo maquinário de soja e milho facilmente adaptados para a cultura.

2.2 SOBRE A CULTURA DO SORGO (*Sorghum bicolor* L.)

2.2.1 Histórico

O sorgo, (*Sorghum bicolor* L.) é uma planta originária da África e parte da Ásia. Segundo registros arqueológicos a domesticação deve ter ocorrido por volta de 3000 anos antes de Cristo, na África e posteriormente difundido para Índia e China (AWIKA et al., 2005).

A dispersão da cultura para o Oriente ainda é motivo de grandes controvérsias. O Sorgo Durra, uma das espécies existentes, é encontrado desde a Etiópia, passando pelo Vale do Nilo até o Oriente, chegando à Índia e Tailândia. Provavelmente as rotas comerciais (por terra e mar) provavelmente foram usadas para introduzir a cultura na Índia (DICKO, 2006).

O sorgo atingiu a Europa primeiramente na Itália, certamente por sementes trazidas da Índia, por volta dos anos 70 depois de Cristo.

Sua chegada ao continente americano foi um pouco mais tardia, as primeiras introduções aconteceram no Caribe, trazidas por escravos africanos, e desta para o sudoeste dos Estados Unidos em meados do século XIX. Nos Estados Unidos, atualmente os maiores produtores mundiais de sorgo, data-se que a primeira lavoura da cultura foi plantada no ano de 1853 e já em 1857 o USDA (United States Department of Agriculture) já havia lançado a primeira cultivar comercial moderna de sorgo, fruto do melhoramento genético promovido pela ação antrópica (AWYKA et al., 2005).

No início do século XX, o sorgo foi extensivamente cultivado no país, diversas cultivares de características diferentes (porte, tempo de maturação, finalidade) foram plantadas. Sendo assim com o advento da mecanização agrícola, as cultivares de menor porte, com maior resistência à seca e precoces, foram sendo cada vez mais selecionadas. Porém os maiores progressos estavam por vir com o trabalho de um grupo de cientistas como J.R. Quinby e J.C. Stephens, que desenvolveram híbridos por volta da década de 1960 (DICKO, 2006).

Tal fato foi o responsável para a expansão das fronteiras da cultura, que passou a ser cultivada em diversos países, tais como: Argentina, Austrália, China, Colômbia, Etiópia, Nigéria, Sudão, Venezuela, entre outros. Atualmente é possível cultivar o sorgo em praticamente todos os locais agricultáveis.

No Brasil, a cultura deve ter chegado também por intermédio dos escravos africanos, principalmente na Região Nordeste do país onde o trânsito de escravos era intenso para suprir as necessidades dos cultivos de cana de açúcar. Sua expansão, de forma ordenada, por intermédio dos institutos de pesquisa pública e universidades, deu-se início por volta da década de 1970, principalmente no Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná e Bahia. Atualmente o Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais da cultura. (EMBRAPA, 2014).

As últimas estimativas da safra de pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) apontaram uma área plantada cerca de 808 mil hectares, sendo que o Estado de Goiás é responsável por cerca de 35% desta área.

2.2.2 Características Botânicas

O Sorgo, *Sorghum bicolor* L., é uma planta da família Poaceae. Esta é indubitavelmente a principal família das Angiospermas, responsável por grande parte da alimentação básica mundial (TABOSA, 1993).

O sorgo é considerado uma planta tolerante a altas temperaturas e à seca, contudo, se houver problemas causados por estresse hídrico a sua taxa de crescimento tende a diminuir. O sistema radicular é profundo e ramificado, o que lhe confere eficiência na extração de água do solo. Durante seu ciclo a planta exige em média de 450 a 500 mm de água (DICKO, 2006).

Basicamente são classificados quatro grupos principais de sorgo: granífero; forrageiro para silagem e/ou sacarino; forrageiro para pastejo/corte; verde/fenação/cobertura morta; vassoura. Dentre estes o sorgo granífero é o que tem maior expressão econômica e está entre os cinco cereais mais cultivados no mundo, perdendo apenas para arroz, trigo, milho e cevada (TABOSA, 2003).

2.2.3 Importância

Dentre as espécies alimentares, o sorgo pode ser considerado uma das mais versáteis e eficientes, do ponto de vista fotossintético e de velocidade de maturação. Sua versatilidade é comprovada pelo fato de que seus grãos podem ser utilizados na alimentação humana e animal, serve de matéria prima para o álcool anidro, bebidas alcoólicas, colas e tintas; suas panículas podem ser utilizadas para a fabricação de vassouras; pode-se extrair açúcar de seus colmos; além da função que exerce como forrageira na nutrição de ruminantes (FAO, 1995).

Além disso, estima-se que seja a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em 30 países, em geral subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, principalmente na África e Ásia (MUTISYA et al., 2009). África e Ásia são responsáveis pelo consumo de aproximadamente 95% do sorgo utilizado na alimentação humana. Nos países africanos que produzem o cereal o consumo interno chega a cerca de 75%, na Índia e China o consumo chega a 90% do total (FAO, 1995).

Atualmente, mais de 35% do sorgo cultivado no mundo é para consumo humano e o restante usado principalmente na alimentação animal (AWIKA; ROONEY, 2004). Por tratar-se de um alimento versátil e de fácil produção, a cultura é utilizada como alimento

básico para mais de 500 milhões de pessoas que em sua maior parte vivem em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, principalmente na África e na Ásia (MUTISYA et al., 2009).

Na maioria dos outros países e no Brasil quase não há consumo de sorgo na alimentação humana. Este é cultivado principalmente visando à produção de grãos voltados para as indústrias de rações e concentrados, e como forragem, para alimentação de ruminantes (DYKES, et al., 2005; TABOSA et al., 1993). O sorgo pode substituir parcialmente o milho nas rações para aves e suínos e totalmente para ruminantes, com uma vantagem comparativa de menor custo de produção e valor de comercialização de 80% do preço do milho. O que justifica os investimentos em sua produção.

Pesquisas já mostram que o sorgo integral, além de fonte de carboidratos, é rico em fibras alimentares e em compostos bioativos incluindo taninos, ácidos fenólicos e antocianinas, substâncias que inibem a proliferação de células de alguns tipos de câncer, como o de cólon e de esôfago, além de contribuírem para a redução do colesterol e do diabetes tipo 2. Além disso os grãos de sorgo possuem quantidades consideráveis de amido resistente, minerais, tocoferóis (NILSSON et al., 1997; GLITSØ; BACH KNUDSEN, 1999; SHIN et al., 2004; AWIKA; ROONEY, 2004; KAMATHA et al., 2004; DICKO et al., 2006).

2.2.4 Armazenamento

Para a colheita de grãos e realização da secagem artificial, o ponto ideal de colheita é quando os grãos estiverem com teor de umidade entre 14 e 17%. A secagem é feita até os grãos atingirem 12 a 13% de teor de umidade. O clima quente e úmido que antecede a colheita pode propiciar aparecimento de fungos nos grãos, alguns deles prejudicando a qualidade, afetando o poder germinativo e causando morte prematura das plantas (PINTO, 2002).

O sorgo pode ser armazenado por longos períodos, sem que ocorram perdas significativas em sua qualidade. Contudo a armazenagem deve ser feita em locais adequados, ou seja, seco, ventilado, e protegido contra o ataque de insetos e roedores.

Na cultura do sorgo, existem diversos patógenos de importância epidemiológica que causam prejuízos à qualidade das sementes, dentre os quais, os gêneros *Aspergillus sp.*, *Bipolaris sp.*, *Rhizopus sp.*, *Fusarium sp.*, que por sua vez, são comuns em sementes

de sorgo durante o armazenamento e podem causar prejuízos na germinação e no vigor. (PINTO, 2012).

2.2.5 Mercado Mundial

O sorgo ainda é uma cultura “marginal”, ou seja, seu cultivo depende geralmente das safras de milho. O seu cultivo e consumo são importantes para países em desenvolvimento e que tenham problemas de déficit hídrico durante o ano. A exceção à essa regra, marcante nos principais países consumidores e produtores, são os Estados Unidos, que são atualmente os maiores produtores e exportadores do grão (Figura 2). México, Nigéria, Índia e Argentina compõem os ranking dos cinco maiores produtores mundiais, juntos estes 5 são responsáveis por mais de 60% da produção mundial de sorgo, como pode ser observado no gráfico a seguir:

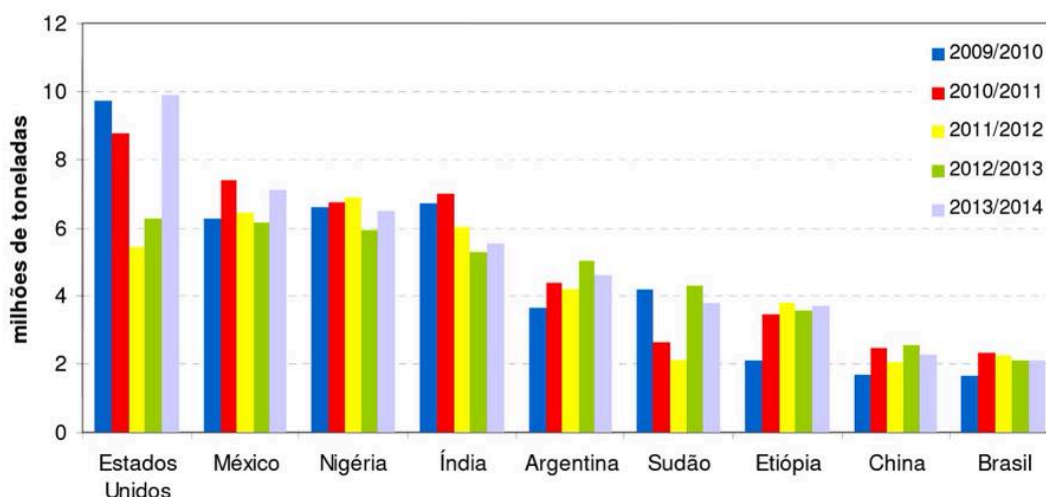


Figura 2. Produção de sorgo nos maiores produtores mundiais entre os anos de 2010 e 2013.
Fonte: USDA, 2013.

Em contrapartida, os cinco maiores consumidores são países em desenvolvimento, sendo eles por ordem decrescente de consumo: Índia, Nigéria, Sudão, Etiópia e Burkina Faso. Estes países são responsáveis por mais de 30% do consumo mundial do grão. Atualmente, mais de 35% do sorgo cultivado no mundo é para consumo humano e o restante usado principalmente na alimentação animal (AWIKA; ROONEY, 2004).

A Tabela 2 apresenta a relação entre oferta e consumo mundial da cultura do sorgo.

Ano ¹	Oferta				Consumo					Estoques Finais
	Estoques Iniciais	Produção	Importações ²	Oferta total ³	Alimentos, álcool e uso industrial	Ração	Consumo ⁴	Exportações ²	Consumo Total ³	
2005/06	4	50	5	59	34	21	54	0	55	4
2006/07	4	50	5	59	34	19	54	2	56	4
2007/08	4	53	10	67	35	24	59	3	62	5
2008/09	5	53	6	64	35	21	56	2	58	5
2009/10	5	45	6	56	29	22	51	2	53	3
2010/11	3	54	7	64	32	24	56	3	58	5
2011/12	5	48	5	58	30	21	52	5	57	3
2012/13	3	52	7	62	32	23	54	4	58	3
2013/14	4	62	7	73	34	27	61	8	69	4

¹ Agregado baseado nos períodos dos mercados locais. Os dados mais recentes podem ser preliminares ou projetados

² Exclui o comércio intra-europeu

³ A soma dos totais pode não ser exata em razão de arredondamentos.

⁴ O consumo estrangeiro inclui exportações de países que não compõem a base de dados

⁵ Inclui aveia, centeio, milho e outros grãos

Fonte: USDA, Foreign Agriculture Service, Production, Supply, and Distribution Database.

Tabela 2. Oferta e Consumo Mundial de grãos de sorgo

O Brasil já aparece entre os dez maiores produtores mundiais, sendo que nas últimas décadas foram observados aumentos substanciais tanto em área cultivada e produção. Porém apesar deste crescimento significativo em ambas, verifica-se que a produtividade brasileira ainda é baixa, variando entre 1500 e 2500 kg/ha. (TABOSA, 1993). Esta é extremamente variável ao longo dos anos, visto que tipicamente o produtor cultiva o sorgo em condições marginais de clima e principalmente, sem uso de tecnologias adequadas. Há uma preferência dos produtores para o plantio de milho em sucessão à safra de verão, somente optando pelo sorgo quando a época de semeadura do milho é inadequada.

No Brasil - segundo o 7º “Levantamento de Safra 2013/14”, realizado pela CONAB – percebe-se que a área plantada de sorgo está em queda nas regiões Sul e Nordeste, mas em crescimento nas Sudeste, Centro-Oeste e Norte.

O Estado de Goiás destaca-se liderando a produção nacional com 977,8 mil toneladas, com um crescimento maior que 8% em relação à safra anterior, seguido por Minas Gerais (456,2 mil toneladas) e Mato Grosso (421,2 mil toneladas).

Apresenta-se na Tabela 3a atual conjuntura da cultura do sorgo no Brasil.

SORGO - BRASIL

REGIÃO/UF	Área Plantada Em mil hectares			Produtividade Em kg/ha			Produção Em mil toneladas		
	2011/12	2012/13	2013/14	2011/12	2012/13	2013/14	2011/12	2012/13	2013/14
NORTE	21,5	19,1	20,1	1.736	1.923	1.921	37,3	36,7	38,6
RR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AP	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TO	21,5	19,1	20,1	1.736	1.923	1.921	37,3	36,7	38,6
NORDESTE	101,9	92,5	127,0	758	396	1.736	77,2	36,7	220,6
MA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PI	7,7	1,4	3,9	2.130	1.058	2.400	16,4	1,5	9,4
CE	0,3	0,6	1,0	236	480	1.980	0,1	0,3	2,0
RN	1,1	2,2	2,9	930	872	2.026	1,0	1,9	5,9
PB	0,2	0,2	0,2	1.500	800	800	0,3	0,2	0,2
PE	0,6	1,0	1,4	582	167	602	0,3	0,5	0,8
AL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	92,0	87,1	117,6	642	371	1.720	59,1	32,3	202,3
CENTRO-OESTE	483,0	478,4	462,8	3.160	2.965	2.992	1.526,2	1.418,5	1.384,7
MT	151,40	163,2	144,9	2.780	2.727	2.420	420,90	445,0	350,7
MS	29,0	15,0	17,0	2.700	2.647	2.800	78,3	39,7	47,6
GO	296,5	291,8	288,9	3.369	3.085	3.231	998,9	900,2	933,4
DF	6,10	8,4	12,0	4.600	4.000	4.413	28,10	33,6	53,0
SUDESTE	150,3	183,3	184,7	3.460	2.944	3.015	519,9	539,6	556,8
MG	126,1	163,7	172,4	3.519	2.883	3.058	443,7	472	527,2
ES	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SP	24,2	19,6	12,3	3.150	3.447	2.405	76,2	67,6	29,6
SUL	30,2	28,4	13,4	2.030	2.465	2.662	61,3	70,0	35,7
PR	1,8	-	-	3.700	-	-	6,7	-	-
SC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RS	28,4	28,4	28,4	1.924	2.465	2.662	54,6	70,0	35,7
NORTE/NORDESTE	123,4	111,6	147,1	928	657	1.761	114,5	73,4	259,2
CENTRO-SUL	663,5	690,1	660,9	3.176	2.939	2.992	2.107,4	2.028,1	1.977,2
BRASIL	817,4	801,7	808,0	2.824	2.621	2.768	2.221,9	2.101,5	2.236,4

Fonte: 7ª Levantamento da safra de grãos 2013-14 / CONAB

Tabela 3. Área plantada, produtividade e produção de sorgo no Brasil

2.3 OZÔNIO

Os primeiros registros sobre o ozônio são do ano de 1783 quando van Marum, observou que a descarga elétrica em ar, através de uma máquina eletrostática, acabava por gerar um odor irritante e característico. Já nos anos de 1840, o ozônio foi descoberto pelo químico alemão Schönbein, e chamou o gás de “ozônio”, palavra derivada do grego “ozein” que significa cheiro (SCHÖNBEIN, 1840, citado por GIORDANO, B. N. E., 2009). No ano de 1936 na França já haviam 100 estações de tratamento de água que utilizavam ozônio como agente desinfetante, e aproximadamente 40 no restante do mundo

(GRAHAM, 1997). Os experimentos com ozônio somente chegaram ao Brasil por volta de 1983, quando surgiu a necessidade de algumas estações de tratamento de água buscarem formas alternativas de métodos de tratamento (SANTOS, J. E., 2008).

O ozônio (O₃), ou oxigênio triatômico, é uma molécula instável formada pela adição de um átomo de oxigênio à molécula de oxigênio (O₂), e pode ser produzido naturalmente como resultado de relâmpagos ou radiação ultravioleta (KIM et al., 1999a). Comercialmente a forma mais utilizada de ozônio é a de descarga elétrica no gás oxigênio (GLAZE et al., 1987, BALAKRISHNAN et al., 2002, HARRISON, 2000).

Encontram-se diversos exemplos da utilização do gás tanto em laboratório quando em aplicações industriais (OLIVEIRA, 2012). O ozônio é um forte agente oxidante, e seu produto final é o oxigênio, ou seja, um produto não poluente e livre de resíduos (MAHAMOUND & FREIRE, 2007). Sendo assim, sua utilização é atraente no controle de fungos e insetos em grãos armazenados, além de não formar metabólitos nocivos à saúde humana e animal (KIM et al., 2003; KELLS et al., 2001; MENDEZ et al., 2003; YOUNG et al., 2006).

O ozônio é um gás instável, possui tempo de meia vida curto (20 minutos em água à 20°), podendo ser produzido no local que será utilizado, conseqüentemente, eliminando gastos com estoque ou transporte até o local de uso (KIM et al., 1999b; GRAHAM, 1997; NOVAK E YUAN, 2007). O gás é um poderoso oxidante, 1,5 vezes mais forte que o cloro, e destaca-se por apresentar o segundo maior potencial oxidante, superado apenas pelo flúor (ATKINS, P.W., 2002; GÜZEL-SEYDIM et al., 2004; MAHMOUND & FREIRE, 2007). O elevado potencial oxidante confere ao ozônio alto poder de desinfecção e esterilização, sendo desinfetante poderoso, capaz de atuar em diversas reações com compostos orgânicos e inorgânicos (KUNZ, A. & PERALTA-ZAMORA, 2002; ALMEIDA et al., 2004).

A maioria dos microrganismos patogênicos e contaminantes alimentares é susceptível aos efeitos do ozônio, onde ele atua na oxidação das membranas celulares (KIM et al. 1999a). O gás ozônio é um forte agente antimicrobiano, podendo atuar na inibição de diversos fungos, como dos gêneros: *Fusarium*, *Geotrichum*, *Myrothecium* e *Mucor* (RAILA et al., 2006; WU et al., 2006) além de possuir amplo espectro de ação sobre vírus, bactérias, fungos, leveduras e formas esporuladas (KIM et al., 2003; ÖZTEKIN et al., 2006; WHANGCHAI et al. 2006; ALENCAR, E.R, 2009). Sua eficiência depende de

fatores como: temperatura, teor de umidade, pH, presença de matéria orgânica e do tipo do organismo presente (GRAHAM, 1997).

Vale ressaltar, que por ser um dos mais “fortes” sanitizantes na esterilização de alimentos de alimentos, faz o gás apresentar alto potencial na indústria alimentícia. Sua decomposição é rápida e gera no fim oxigênio, não havendo resíduos nos alimentos tratados (NAITO; TAKAHARA, 2006; GIORDANO, B. N. E, 2009). Já é reconhecido desde 1997 pela FDA (FoodandDrugAdministration) como uma substância segura permitindo seu uso para o tratamento de água engarrafada (FDA, 2013). Observa-se o crescimento da utilização na indústria e pesquisa, como no tratamento de água para consumo, que ocorre na Europa desde o século passado, além da indústria de alimentos, que vem passando a optar pelo tratamento com ozônio, principalmente por manter inalterados sabor e odor dos alimentos que servirão para o consumo (KIM et al., 1999a; TORRES, 1996).

3 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 foram utilizados grãos de girassol e de sorgo, com teor de água em torno de 10,0% (b.u.). O gás ozônio foi obtido por meio de um gerador de ozônio baseado no método de Descarga por Barreira Dielétrica (DBD). A avaliação da cinética de decomposição do gás ozônio na massa de grãos de girassol e de sorgo foi realizada determinando-se, inicialmente, a concentração e o respectivo tempo de saturação, e em seguida a constante da taxa de decomposição. Para determinar a concentração e o tempo de saturação do ozônio em meio contendo os grãos, foi feita a injeção do gás, na concentração de 600 ppm, em recipientes de vidro, com capacidade de 3,0 L, com 1 kg de grãos. A vazão de entrada do gás foi de 5,0 L min⁻¹, na temperatura de 25 °C. A concentração residual do ozônio foi determinada após a passagem do gás pelos grãos, em intervalos de tempos regulares, até que ela se mantenha constante.

Para relacionar concentração residual do gás ozônio com o tempo, realizou-se ajuste da equação sigmoideal aos dados obtidos (Equação 1):

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

Equação 1

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):

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

Equação 2

em que:

t_{Sat} = tempo de saturação (min).

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 não foi possível a quantificação do ozônio residual 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.

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

Equação 3

$$\ln C = \ln C_o - kt$$

Equação 4

em que:

C = concentração do gás ozônio (ppm);

t = tempo (min);

k = constante de reação de decomposição (min^{-1}).

C_o = 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 grãos de girassol e de sorgo, que, para o modelo cinético de primeira ordem, é definido pela Equação 5 (WRIGHT, 2004):

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

Equação 5

O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Para a obtenção das equações de regressão e plotagem dos gráficos, referentes ao tempo e concentração de saturação, utilizou-se o software SigmaPlot 2001.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se na Figura 3, as curvas referentes à concentração de ozônio em função do tempo de exposição, quando adotada concentração inicial do gás de 600 ppm, vazão de $5,0 \text{ L min}^{-1}$ e temperatura de 25°C , para meio poroso contendo grãos de girassol (A) e de sorgo (B). Apresentam-se, na Tabela 4, as equações de regressão ajustadas e os seus respectivos coeficientes de determinação, que relacionam o ozônio residual e o tempo de exposição ao gás.

O movimento do gás ozônio na massa de grãos apresentou comportamento semelhante ao descrito por STRAIT (1998), KELLS et al (2001) e MENDEZ et al. (2003). Para esses autores, o movimento do gás ozônio em meio poroso contendo grãos apresenta duas fases distintas. Na fase 1, o ozônio reage com sítios ativos na superfície do produto no início da ozonização, ocorrendo degradação do ozônio e, conseqüentemente, eliminação desses sítios ativos. Uma vez que esses elementos são eliminados, o gás se move através do meio poroso, com taxa de degradação reduzida. E quando é atingido esse estado, ocorre a fase 2.

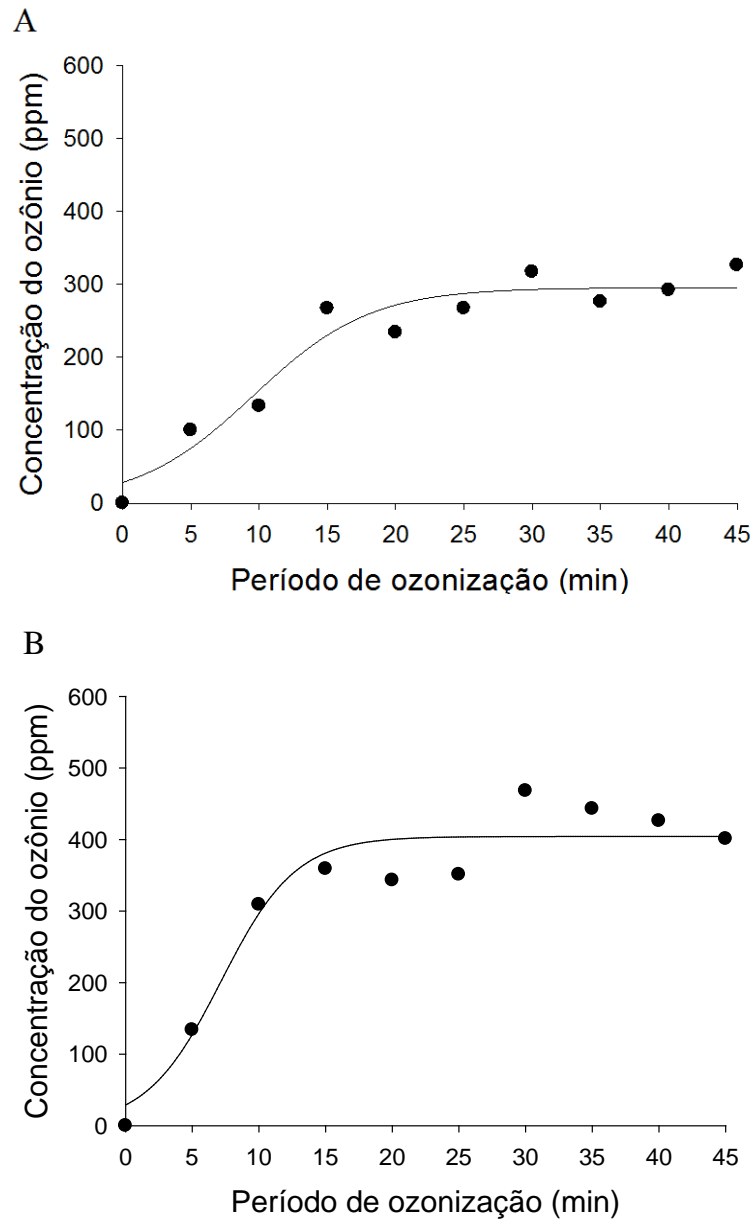


Figura 3. Concentração residual do ozônio (ppm) em função do tempo durante o processo de saturação de meio poroso contendo grãos de girassol (A) e de sorgo (B) com 10,0% (b.u.) de teor de água, na temperatura de 25 °C e vazão de 5,0 L min⁻¹ e concentração inicial

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R²) para concentração residual do ozônio (ppm) durante o processo de saturação de meio poroso contendo grãos de girassol e de sorgo com 10,0% (b.u.) de teor de água, na temperatura de 25° C e vazão de 5,0 L min⁻¹.

Produto	Equações ajustadas	R ²	t _{Sat} (min)	C _{Sat} (ppm)	C _{Sat} /C ₀
Girassol	$\hat{y} = \frac{295,25}{1 + e^{-\left(\frac{x - 9,59}{4,27}\right)}}$	0,93	18,2	260	0,43
Sorgo	$\hat{y} = \frac{404,28}{1 + e^{-\left(\frac{x - 7,16}{2,79}\right)}}$	0,93	12,8	356,1	0,59

t_{Sat}= Tempo de saturação

C_{Sat}= Concentração de saturação

C_{Sat}/C₀ = Relação entre a concentração de saturação (C_{Sat}) e a concentração inicial (C₀)

Obteve-se concentração e tempo de saturação iguais a 356,1 ppm e 12,8 min, respectivamente, para grãos de sorgo (Tabela 4). No que se refere aos grãos de girassol, obteve-se concentração de saturação equivalente a 260,0 ppm e respectivo tempo de saturação de 18,2 min. Verifica-se que o processo de saturação é mais lento no meio poroso contendo grãos de girassol, com menor concentração de saturação, quando comparado com meio poroso contendo grãos de sorgo.

As relações C_{Sat}/C₀ para os grãos de girassol e de sorgo foram de 0,43 e 0,59, respectivamente (Tabela 4). Destaca-se que esses valores são inferiores ao obtido por SANTOS et al. (2007) para milho. Esses autores utilizaram concentração do ozônio de 100 ppm e vazão de 4,6 L min⁻¹, obtendo concentração de saturação, após 70 min, equivalente a aproximadamente 100 ppm. Todavia, ALENCAR et al. (2011) ozonizaram grãos de amendoim com 7,1% de teor de água, e obtiveram relação C_{Sat}/C₀equivalente a 0,57, depois de 192 min, para vazão do gás de 3,0 L min⁻¹.

Os tempos de meia-vida do ozônio em meios porosos contendo grãos de sorgo e girassol foram de 5,4 e 5,5 min, respectivamente. Esses valores referentes ao tempo de meia-vida do ozônio no meio poroso contendo grãos de girassol e de sorgo são inferiores

aos encontrados na literatura para milho e amendoim que são de 5,57 e 7,7 min, respectivamente (SANTOS et al., 2007; ALENCAR et al., 2011). Nesse contexto, pode-se afirmar que o ozônio é mais reativo em meio poroso contendo grãos de girassol ou de sorgo que contendo grãos de milho ou de amendoim.

5 CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos, é possível concluir que o processo de saturação é mais lento em meio poroso contendo grãos de girassol. Entretanto, os tempos de meia vida nos meios porosos contendo grãos de sorgo e girassol são similares, em condições semelhantes às adotadas no trabalho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBAS, M.Y.; OZDEMIR, M. Effect of different ozone treatments on aflatoxin degradation and physicochemical properties of pistachios. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v.86, p.2090-2104, 2006.

ALENCAR, E.R. **Processo de Ozonização de Amendoim (Arachis hypogea L.): cinética de decomposição, efeito fungicida e detoxificante de aflatoxinas e aspectos qualitativos**. 2009. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

ALENCAR, E.R. DE; FARONI, L.R., MARTINS, M.A.; COSTA, A.R.; CECON, P.R. Decomposition kinetics of gaseous ozone in peanuts. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.5, 930-939, 2011.

ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.D.; SOARES, N.F.F.; SILVA, W.A.; SILVA M.C.C. 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.

ALMEIDA, E.; ASSALIN, M.R.; ROSA, M.A. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 818-824, 2004.

ATKINS, P. W.; **Physical chemistry**, 7th ed., Oxford: New York, 2002.

AWIKA, J.M.; McDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W. Decorticating sorghum to concentrate healthy phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 16, p. 6230-6234, 2005.

AZEVEDO, L. et al. **Capacidade estática de armazenamento de grãos no Brasil**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, 2008.

BALAKRISHNANA, P. A., ARUNAGIRIA, A., RAO, P. G., 2002 "Ozone Generation by Silent Electric Discharge and its Application in Tertiary Treatment of Tannery Effluent" **Journal of Electrostatics**, v. 56, pp. 77–86.

BEUCHAT, L.R.; CHMIELEWSKI, R.; KESWANI, J.; LAW, S.E.; FRANK, J.F. Inactivation of aflatoxigenic *Aspergilli* by treatment with ozone. **Letters in Applied Microbiology**, v.99, p.202-205, 1999.

CAVASIN JUNIOR, C. P. **A cultura do girassol**. Guaíba: Agropecuaria, 2001. 69p.

Guaíba: Agropecuaria, 2001. 69p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento de Safra 2013/2014**: sétimo levantamento, abril/2014. Disponível em: <<http://www.conab.com.br>>. Acesso em 01 set. 2014.

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.

DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S.; VAN BERKEL, W. J. H.; VORAGEN, A. G. J. Sorghum grains as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 5, p 384-395, 2006.

DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants: review. **Journal of Cereal Science**, London, v. 44, p. 236-251, 2006.

EMBRAPA, Banco de Dados Online. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_3_ed/index.htm> Acesso em: 01 nov. 2014

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Sorghum and millets in human nutrition**. 1995. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t0818e/T0818E01.htm>> Acesso em: 01 nov. 2014.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Sunflower Crude and Refined Oils**. Rome, 2010.

FDA (Food and Drug Administration). Revised, 2013. **Direct Food Substances Affirmed as Generally Recognized as Safe**. Disponível em: <<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1563>>. Acesso em: 01 de novembro, 2014.]

GIMENEZ, C. & FERRERES, E. Genetic variability in sunflower cultivars under drought. II. Growth and water relations. **Australian Journal of Agricultural Research, Brisbane**, 37:583-597, 1986.

GIORDANO, Bárbara Nantua Evangelista. **Efeito do ozônio sobre a micoflora e aflatoxinas durante a armazenagem de castanha-do-Brasil com casca (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)**. (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2009.

GLAZE, W. H., KANG, J.-W., CHAPIN, D. H. “The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation” **Ozone Science & Engineering**, v. 9, pp. 335-352, 1987.

GLITSØ L.V.; BACH KNUDSEN, K. E. Milling of whole grain rye to obtain fractions with different dietary fibre characteristics. **Journal of Cereal Science**, London, v. 29, p. 89-97, 1999.

GRAHAM, D. M, 1997. Use of ozone for food processing. **Food Technol.** 51(6):72-75.

GUZEL-SEYDIM, Z.; GREENE, A.K.; SEYDIM, A.C. Use of ozone in the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.37, p.453-460, 2004.

HARRISSON, J. F. “Ozone for Point-of Use, Point-of-Entry, and Small Water System Water Treatment Applications – **A Reference Manual, Water Quality Association**, 86pp, 2000.

IGURA, N.; FUJII, M.; SHIMODA, M.; HAYAKAWA, I. Inactivation efficiency of ozonated water for *Fusariumoxysporum* conidia under hydroponic greenhouse conditions. **Ozone-Science & Engineering**, v.26, n.5, p.217-221, 2004.

KAMATHA, V. G.; CHANDRASHEKAR, A.; RAJINI, P. S. Antiradical properties of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) flour extracts. **Journal of Cereal Science**, London, v.40, p. 283-288, 2004.

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.

KHADRE, M.A.; YOUSEF, A.E.; KIM, J.G. Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. **Journal of Food Science**, v.66, n.9, p.1242-1252, 2001.

KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; DAVE, S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 62. n.9, p. 1071-1087, 1999a.

KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; CHISM, G.W. Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. **Journal of Food Safety**, v.19, p.17-34, 1999b.

KIM, J.G.; YOUSEF, A.E. Inactivation kinetics of foodborne spoilage and pathogenic bacteria by ozone. **Journal of Food Science**, v.65, n.3, p.521-528, 2000.

KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; KHADRE, M.A. Ozone and its current and future application in the food industry. In: TAYLOR, S.L (Ed.) **Advances in Food and Nutrition Research**. New York: Academic Press, v.45, pp. 167-218, 2003.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências no tratamento efluentes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LEITE, R.M.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C.; **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005.

MAHMOUD, A.; FREIRE, R. S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. **Química Nova**, v. 30, n. 1, pp.198-205, 2007.

MENDEZ, F.; MAIER, D.E.; MASON, L.J.; WOLOSHUK, 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.

MUTISYA, J.; SUN, C.; ROSENQUIST, S.; BAGUMA, Y.; JANSSON, C. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 166, p. 428-434, 2009.

NAITO, S. & TAKAHARA, H. 2006. Ozone contribution in food industry in Japan. **Ozone: Science & Engineering**, 28, 425-9.

NILSSON, M.; AMAN, P.; HÄRKÖNEN, H.; HALLMANS, G.; KNUDSEN, K. E. B.; MAZUE, W.; ADLERCREUTZ, H. Content of nutrients and lignans in roller milled fractions of rye. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.73, p. 143-148, 1997.

NOGUEIRA Jr., S.; TSUNECHIRO, A. Produção agrícola e infraestrutura de armazenagem no Brasil. **InformaçõesEconômicas**, v. 35, n. 2, p. 7-18, fev. 2005.

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: BlackwellPublishing, 2007, p. 185-193.

OLIVEIRA, R.M.; WOSHC, C.L. Ozonólise: A busca por um Mecanismo. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. **Química Nova**. Vol. 35, No. 7, 1482-1485, 2012.

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.

PASCUAL, A.; LLORCA, L.; CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. **Trends in Food Science & Technology**, v.18, p.S29-S35, 2007.

PAYNE, G.A. Process of contamination by aflatoxin-producing fungi and their impact on crops. In: SINHA, K.K.; BHATNAGAR, D. **Mycotoxins in Agriculture And Food Safety**. New York: Macel Dekker, 1998, p.279-306.

PELEGRINI, B. **Girassol: uma planta solar que das Américas conquistou o mundo**. São Paulo: Ícone, 1985. 117p.

PINTO, N. F. J. A. Controle químico de fungos associados a sementes de sorgo e proteção contra fungos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p. 723-728, 2002.

QUINN, C.M.; ARCHER, G.P.; BETTS, W.B.; O'NEILL, J.G. Dose-dependentdielectrophoretic response ofCryptosporidiumoocyststreatedwith ozone. **Letters in Applied Microbiology**, v.22, p.224-228, 1996.

RAILA, A.; LUGAUSKAS, A.; STEPONAVIČIUS, D.; RAILIENĖ, M.; STEPONAVIČIENĖ, A.; ZVICEVIČIUS, E. Application of ozone for reduction of mycological infection in wheat grain. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v.13, n.2, p.287-294, 2006.

ROSSI, R.O. **Girassol**. Curitiba: Tecnoagro, 1988. 333p.

SANTOS, J.E.; MARTINS, M.A.; FARONI, L.R.A.; ANDRADE, M.P.; CARVALHO, M.C.S. Ozonation process: saturation time, decomposition kinectis and quality of maize grains

(Zea mays L.). In: IOA Conference and Exhibition, 2007, Valência, Espanha, **Proceedings...** 2007. Valência: International Ozone Association.

SANTOS, J. E. **Difusão e cinética de Decomposição do Ozônio no Processo de Fumigação de Grãos de Milho (Zeamays)**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2008.

SCHULER, R.T.; HIRMING, H.J.; HOFMAN, V.L.; LUNDSTROM, D.R. Harvesting, handling, and storage of seed. In: Carter, J.F. (Ed.) **Sunflower science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1978. p.145-167.

SHIN, S. I.; CHOI, H. J.; CHUNG, K. M.; HAMAKER, B. R.; PARK, K. H.; MOON, T. W. Slowly digestible starch from debranched waxy sorghum starch: preparation and properties. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 81, p. 404-408, 2004.

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).

TABOSA, J. N.; FRANÇA, J. G. E. de; SANTOS, J. P. O.; MACIEL, G. A.; LIRA, M. de A.; ARAÚJO, M. R. A. de; GUERRA, N. B. Teste em linhas de sorgo no semi-árido de Pernambuco para consumo humano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 12, p. 1385-1390, 1993.

TORRES, E.A.F.S., et al. Estudo das Propriedades Desinfetantes do Ozônio em Alimentos. **Higiene Alimentar**. v.10, n.42, p.18 – 23, mar.- abr., 1996.

UNGARO, M.R.G.; **Cultura do Girassol**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2000.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Production, Supply and Distribution**. Disponível em: <<http://www.ers.usda.gov>>. Acesso em: 01 set. 2014.

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.

VILELA, Nirlene J.; LANA, Milza M.; NASCIMENTO, Edson F. and MAKISHIMA, Nozomu. **O peso da perda de alimentos para a sociedade: o caso das hortaliças**. **Hortic. Bras.** [online]. 2003, vol.21, n.2 [cited 2014-12-01], pp. 142-144. Acesso em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362003000200002&lng=en&nrm=iso>.

WHANGCHAI, K.; SAENGNIL, K.; UTHAIBUTRA, J. Effect of ozone in combination with some organic acids on the control of postharvest decay and pericarp browning of longan fruit. **Crop Protection**, v.25, p.821–825, 2006.

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 trichothecenemycotoxins by aqueous ozone. **Food and Chemical Toxicology**, v.44, p.417-424, 2006.