

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

IANNE LARA DE OLIVEIRA MEIRELES

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE SATURAÇÃO E CINÉTICA DE  
DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS

BRASÍLIA, DF

2015

IANNE LARA DE OLIVEIRA MEIRELES

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE SATURAÇÃO E CINÉTICA DE  
DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS

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

2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE SATURAÇÃO E CINÉTICA DE  
DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS

Ianne Lara de Oliveira Meireles

Matrícula: 11/0061497

Prof. Orientador: Dr. Ernandes Rodrigues de  
Alencar

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.

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

OLIVEIRA MEIRELES, I. L.

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE SATURAÇÃO E CINÉTICA DE DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS

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

Orientação: Prof. Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar

1. Ozonização. 2. Saturação 3. Decomposição. 4. Composição química.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA MEIRELES, I. L.; ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE SATURAÇÃO E CINÉTICA DE DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS. 2015. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2015.

Nome do Autor: Ianne Lara de Oliveira Meireles

Título da Monografia de Conclusão de Curso: ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE SATURAÇÃO E CINÉTICA DE DECOMPOSIÇÃO DO OZÔNIO E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS.

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.

---

Ianne Lara de Oliveira Meireles

CPF: 032.058.111-00

Matrícula: 11/0061497

E-mail: iannelara@gmail.com

Celular: (61) 9619-2409

## DEDICATÓRIA

À Deus, todos os meus familiares, amigos e a quem luta incansavelmente por um mundo melhor sem usar outras pessoas como escada, dedico.

"Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade."

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus e a Nossa Senhora que me fizeram perseverar e seguir em frente durante os cinco anos da graduação, mesmo quando as dificuldades me fizeram não ter mais vontade de prosseguir.

À minha mãe, Maria Lúcia da Silva Ribeiro Oliveira, por todo o apoio e ajuda financeira ao longo desta trajetória. Por ter sido desde que nasci “meu pai e minha mãe”.

Ao meu pai, Dário Meireles Sobrinho, por ter me ajudado sempre que precisei.

À minha irmã Iasmim Maria de Oliveira Meireles, por me mostrar que sempre tive amigos dentro de casa, não sendo necessário buscá-los fora dela.

Às minhas tias Lucimar, Lusmaia, Luisa e Antônia Luisa, por todo o apoio financeiro e emocional durante o curso. “Feliz de mim que tenho várias mães”.

Ao meu falecido avô João Lino vulgo “Tico Bala”, pela inspiração e influência na escolha do curso. Sempre achei bonito o fato de que o senhor cultivasse suas plantas sem ter estudo algum e elas produzissem como se o senhor dominasse alguma teoria.

À minha avó Alzira da Silva Ribeiro Oliveira, por desde que nasci, ter me acolhido em sua casa e por todo o apoio financeiro.

Ao meu afilhado Ruan Pablo de Oliveira, por ter restaurado em minha família uma alegria que há tempos não sentíamos. Obrigada também ao papai Israel!

Ao meu namorado Douglas Gonçalves de Paulo, por não ter me deixado desistir em nenhum momento ao longo destes cinco anos. Por me cativar, me mostrar que pra tudo há uma saída e que mesmo quando caímos, nos levantamos mais fortes. Amo você!

Ao professor Ernandes Alencar pela orientação, oportunidades, por acreditar em mim e aguentar as minhas brincadeiras.

Ao Márcio Mendonça, por toda a ajuda na parte do experimento feito em laboratório.

Aos professores que inspiraram não só a mim com suas histórias maravilhosas de vida e superação. Os admiro muito!

À todos que me deram oportunidades de trabalho e/ou estágios e que estiveram ao meu lado.

Aos presentes que a Agronomia me deu, Bárbara Moura, Bruna Schneider, Djane Leite, Mariana Barbosa e Thalita Luzia, por me ajudarem de diversas formas ao longo do curso, quero levar a amizade de vocês pra vida toda. E perdão pelas tantas vezes as quais não pude ser uma amiga melhor. Kildery Reis, aonde estiver, nós amamos você!

Aos meus amigos de Luziânia-Goiás, que toleraram meus maus momentos e entenderam todo o tempo que dediquei à UnB. E novamente, perdão pelas tantas vezes as quais não pude ser uma amiga melhor.

Obrigada até a quem tentou dificultar esta caminhada. “Alguns tentaram me enterrar, pena eles não saberem que eu sou uma semente”. Muito obrigada!

"Se você for tentar, tente de verdade. Caso contrário nem comece. Isso pode significar perder tudo. E talvez até sua cabeça. Isso pode significar não comer nada por três ou quatro dias. Isso pode significar congelar num banco de praça. Isso pode significar escárnio, isolamento. Isolamento é uma dádiva. Todo o resto é teste da sua resistência. De quanto você realmente quer fazer isso. E você vai fazer isso, enfrentando rejeições das piores espécies. E isso será melhor do que qualquer coisa que você já imaginou. Se você for tentar, tente de verdade. Não há outro sentimento melhor que isso. Você estará sozinho com os deuses. E as noites vão arder em chamas. Você levará sua vida direto para a risada perfeita. Esta é a única briga boa que existe."

Henry Charles Bukowski

(Trecho do livro Factótum).

OLIVEIRA MEIRELES, Ianne Lara. Determinação da composição química de grãos e correlação com os parâmetros relacionados à decomposição do ozônio. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Dezembro de 2015.

## RESUMO

A composição química dos grãos é variável, sendo os principais constituintes dos grãos os carboidratos, os lipídeos e as proteínas e em menor proporção, sais minerais, vitaminas e outras substâncias. Uma nova técnica que vem sendo estudada na conservação pós-colheita e que pode ser influenciada pela composição química dos diferentes grãos, é a ozonização. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho determinar a composição química de diferentes grãos e verificar a possível correlação com os parâmetros relacionados a cinética de decomposição do ozônio. Os grãos avaliados foram: arroz sem casca, arroz com casca, amendoim, feijão, girassol, milho, milho pipoca, trigo, sorgo e soja. Foi determinada a composição dos diferentes grãos ozonizados. Os seguintes constituintes foram quantificados: umidade, proteínas, lipídeos, cinzas, fibra bruta e carboidratos. A correlação entre os parâmetros da cinética do gás ozônio e a composição química dos grãos foi avaliada pelo coeficiente de correlação, utilizando o Excel. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. No que se refere à concentração de saturação, verificou-se correlação positiva fraca com a umidade, com teor de proteínas e com o teor de carboidratos. Todavia, verificou-se correlação negativa fraca com o teor de lipídeos, com o teor de cinzas e com o teor de fibra bruta. Com relação ao tempo de saturação, verificou-se correlação positiva moderada com a variável teor de lipídeos e correlação positiva fraca para o teor de cinzas. Para a umidade a correlação negativa foi classificada como moderada e para o teor de cinzas como fraca. Já para o teor de proteínas e teor de fibra bruta, as correlações com o tempo de saturação foram positiva muito fraca e negativa muito fraca, respectivamente. Quanto ao tempo de meia-vida, obteve-se coeficientes de correlação equivalentes a +0,237, +0,177, -0,393, +0,060, -0,022 e +0,266, para as variáveis umidade, teor de proteínas, teor de lipídeos, teor de cinzas, teor de fibra bruta e teor de carboidratos, respectivamente. A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que a composição química dos grãos influencia os processos de saturação e decomposição do ozônio no meio poroso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ozonização, saturação, decomposição, composição química.

## ABSTRACT

The chemical composition of the grains is variable and is the principal constituents of grain carbohydrates, lipids and proteins and to a lesser extent, minerals, vitamins and other substances. A new technique that has been studied in post-harvest storage and can be influenced by the chemical composition of different grains is the ozonation. In this light, the aim of this work was to determine the chemical composition of different grains and verify the possible correlation with the parameters related to ozone decomposition kinetics. The evaluated grains were shelled rice, paddy rice, peanuts, beans, sunflower, corn, popcorn, wheat, sorghum and soybeans. It determined the composition of the different ozonized grains. The following constituents were measured: lipid, protein, ash, fiber and moisture. The correlation between the ozone gas kinetic parameters and the chemical composition of the grains was evaluated by the correlation coefficient using the Excel. The experimental design will be completely randomized design with three replications. With regard to the saturation concentration, there was strong positive correlation with the ash content, moderate negative correlation with lipid content and moderate positive correlation with moisture. The saturation time positively correlated with variables contents of ash and lipid content and negatively with moisture. As the half-life, the correlation coefficient ( $r$ ) corresponding to +0.401, and +0.387 0.469 for the variable ash content, lipid content and moisture, respectively. From the results obtained, it concludes that the chemical composition of the grain affects the saturation process and decomposition of ozone in the porous medium.

**KEYWORDS:** Ozonation, saturation, decomposition, chemical composition.

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função da umidade dos grãos.....15
- Figura 2. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de proteínas dos grãos.....16
- Figura 3. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de lipídeos dos grãos. ....17
- Figura 4. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de cinzas dos grãos.....18
- Figura 5. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de fibra bruta dos grãos.....19
- Figura 6. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de carboidratos dos grãos...20

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Valores de concentração e tempo de saturação e tempo de meia-vida do ozônio em meio poroso. Com concentração inicial de 600 ppm, vazão de 5,0 L min <sup>-1</sup> , na temperatura de 25 °C.....	13
Tabela 2. Valores médios de umidade, teor de proteínas, teor de lipídeos e teor de cinzas em diferentes grãos agrícolas.....	14
Tabela 3. Coeficientes de correlação entre os parâmetros relacionados a saturação e decomposição do ozônio em meio poroso. ....	21

## SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1. Produção de grãos.....	03
2.1.1. Soja.....	03
2.1.2. Milho.....	04
2.1.3. Trigo.....	04
2.1.4. Feijão.....	05
2.1.5. Arroz.....	05
2.1.6. Sorgo.....	06
2.1.7. Amendoim.....	06
2.1.8. Girassol.....	07
2.2. Armazenamento .....	07
2.3. Potencialidades do uso do gás ozônio .....	08
3. MATERIAIS E METODOS.....	10
3.1. Obtenção do gás ozônio.....	10
3.2. Avaliação da cinética de decomposição do ozônio em diferentes tipos de grãos..	10
3.3. Determinação da composição química dos grãos.....	11
3.4. Correlação entre os parâmetros de correlação do ozônio em meio poroso contendo os diferentes tipos de grãos e suas composições químicas.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	13
5. CONCLUSÕES.....	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

## 1 – INTRODUÇÃO

No Brasil, destaca-se a produção de grãos, tais como Arroz, Feijão, Girassol, Milho, Soja, Sorgo, Trigo, dentre outros. A produção brasileira de grãos na safra 2014/2015 é estimada em 198,5 milhões de toneladas, ou seja, 4,98 milhões de toneladas ou, 2,6% a mais em comparação com a última safra, quando foram colhidas 193,5 milhões de toneladas de grãos. Esses números são do 6º levantamento divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015). Para que sejam aproveitados pela indústria, seja grãos destinados à alimentação humana ou aqueles destinados a produção de ração animal, é importante a manutenção da qualidade e que o produto se apresente livre de contaminação.

É importante ressaltar que o Brasil ainda se encontra em posição precária no que se refere a estrutura de armazenagem, sobretudo quando se considera armazéns em nível de fazenda. Tal fato afeta significativamente o percentual de perdas nas etapas pós-colheita. 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 deteriorar ou ficar comprometida por processos de armazenamentos inadequados (NOGUEIRA; TSUNECHIRO, 2005).

Os grãos têm extrema importância nutricional, fornecendo vários nutrientes essenciais para o corpo humano e animal, sendo uns dos principais alimentos que diariamente se consome. Entretanto, na armazenagem ainda são usados agroquímicos no tratamento desses grãos para prolongar sua vida útil e também para o controle de insetos e microrganismos. Porém a crescente demanda por parte dos consumidores por produtos livres de agroquímicos, tem estimulado o desenvolvimento de pesquisas com enfoque no desenvolvimento de novas tecnologias de armazenamento e processamento de produtos agropecuários.

Uma nova técnica que vem sendo estudada na conservação pós-colheita e que pode ser influenciada pela composição química dos diferentes grãos, é a ozonização. O ozônio mostrou-se eficiente no controle de insetos-praga de grãos armazenados, no controle de microrganismos, na detoxificação de micotoxinas, dentre outros (MCKENZIE et al., 1997; ROZADO et al., 2008; SOUSA et al., 2008; Alencar et al., 2012). Uma das principais características desse gás é a alta reatividade e rápida decomposição.

O gás ozônio é uma forma alotrópica do oxigênio, é instável, diamagnético, e possui cheiro característico. É um oxidante extremamente forte, bastante reativo, capaz de oxidar metais como o ferro e o chumbo e pode ser produzido naturalmente como resultado de relâmpagos e radiação ultravioleta (KIM et al., 1999a). Outro importante aspecto a ser

mencionado é que o ozônio foi classificado como GRAS (Generally Recognized as Safe) nos Estados Unidos e liberado pelo FDA (Food and Drug Administration) para uso direto em alimentos, tanto na forma gasosa quanto dissolvido em água, como agente antimicrobiano (FDA, 2001).

Apesar dos relatos encontrados na literatura, há carência de relatos que estudem o efeito da composição química dos grãos na cinética de reação e de decomposição do ozônio, como o tempo de meia vida. O tempo de saturação é aquele necessário para que a concentração do gás ozônio aplicada permaneça constante. Já o tempo de meia-vida é aquele necessário para que a concentração desse gás se reduza à metade no meio poroso. Esses parâmetros são importantes na predição da distribuição do ozônio em um determinado meio poroso, na avaliação da viabilidade técnica do processo de ozonização e para dimensionar sistemas industriais com a utilização do gás ozônio. SANTOS et al. (2007) determinaram o tempo de saturação do gás ozônio, obtendo-se o de 70 mim, na temperatura de 25 °C, teor de água de 12,8% e vazão de 4,6L mim<sup>-1</sup>. O tempo de saturação do ozônio, para ALENCAR et al. (2011), foi de 111 mim, quando se adotou a vazão de 3,0 L mim<sup>-1</sup>, na temperatura de 25°C e grãos com teor de água de 10,5%.

O ozônio pode ser gerado seguramente no local de aplicação, pois possui vida curta. Desta forma, a sua utilização torna-se atraente pelo fato de descartar a manipulação, armazenamento ou descarte de recipientes de produtos químicos. A utilização do ozônio (O<sub>3</sub>), forma triatômica do oxigênio (O<sub>2</sub>), é capaz de gerar tecnologia mais barata e segura na conservação dos alimentos. A “ozonização” é resultado de uma descarga elétrica. O método mais comum consiste na descarga por efeito corona, onde a passagem de ar ou oxigênio puro ocorre entre dois eletrodos submetidos a uma elevada diferença de potencial, causando a dissociação do O<sub>2</sub> e recombinação com moléculas presentes no sistema para formar o O<sub>3</sub>. Por ser altamente reativo, o ozônio atua como agente desinfetante de elevado potencial oxidativo, promovendo estresses oxidativos em células vivas, sendo indicado como alternativa na utilização de oxidantes químicos e, devido a seu alto poder oxidante atua como um poderoso germicida e também contribui na eliminação de odores, bolores, cores, além de não gerar subprodutos tóxicos.

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 torna mais vantajosa, por exemplo, em relação à materiais fumigantes que são altamente tóxicos.

A composição química dos grãos é variável, sendo que os principais constituintes dos grãos são os carboidratos, os lipídeos e as proteínas e em menor proporção, sais minerais, vitaminas e outras substâncias (SILVA; CORREA, 2008). De acordo com esses autores, a proporcionalidade dos componentes pode afetar características indispensáveis à industrialização, como ocorre por exemplo com o milho dentado e o milho duro, durante a moagem.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho determinar a composição química de diferentes grãos e verificar possível correlação com os parâmetros relacionados à saturação e à cinética de decomposição do ozônio.

## **2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 – Produção de grãos**

A produção de grãos é um dos principais segmentos do setor agrícola, não só no Brasil, mas no mundo todo. Depois da colheita, os grãos precisam ser direcionada, para vários destinos, o que sempre envolve locais de armazenamento. A importância dos grãos nas Unidades da Federação (UFs) é muito variável, depende do grau de diversificação das atividades agropecuárias desenvolvidas naquele local em relação à vários fatores, como o preço da área, aptidão edafo-climática da região infra-estrutura de transporte, armazenagem e portuária, proximidade de mercados, entre outros. (TSUNECHIRO, 2002).

A estimativa da produção de grãos para a safra 2015/16 poderá situar-se entre 208,6 e 212,9 milhões de toneladas. O crescimento poderá ser de até 2,1% em relação à safra anterior. A área plantada prevista ficará entre 57,8 e 58,9 milhões de hectares. O crescimento previsto poderá ser de 1,6% se comparada com a safra 2014/15. (CONAB, 2015).

#### **2.1.1 – Soja**

A soja (*Glycine max*), é da família das leguminosas, é uma planta anual com hábito de crescimento determinado, indeterminado ou semi-determinado e seu ciclo vai de 75 a 200 dias. Basicamente, é cultivada por grandes produtores que tenham grande domínio tecnológico. (EMBRAPA, 2007). A projeção de crescimento é de até 6,8% na produção, podendo atingir 102,8 milhões de toneladas. A cultura da soja permanece como principal responsável pelo aumento de área. A estimativa é de crescimento na área cultivada com a

oleaginosa entre 2,1 e 3,8% (671,3 a 1.244,4 mil hectares) (CONAB 2015). O Brasil é o segundo maior produtor de soja com produção de 95,070 milhões de toneladas, área plantada de 31,573 milhões de hectares e produtividade de 3.011 kg/há. O maior produtor nacional de soja é o estado de Mato Grosso com produção de 27,868 milhões de toneladas, área plantada de 8,805 milhões de hectares e produtividade de 3.165 kg/ha. (CONAB, safra 2014/2015).

Vale que ressaltar que a soja dá origem a diversos subprodutos e produtos e têm em sua composição química grande quantidade de proteínas. É muito usada na alimentação humana, em temperos pra saladas, embutidos, óleos, entre outros.

### 2.1.2 – Milho

O milho (*Zea mays*) pertence à família das Poáceas, sendo classificada no grupo das plantas C-4, com ampla adaptação a diferentes condições de ambiente. Para que expresse o seu máximo potencial produtivo, requer altas temperaturas, balanço hídrico adequado do solo e exposição elevada ao sol. A densidade ótima depende da cultivar, da fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, região e época de semeadura (NOVAIS, 1970; PEREIRA, 1991).

O grão de milho é utilizado principalmente para consumo humano e animal, já que é um alimento essencialmente energético, pois seu principal componente é o amido. O teor de proteína geralmente encontrado no grão está na faixa de 9 a 11%. É muito utilizado para produção de grãos e forragem em escala mundial, pois tem grande potencial produtivo e adaptabilidade à diferentes ambientes.

A tendência atual é a redução do espaçamento entre linhas. Essa redução promove a distribuição mais equidistante de plantas, podendo aumentar a eficiência do uso da radiação fotossinteticamente ativa, água e nutrientes, incrementando a produtividade (PASZKIEWICZ, 1996).

### 2.1.3 – Trigo

Trigo (*Triticum aestivum*), da família das gramíneas, é uma planta anual de hábito de crescimento indeterminado, produzida por grandes e pequenos produtores e tem o ciclo entre 100 e 160 dias (EMPRAPA, 2014).

Sua produção mundial foi de 657,3 milhões de toneladas na safra 2013, sendo a China o maior país produtor, seguido da Índia (FAO, 2012). No Brasil a cultura ainda está tendo sua expansão. É o segundo cereal mais produzido no mundo (MAPA, 2014). As regiões onde o trigo é mais cultivado no Brasil são: sul, sudeste e centro oeste (MAPA, 2014), sendo o maior produtor o estado do Rio Grande do Sul em 2013, com uma produção de 3.178,4 mil

toneladas, porém, para o ano de 2014, o estado do Paraná lidera com estimativa de produção de 3.978,6 mil toneladas (CONAB, 2014). O trigo é muito usado no mundo inteiro, mas o grão é transformado em outros produtos antes do consumo. Sua farinha por exemplo, é usada na fabricação de biscoitos, massas, pães e bolos, em que, sua qualidade é determinada pelo teor de glúten presente no trigo, já que fornece a elasticidade necessária pra a farinha de trigo. Classificação essa, feita pela indústria. (EMBRAPA, 2014).

#### 2.1.4 – Feijão

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma leguminosa, planta anual, com ciclo que varia de 65 a 100 dias, de hábito de crescimento determinado, indeterminado arbustivo ou indeterminado prostrado. É uma cultura de pequenos e grandes produtores, mas, basicamente de agricultura de subsistência (EMPRAPA, 2003). A República da União do Myanmar é o maior produtor do feijão do mundo, seguido pela Índia e pelo Brasil, que ocupa o 3º lugar no ranking mundial de produção desse grão na safra de 2013 (FAO, 2012). É produzido em todas as regiões do Brasil, sendo a região maior produtora, o estado do Paraná, que foi o líder em 2013, com produção de 658,4 mil toneladas e com estimativa de produção em 2014 de 808,9 mil toneladas (CONAB, 2014).

O feijão é um excelente alimento, amplamente consumido em todo o Brasil juntamente com o arroz. É uma cultura essencial no que tange às populações de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (EMBRAPA 2003). É fonte de nutrientes essenciais ao corpo humano, tais como: proteínas, ferro, magnésio, cálcio zinco, vitaminas (especialmente do complexo B), carboidratos e fibras (MESQUITA et al., 2007).

#### 2.1.5 – Arroz

O arroz (*Oryza sativa*) é da família das poáceas (gramíneas), sendo a terceira maior cultura cerealífera do mundo, apenas ultrapassado pelo milho e trigo. É uma gramínea anual, classificada no grupo de plantas C-3, adaptada ao ambiente aquático. A duração do ciclo varia entre 100 e 140 dias para a maioria das cultivares cultivadas em sistema inundado e entre 110 e 155 dias para cultivares de arroz de sequeiro. O maior produtor de arroz é a China, seguida pela Índia e o Brasil ficou com o nono lugar no que se refere à produção, com cerca de 11 milhões de toneladas para um consumo de 11,7 milhões de toneladas. O arroz é um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína necessária diariamente ao homem, e sendo uma cultura extremamente versátil, que se

adapta a diferentes condições de solo e clima, é considerado a espécie que apresenta maior potencial para o combate a fome no mundo.

O arroz no Brasil é consumido principalmente na forma de grãos inteiros, descascados e polidos, juntamente com o feijão. O trigo e o milho, ao contrário, normalmente são transformados em outros produtos antes do consumo. O arroz integral, ou seja, aquele do qual, no beneficiamento, é retirada apenas a casca, apesar de mais rico em nutrientes que o arroz polido, é pouco consumido no Brasil. O cultivo do arroz irrigado presente em todas as Regiões brasileiras, destaca-se na Região Sul que é responsável, atualmente, por 60% da produção total deste cereal. Nos estados de Alagoas e Pernambuco, o arroz é cultivado nos perímetros irrigados localizados ao longo do Rio São Francisco (RANGEL et al., 1996), com a particularidade de se poder fazer duas safras anuais.

#### 2.1.6 – Sorgo

O Sorgo, (*Sorghum bicolor L.*), é uma planta da família Poaceae. É a principal família das Angiospermas, responsável por grande parte da alimentação básica mundial (TABOSA, 1993). Estima-se que ele seja a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em 30 países, geralmente subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, principalmente Ásia e África (MUTISYA et al., 2009). Há um alto grau de investimento em sua produção, pois o sorgo pode substituir parcialmente o milho em rações para suínos e aves e totalmente para ruminantes, por ter uma vantagem comparativa e de comercialização de 80% em relação ao milho.

Em relação às espécies alimentares, pode ser considerado uma das mais versáteis e eficientes, do ponto de vista fotossintético e de velocidade 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 tinta. (FAO, 1995).

#### 2.1.7 – Amendoim

O amendoim (*Arachis hypogaea L.*), é uma leguminosa originária da América do Sul, é cultivado nas mais variadas regiões tropicais do mundo, pela sua ampla adaptabilidade a uma grande diversidade de ambientes (ALMEIDA, 2006). Um dos principais problemas é o armazenamento, que é dificultado por apresentar condições ótimas em que o amendoim oferece ao desenvolvimento de fungos. Ele pode ser contaminado por diversos

microorganismos, e um dos mais importantes é o *Aspergillus flavus*. É fundamental que seja feito o controle deste tipo de agente tóxico, que pode afetar tanto humanos quanto os animais.

O amendoim é um produto mundialmente comercializado e consumido in natura ou na forma de confeitos, nos EUA por exemplo, é consumido diariamente na forma de pasta, além de ser fonte de óleo comestível largamente utilizado na culinária em diversos países.

#### 2.1.8 – Girassol

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).

Característica comum dos girassóis, a tendência das flores acompanharem o movimento do sol durante o dia. O fenômeno é chamado de heliotropismo, e beneficia a planta reduzindo os danos causados por pássaros e prevenindo o desenvolvimento de doenças. 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).

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, pois tem 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). Pode ser utilizado com diversas e distintas finalidades, como: 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).

#### 2.2 – Armazenamento

O armazenamento de grãos é parte integrante do sistema de pré-processamento de produtos agrícolas. Nessa etapa, os grãos são submetidos a fatores físicos (temperatura e umidade), químicos (fornecimento de oxigênio) e biológicos (fungos, bactérias, insetos e roedores), que podem e se tiverem condições ótimas, irão interferir na conservação e qualidade dos mesmos. A necessidade de se proteger os produtos armazenados contra a deterioração é contínua, evitando-se, assim, perdas qualitativas e quantitativas (peso) durante o armazenamento, objetivando atender a um mercado cada vez mais exigente (PADIN et al., 2002).

A conservação adequada pode manter as características do grão recém-colhido por mais tempo, assegurando o valor comercial do produto estocado. No Brasil, durante décadas, foram sendo construídas unidades armazenadoras, tanto particulares quanto de cooperativas agrícolas ou pelo governo. Os dois mais importantes fatores, no que diz respeito ao armazenamento da produção de grãos são a capacidade de armazenamento (em toneladas) e sua qualidade. Os locais disponíveis devem oferecer as condições necessárias para o armazenamento adequado, para que não haja perdas e contaminações.

Grande parte da produção de grãos é armazenada durante determinado tempo e com diferentes objetivos. A importância da armazenagem está no fato de que com o armazenamento adequado dos produtos agrícolas evitam-se perdas e preserva-se a qualidade, além de suprir as demandas durante a entressafra e de permitir aguardar variações de preços melhores pra venda (SAUER, 1992).

A produtividade de grãos no Brasil é grande e acaba por exceder 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).

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

O armazenamento de grãos pode ser definido como um ecossistema em que, mudanças qualitativas e quantitativas podem ocorrer ocasionadas por interações entre os fatores físicos, químicos e biológicos. Os fatores mais importantes que afetam os grãos durante o armazenamento são: temperatura, umidade, concentração de dióxido de carbono e oxigênio no ar intersticial, características do grão, presença de microrganismos, insetos, ácaros, condições do clima e a estrutura do grão (SINHA, 1973).

No segmento agrícola, muitos estudos vem sendo feitos com o intuito de que se preservem a qualidade dos subprodutos e grãos armazenados.

### 2.3 – Potencialidades do uso do gás ozônio

Resultados de pesquisas atuais apontam o gás ozônio como uma alternativa de grande potencial no controle de fungos e insetos-praga em grãos armazenados. Sua utilização na agricultura está se tornando atraente, pois, pode ser gerado no próprio local de uso, além de descartar a necessidade de embalagens e transporte de mercadorias (MENDEZ et al., 2003). Destaca-se a necessidade de um estudo sobre a viabilidade econômica desta tecnologia. Esse gás pode evitar e/ou inibir o desenvolvimento de organismos potencialmente patogênicos e, conseqüentemente, diminuir o risco de produção de toxinas durante as etapas de pós-colheita.

Além do controle de insetos-praga, segundo Mendez et al. (2003), nenhum efeito negativo foi observado no produto armazenado, nenhuma alteração nutricional foi verificada em um estudo feito com trigo, milho e arroz, por exemplo. É eficiente na detoxificação de micotoxinas, controle de insetos-praga e microorganismos fitopatogênicos que podem vir a infestar o produto armazenado. Infelizmente, pouco se sabe sobre os efeitos abióticos que possam exercer algum tipo de interferência em seu uso.

Surge a necessidade de se manter a qualidade dos produtos agrícolas através de novas técnicas que se mostrem como sendo eficazes no controle de insetos e micro-organismos, mas que ao mesmo tempo também tenham menores impactos ambientais e riscos à saúde humana e que sejam mais baratos.

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

A grande maioria dos microrganismos patogênicos e contaminantes alimentares é susceptível aos efeitos do ozônio. Ele atuará na oxidação das membranas celulares (KIM et al. 1999a). 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) e além disso, de possui um 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, 2009). Sua decomposição é rápida e gera como produto de degradação

oxigênio, não havendo resíduos nos alimentos tratados (NAITO; TAKAHARA, 2006; GIORDANO, B. N. E, 2009).

### **3 – MATERIAIS E MÉTODOS**

O trabalho foi conduzido nos Laboratórios Armazenamento e Pré-Processamento de Produtos Agrícolas e de Análises de Alimentos, localizados na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, FAV, da Universidade de Brasília, UnB.

No processo de ozonização foram utilizados grãos de arroz com casca, arroz sem casca, amendoim, feijão, girassol, milho, milho pipoca, trigo, sorgo e soja, obtidos no mercado local. Inicialmente foi determinado o teor de água dos grãos, de acordo com as recomendações da ASAE (2002).

#### **3.1 – Obtenção do gás ozônio**

Foi utilizado um gerador de ozônio para obtenção do gás que era baseado que era baseado no método de Descarga por Barreira Dielétrica. O gás é produzido após a aplicação de uma descarga de alta tensão entre dois eletrodos sendo um deles um dielétrico (vidro) e um espaço livre por onde flui o ar seco onde é produzida uma descarga em forma de filamentos onde são gerados elétrons com energia suficiente para produzir a quebra das moléculas de oxigênio gerando radicais para a formação do ozônio ( $O_3$ ). Para a geração do ozônio, foi utilizado como insumo oxigênio ( $O_2$ ) com grau de pureza de aproximadamente 90%, isento de umidade, obtido de concentrador de oxigênio.

Para determinar a concentração de ozônio foi utilizado o método iodométrico descrito por CLESCERI et al. (2000), que consiste em borbulhar o ozônio em 50 ml de solução de iodeto de Potássio (KI) 1 N, produzindo Iodo ( $I_2$ ). Para garantir o deslocamento da reação para a produção de  $I_2$ , foi necessário acidificar o meio com 2,5 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 1 N. A solução foi titulada com tiosulfato de sódio ( $Na_2S_2O_3$ ) 0,005 N, utilizando uma solução de amido 1% como indicador.

#### **3.2 – Avaliação da cinética de decomposição do ozônio em diferentes tipos de grãos**

A avaliação da cinética de decomposição dos grãos foi realizada previamente em trabalhos anteriores e compiladas no presente estudo. Inicialmente foi determinado o tempo de saturação e a respectiva concentração de saturação, e a constante da taxa de reação de decomposição.

A determinação do tempo de saturação do gás ozônio nos diferentes grãos foi feita realizando a injeção do gás, na concentração de  $600 \mu\text{g L}^{-1}$ , em recipientes de vidro, com capacidade de 3,25 L, contendo 1 kg de grãos. A entrada do gás aconteceu em uma vazão de  $5,0 \text{ L min}^{-1}$ , na temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para determinar a concentração residual do ozônio após a passagem do gás pelos grãos, foi realizada em intervalos de tempos regulares, até que se mantivesse constante, seguindo método proposto por SANTOS et al. (2007). Para relacionar concentração residual do gás ozônio com o tempo, foi realizado ajuste da equação sigmoidal aos dados obtidos. (Equação 2):

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

Em que:

C = concentração do gás ozônio (ppm);

t = tempo (s);

a, b e c = são as constantes da equação

A partir dos valores das constantes b e c, segundo VENEGAS et al. (1998), foi possível obter o tempo de saturação. (Equação 3):

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

Em que:

$t_{\text{Sat}}$  = tempo de saturação (s).

A cinética de decomposição foi avaliada após a saturação do meio poroso com o ozônio, após intervalos de tempo onde aconteceram a decomposição do ozônio foi quantificado e a cada intervalo foi novamente estabelecido a concentração de saturação. Esse procedimento foi repetido até que o ozônio residual não pudesse ser quantificado pelo método iodométrico.

### 3.3 – Determinação da composição química dos grãos

Foram determinados a umidade e os teores de lipídios, proteínas, cinzas, fibra e carboidratos, com três repetições.

#### *Umidade*

A umidade foi determinada por método gravimétrico em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , até peso constante, conforme o Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

#### *Teor de proteínas*

O método de referência utilizado para a determinação do teor de proteína total dos grãos foi o de Kjeldhal (AOAC, 2000), método 31.1.08.

#### *Teor de lipídios*

O teor de lipídios (Equação 1) foi obtido em Extrator de Gordura (Ankom® modelo XT10), utilizando-se com solvente éter de petróleo, sendo o processo de extração realizado por uma hora.

*Equação 1:*

$$\text{Teor de lipídios \%} = (100 \times m) / M$$

Onde:

m = massa de lipídios (g);

M = massa da amostra (g).

#### *Teor de Cinzas*

O teor de cinzas foi obtido com calcinação a 550 °C, em mufla, segundo o Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005). O teor de cinzas foi calculado pela utilizando-se a Equação 2.

*Equação 2:*

$$\text{Teor de cinzas (\%)} = (100 \times m) / M$$

Onde:

m = massa de cinzas (g);

M = massa da amostra (g)

#### *Teor de Fibras*

Para a determinação do teor de fibra dos grãos, pesou-se 1,5 g de amostra previamente seca e moída. Utilizou-se aparelho digestor de fibras marca Marconi, modelo MA-444/CI, com uso de soluções de NaOH 1,25%, e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,25%, por um período de 2 horas. Posteriormente, as amostras foram submetidas a secagem durante 2 horas a temperatura de 105 °C (BRASIL, 2005). Utilizou-se a Equação 3 para calcular o teor de fibras dos grãos.

*Equação 3:*

$$\text{Fibra bruta (\%)} = (m \times 100) / M$$

Onde:

m = massa de fibra (g);

M = massa da amostra (g).

#### *Teor de carboidratos*

O teor de carboidratos dos grãos foi calculado pela diferença entre 100 e a soma das médias de umidade, teores de lipídeos, proteínas, cinzas e fibras.

### 3.4 – correlação entre os parâmetros de correlação do ozônio em meio poroso contendo os diferentes tipos de grãos e suas composições químicas

A correlação entre os parâmetros da cinética de decomposição do gás ozônio e aqueles relacionados a composição química dos grãos foi avaliada pelo coeficiente de correlação, obtido utilizando-se o Excel e a plotagem dos gráficos foi realizada no software SigmaPlot 2010. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se, na Tabela 1, os dados referentes concentração e tempo de saturação e tempo de meia-vida do ozônio em meio poroso contendo os diferentes grãos. Na tabela 2, são apresentados os dados referentes a composição química dos grãos. Na Tabela 3, são apresentados os coeficientes de correlação entre os parâmetros de saturação e decomposição do ozônio e aqueles relacionados a composição química dos grãos.

Tabela 1. Valores de concentração e tempo de saturação e tempo de meia-vida do ozônio em meio poroso. Com concentração inicial de 600 ppm, vazão de 5,0 L min<sup>-1</sup>, na temperatura de 25 °C.

Produto	Concentração de Saturação (ppm)	Tempo de Saturação (min)	Tempo de meia-vida (min)	Fonte
Amendoim	459,6	33,3	3,5	ALVES (2013)
Arroz com casca	312,0	7,5	4,9	BIZERRA et al., (2013)
Arroz descascado	496,0	22,6	4,3	BIZERRA et al., (2013)
Feijão roxo	387,0	4,4	8,0	LIMA et al. (2014)
Girassol	260,0	18,2	5,5	MENDONÇA FILHO (2014)
Milho comum	550,0	12,0	9,5	*
Milho pipoca	443,19	15,5	11,8	*
Soja	527,0	12,4	9,6	SILVA (2014)
Trigo	610,0	21,0	10	SILVA (2014)
Feijão sempre verde	480,0	11,4	7,0	LIMA et al. (2014)
Sorgo	356,1	12,8	5,4	MENDONÇA FILHO (2014)

\* Dados não publicados

Tabela 2. Valores médios de umidade, teor de proteínas, teor de lipídeos, teor de cinzas, teor de fibra bruta e teor de carboidratos em diferentes grãos agrícolas.

Produto	Umidade (%)	Proteínas (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Fibra Bruta (%)	Carboidrato (%)
Amendoim	6,2	24,9	44,6	2,0	15,5	6,8
Arroz com casca	12,1	4,5	2,85	2,4	23,4	54,8
Arroz descascado	13,3	6,0	0,6	0,6	14,0	65,5
Feijão roxo	12,5	18,8	2,3	3,6	15,9	46,9
Girassol	6,8	11,9	38,4	2,4	31,8	8,7
Milho comum	10,0	10,1	3,15	0,6	12,2	64,0
Milho pipoca	11,1	11,6	2,6	0,90	20,3	53,5
Soja	9,8	38,6	19,9	4,9	18,2	8,6
Trigo	12,5	11,1	0,9	1,4	20,5	53,6
Feijão sempre verde	13,8	25,2	2,7	3,5	18,7	36,1
Sorgo	11,0	8,6	2,3	0,8	13,1	64,2

Nas Figuras 1-6 é possível verificar a dispersão dos dados de concentração e tempo de saturação e tempo de meia-vida do ozônio quando ocorre variação da composição do meio poroso.

Na Tabela 3, são apresentados os coeficientes de correlação entre os parâmetros de saturação e decomposição do ozônio e aqueles relacionados à composição química dos grãos. Ressalta-se que, segundo Guth et al. (2011), a análise correlacional, indica a relação entre duas variáveis lineares e os valores sempre serão entre +1 e -1. Ainda de acordo com esses autores, o sinal indica se a correlação é positiva ou negativa e o tamanho da variável indica a força da correlação. Então, Evans (1996) sugeriu a seguinte interpretação dos valores de r:  $0,00 \leq r \leq 0,19$  - correlação muito fraca;  $0,20 \leq r \leq 0,39$  - correlação fraca;  $0,40 \leq r \leq 0,59$  - correlação moderada;  $0,60 \leq r \leq 0,79$  - correlação forte; e  $0,80 \leq r \leq 1,00$  - correlação muito forte.

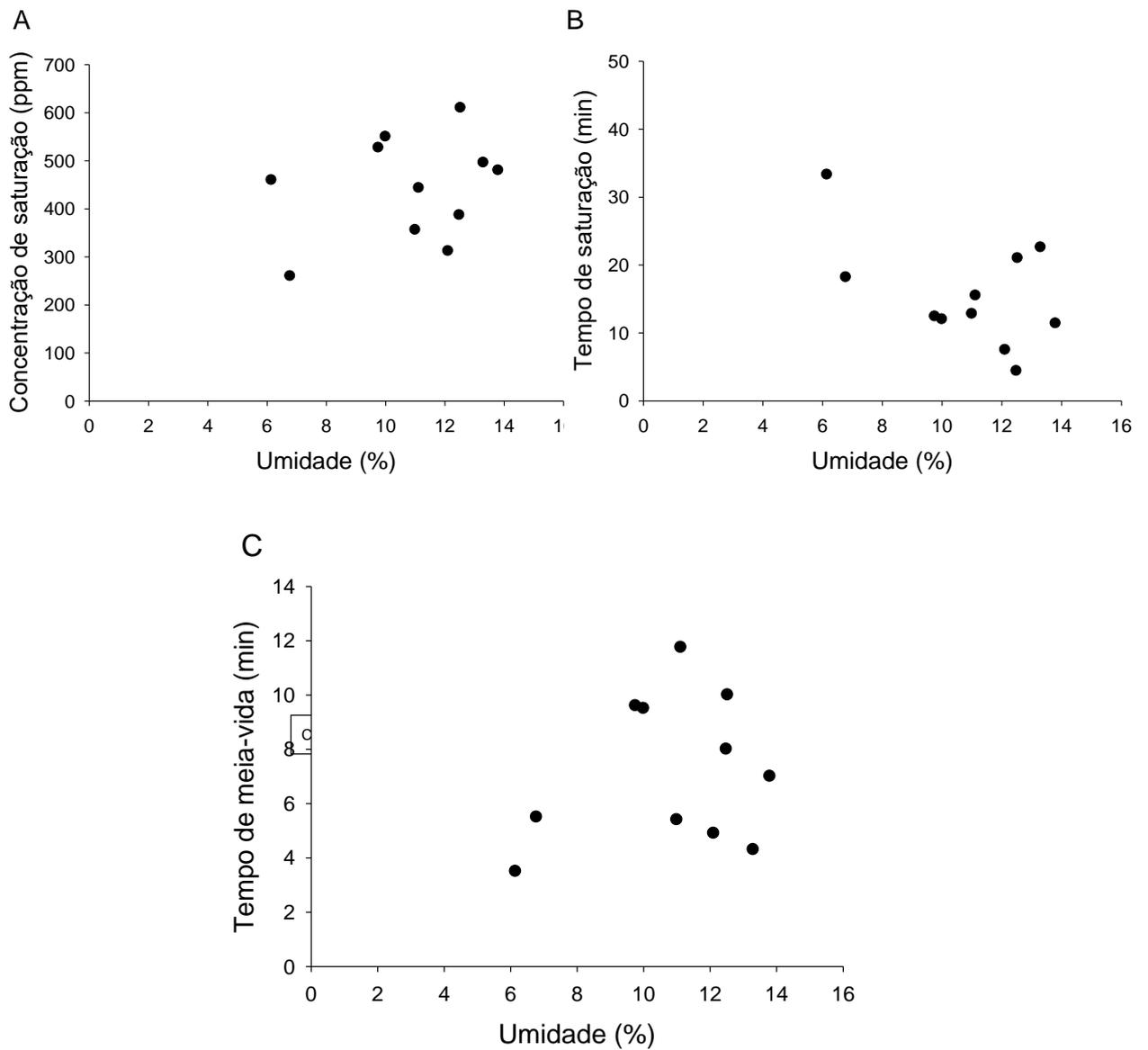


Figura 1. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função da umidade dos grãos.

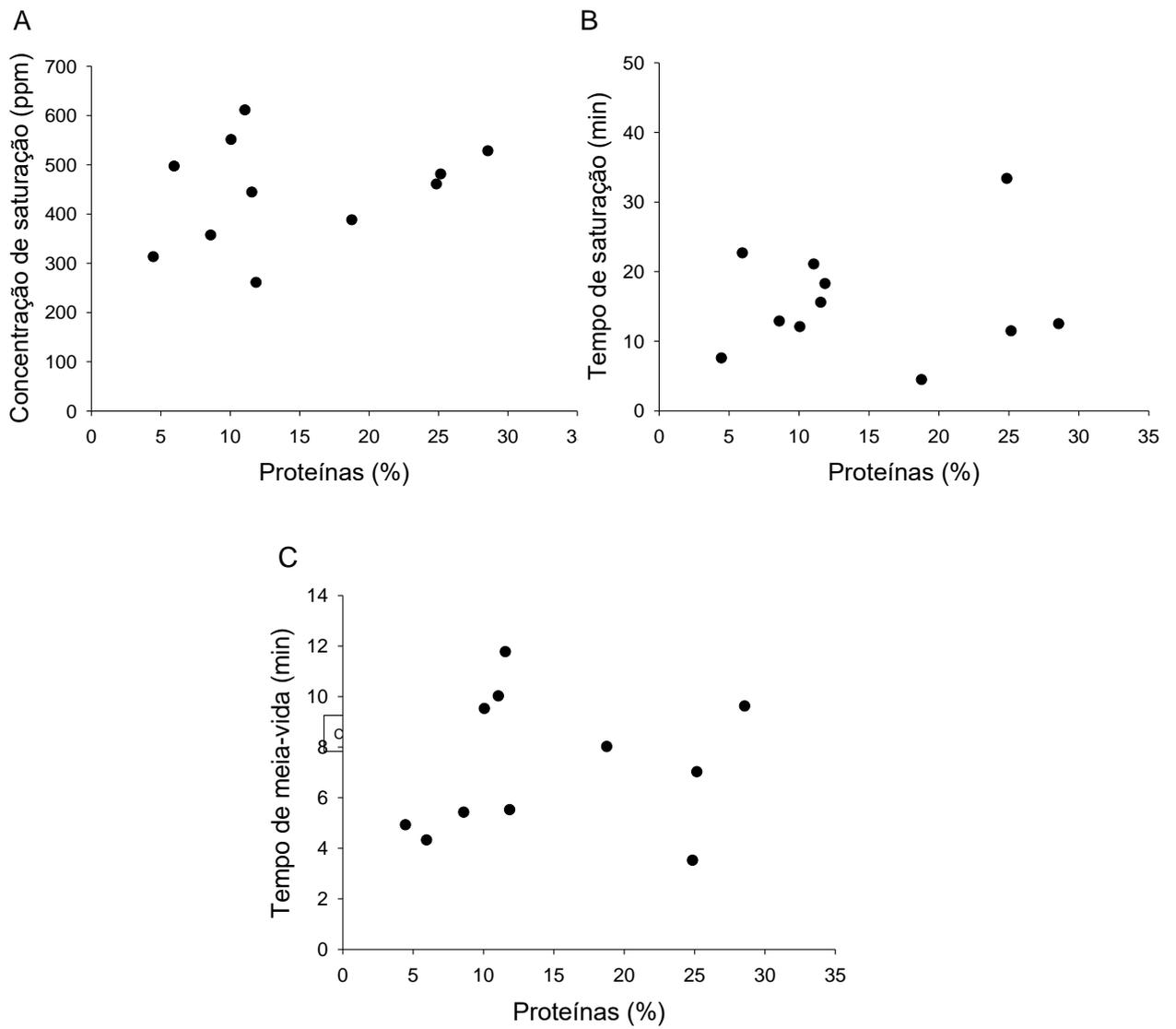


Figura 2. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de proteínas dos grãos.

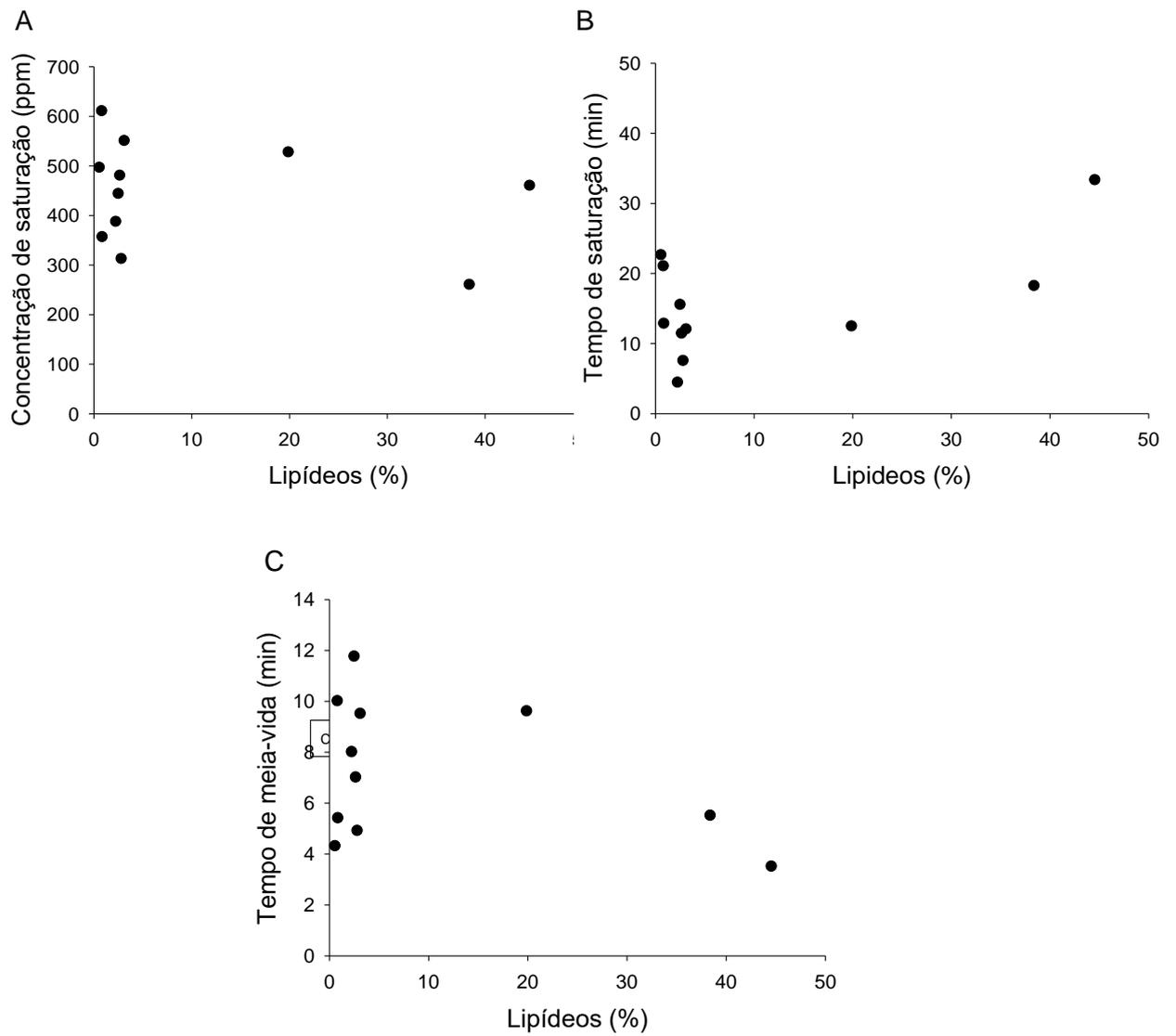


Figura 3. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de lipídeos dos grãos.

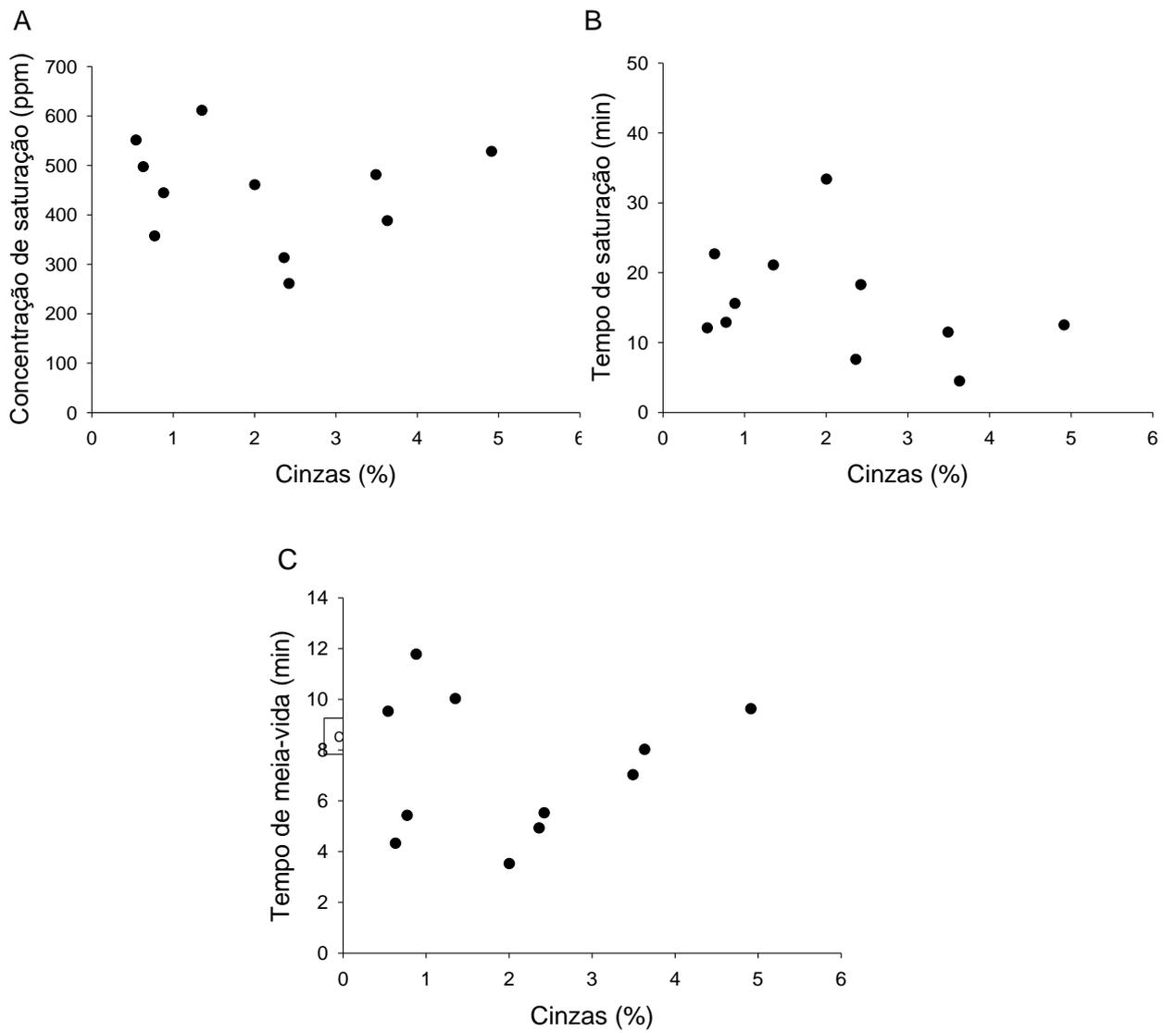


Figura 4. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de cinzas dos grãos.

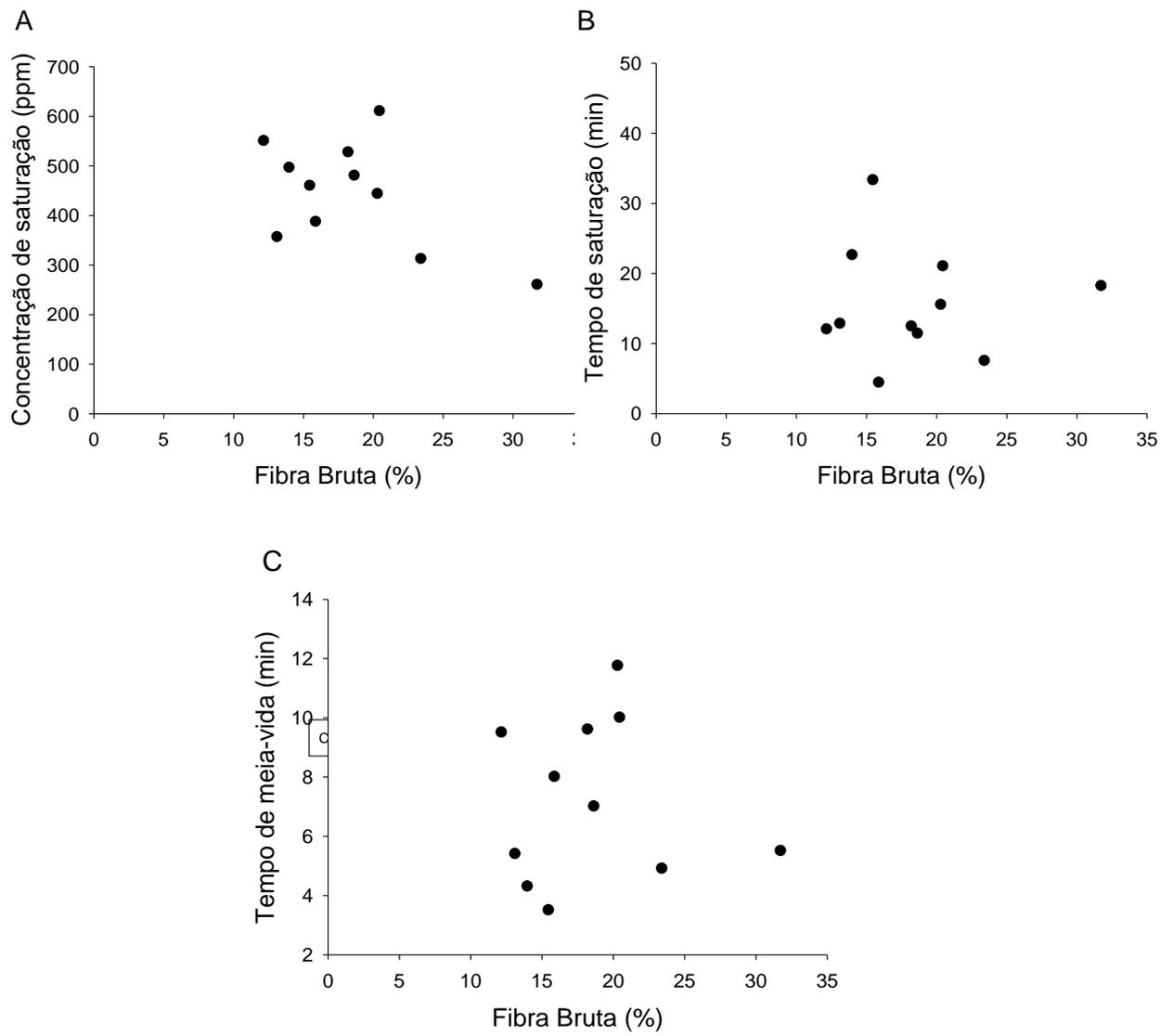


Figura 5. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de fibra bruta dos grãos.

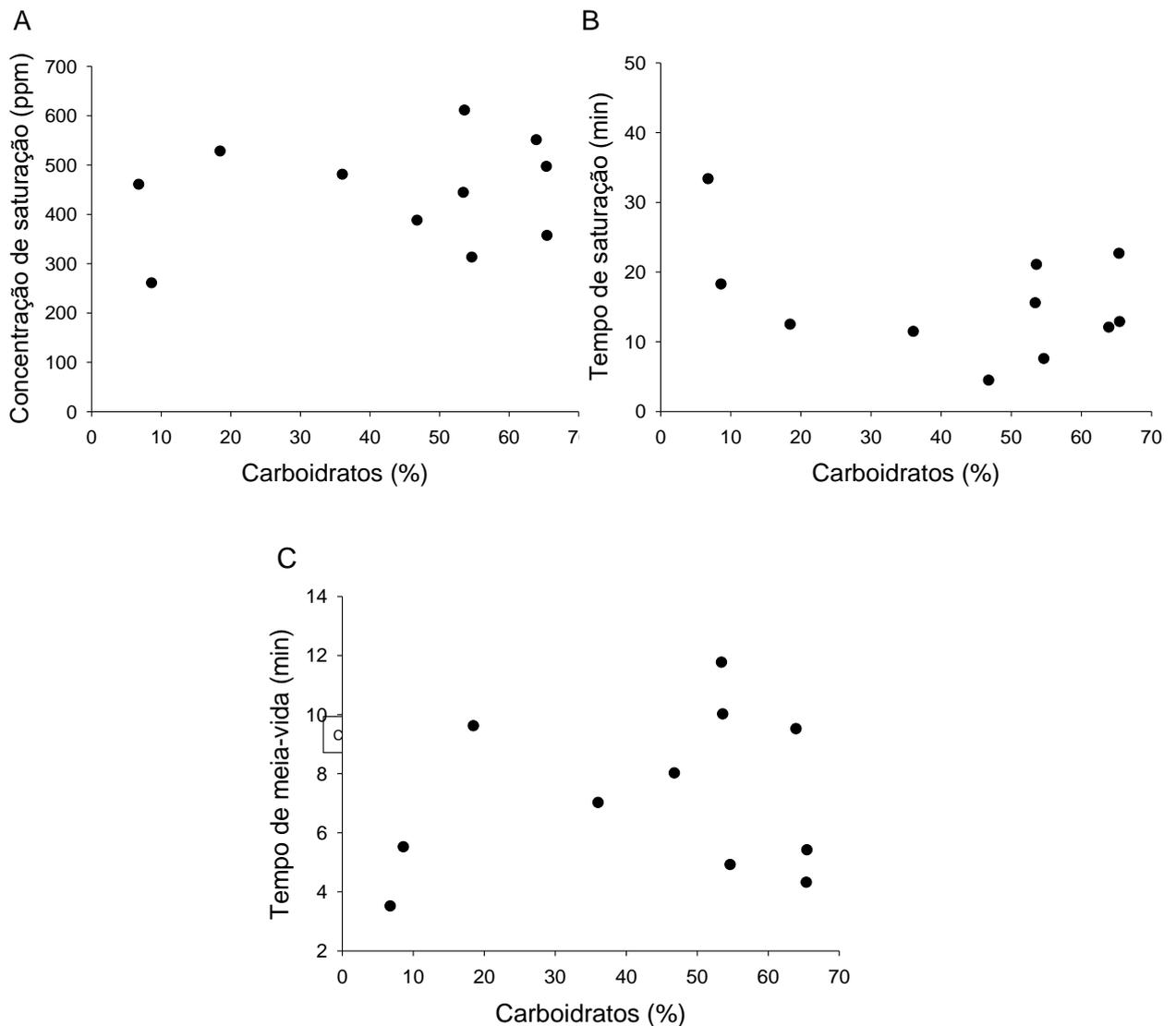


Figura 6. Dispersão dos dados de concentração de saturação (A), tempo de saturação (B) e tempo de meia vida (C) do ozônio em função do teor de carboidratos dos grãos.

No que se refere à concentração de saturação, verificou-se correlação positiva fraca com a umidade ( $r = +0,277$ ), com teor de proteínas ( $r = +0,263$ ) e com o teor de carboidratos ( $r = +0,207$ ). Todavia, verificou-se correlação negativa fraca com o teor de lipídeos ( $r = -0,273$ ), com o teor de cinzas ( $r = -0,096$ ) e com o teor de fibra bruta ( $r = -0,027$ ). Com relação ao tempo de saturação, verificou-se correlação positiva moderada com a variável teor de lipídeos ( $r = -0,593$ ) e correlação positiva fraca para o teor de cinzas ( $r = +0,346$ ). Entretanto, para umidade e teor de carboidratos, obteve-se correlação negativa. Para a umidade a correlação negativa foi classificada como moderada ( $r = -0,513$ ) e para o teor de cinzas como fraca ( $r = -0,386$ ). Já para o teor de proteínas e teor de fibra bruta, as correlações com o tempo de saturação foram positiva muito fraca e negativa muito fraca, respectivamente. Quanto ao tempo de meia-vida, obteve-se coeficientes de correlação equivalentes a  $+0,237$ ,  $+0,177$ , -

0,393, +0,060, -0,022 e +0,266, para as variáveis umidade, teor de proteínas, teor de lipídeos, teor de cinzas, teor de fibra bruta e teor de carboidratos, respectivamente.

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre os parâmetros relacionados a saturação e decomposição do ozônio em meio poroso.

Parâmetro	Umidade (%)	Proteínas (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Fibra Bruta (%)	Carboidratos (%)
Concentração de saturação (ppm)	+0,277	+0,263	-0,273	+0,096	-0,277	+0,207
Tempo de saturação (min)	-0,513	+0,113	+0,593	+0,346	-0,028	-0,386
Tempo de meia-vida (min)	+0,237	+0,117	-0,393	+0,060	-0,022	+0,266

Sabe-se que a decomposição do ozônio é dependente de parâmetros físicos, como temperatura e vazão do gás, e da composição dos constituintes do meio poroso (JUNG et al., 2004). Em se tratando de grãos agrícolas, Alencar et al. (2011) avaliaram o processo de saturação e de decomposição em grãos de amendoim e observaram efeitos significativos tanto da temperatura quanto da umidade dos grãos. Os autores observaram reduções da concentração e do tempo de saturação, quando se adotaram as umidades dos grãos equivalentes a 7,1 e 10,5%, na temperatura de 25 °C e vazão de entrada do gás de 3,0 L min<sup>-1</sup>. Essa tendência está de acordo com o resultado obtido para o tempo de saturação correlacionado com a umidade dos grãos. Nesse caso, verificou-se correlação moderada. Destaca-se ainda a correlação positiva moderada entre tempo de saturação e teor de lipídios. Nesse sentido, espera-se que à medida que se eleva o teor de lipídeos, ocorre aumento do tempo de saturação. Então, se for realizada comparação entre cereais e oleaginosas, espera-se que seja obtido maior tempo de saturação em meio poroso contendo oleaginosas.

É importante destacar, que outros fatores podem afetar os processos de saturação e de decomposição, tais como aqueles relacionados às propriedades físicas dos grãos, como, por exemplo, a porosidade, massa específica aparente, circularidade, dentre outros

## 5 – CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que a composição química dos grãos afeta os processos de saturação e de decomposição do ozônio no meio poroso. Destaca-se o expressivo efeito da umidade e do teor de lipídeos no tempo de saturação, sendo que quanto maior a umidade, menor o tempo de saturação. Enquanto que quanto maior o teor de

lipídeos, maior o tempo de saturação. No que se refere ao tempo de meia-vida, o teor de lipídeos é a variável química de maior influência, sendo que quando maior o teor de lipídeos, menor o tempo de meia-vida. Salienta-se que é fundamental que outros trabalhos sejam realizados com o intuito de se estudar mais fatores que podem influenciar os processos de saturação e de decomposição do ozônio no meio poroso

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, E.R. Processo de Ozonização de Amendoim (*Arachis hypogaea* L.): cinética de decomposição, efeito fungicida e detoxificante de aflatoxinas e aspectos qualitativos. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009. 106 f.
- ALENCAR, E.R.; 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, 2011.
- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.; 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.
- ALFREDO TSUNECHIRO, Instituto de Economia Agrícola. Disponível em: [http://www.biologico.sp.gov.br/rifib/XI\\_RIFIB/tsunechiro.PDF](http://www.biologico.sp.gov.br/rifib/XI_RIFIB/tsunechiro.PDF). Acesso em: 21. Nov. 2015.
- ALMEIDA, E.; ASSALIN, M.R.; ROSA, M.A. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. São Paulo, 2004, *Química Nova* v. 27, n. 5, p. 818-824.
- ALMEIDA, S. Amendoim, Principais doenças, manejo integrado e recomendações de controle. 2006.
- ALVES, H. Cinética da decomposição do gás ozônio em amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em diferentes condições. 21 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 2013.
- AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis 17<sup>a</sup> ed. Arlington: 2000. 2000p.
- AOCS. Official methods and recommended practices. 4<sup>a</sup> ed. Champaign: AOCS, 1993. 2v.
- ASAE. Moisture measurement. In: Standards. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers. 2002.
- ATKINS, P. W.; Physical chemistry, 7th ed., Oxford: New York, 2002.
- BIZERRA, L.V.A.S., ALENCAR, E. R., ROBERTO, M. A., MENDONÇA, M.A. Cinética da decomposição do ozônio em arroz (*Oryza sativa* L.) In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2013, Fortaleza. Anais... Jaboticabal: SBEA, 2014. v.Unico. p.1 – 4.
- CAVASIN JUNIOR, C. P. A cultura do girassol. Guaíba: Agropecuaria, 2001. 69p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento de Safra 2014/2015: sexto levantamento, março de 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/imprensa-noticia.php?id=36460>>. Acesso em 26 Set. 2015.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2º Levantamento Grãos - Safra 2014/15. Novembro de 2014. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_09\\_10\\_14\\_35\\_09\\_boletim\\_graos\\_setembro\\_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_14_35_09_boletim_graos_setembro_2014.pdf)>. Acesso em: 21 Set. 2015.

Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/Amendoim/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Amendoim/index.htm)>. Acesso em: 17 Out. 2015.

EMBRAPA ARROZ E FEIJAO. Cultivo do Feijoeiro Comum. Sistemas de Produção n° 02 ISSN 1679-8869 Versão Eletrônica. Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>>. Acessado em: 16 Out. 2015.

EMBRAPA SOJA. O Complexo Agroindustrial da Soja Brasileira. n° 43 ISSN 1516-7860 Versão Eletrônica. Setembro, 2007. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/busca-depublicacoes/-/publicacao/470318/o-complexo-agroindustrial-da-soja-brasileira>>. Acesso em: 21 Set. 2015.

EMBRAPA SOJA. Soja na Alimentação. 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/soja-na-alimentacao>>. Acesso em: 19 Set. 2015.

EVANS, J. D. Straightforward statistics for the behavioral sciences. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing. 1996. 624p.

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: 5 Nov. 2015.

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

FDA. Food and Drug Administration. Secondary direct food additives permitted in food for human consumption. Federal Register, v.66, n.123, p.33829-33830, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Top Production – World (total) – 2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 19 Nov. 2015.

GIORDANO, B.N.E. Efeito do ozônio sobre a micoflora e aflatoxinas durante a armazenagem de castanha-do-Brasil com casca (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), Florianópolis – SC, 2009.

GRAHAM, D. M.. Use of ozone for food processing. Food Technol. 1997. p.72-75.

GUTH, S.C.; FERNANDES, A.J.; PEREIRA, E.T. Construção de um indicador econômico e financeiro de grau de investimento corporativo: abordagem integrada. *Revista Universo Contábil*, v.7, 2011, p.118-137.

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

JUNG, H., KIM, J.; CHOI, H. Reaction Kinetics of ozone in variably saturated porous media. *Journal of Environmental Engineering*, v.130, 2004, p. 432-441.

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

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, 1999a, p. 1071-1087.

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, 2003, p. 167-218.

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

LIMA, L. P., ALENCAR, E. R., SILVA, C. I. S., SILVA, E. S., MENDONÇA, M.A. saturação e cinética de decomposição do ozônio em meio poroso contendo feijão In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014, 2014, Campo Grande - MS. *Anais... Jaboticabal: SBEA*, 2014. v. Unico. p.1 – 4.

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

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, 1997, p.807–820.

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, 2003, p.33-44.

MENDONÇA FILHO, S. F. Cinética de decomposição do gás ozônio em girassol (*Helianthus annuus*) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.). 31 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 2014.

- MESQUITA, F. R. “Linhagens de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Composição Química e digestibilidade protéica” Ciênc. agrotec, Lavras, v. 31, 2007, n. 4, p. 1114-1121.
- MINISTERIO DA AGRICULTURA. Cultura Trigo, 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/trigo>>. Acesso em: 19 Set. 2015.
- 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, 2009, p. 428-434.
- NAITO, S. & TAKAHARA, H. 2006. Ozone contribution in food industry in Japan. Ozone: Science & Engineering, 28, 425-429.
- NOGUEIRA Jr., S.; TSUNECHIRO, A. Produção agrícola e infraestrutura de armazenagem no Brasil. Informações Econômicas, v. 35, 2005, n. 2, p. 7-18.
- NOVAIS, R. F. Comportamento de dois milhos híbridos duplos (*Zea mays* L.) AG206 e H6000 em três populações de plantas e três níveis de nitrogênio. Viçosa, Minas Gerais, 1970. 64 f.
- 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, 2006, p.396–399.
- PADIN, S.; BELLO, G. D.; FABRIZIO, M. Grain loss caused by *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae* and *Acanthoscelides obtectus* in stored durum wheat and beans treated with *Beauveria bassiana*. Journal of Stored Products Research, v.38, 2002, p.69-74.
- PASZKIEWICZ, S. Narrow row spacing influence on com yield. In: Annual Corn and Sorghum Research Conference, Chicago: IL, 1996, p. 130-138.
- PEREIRA, R. S. B. Caracteres correlacionados com a produção e suas alterações no melhoramento genético de milho (*Zea mays* L.). Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 26, n. 5, 1991, p.745-751.
- 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, 2006, p.287-294.
- RANGEL, P.H.N.; GUIMARÃES, E.P.; NEVES, P.C.F. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.31, n.5, 1996, p. 349-347.

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

ROZADO, A. F.; FARONI, L.R.D.; URRUCHI, W.M.I.; GUEDES, R.N.C.; PAES, J. L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, 2008, p. 282-285.

SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, Minas Gerais, 2007.

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 – International Ozone Association. – Conference and Exhibition, Valência, Espanha, 2007.

SAUER, D.B. Storage of cereal grains and their products. Fourth Edition, St. Paul, MN, AACC, 1992. 615p.

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, J.S.; CORRÊA, P.C. Estrutura, Composição e Propriedades dos Grãos. In: Juarez de Souza e Silva. (Org.). Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas. 2 ed. Viçosa, Minas Gerais, 2008, p.19-36.

SINHA, R.N. Interrelations of physical, chemical and biological variables in the deterioration of stored grains. In: SINHA, R.N., MUIR, W.E. (Eds.). Grain storage: part of system. Westport, 1973. p. 15-47.

SOUSA, A.H. ; FARONI, L.R.D.; GUEDES, R.N.C.; TÓTOLA, M.R. ; URRUCHI, W.I. Ozone as a management alternative against phosphine-resistant insect-pests of stored products. Journal of Stored Products Research, v. 44, 2008, p.379-385.

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, , 1993, p. 1385-1390.

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, 1998, p.389- 395.

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, 2006, p.821–825.

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, 2006, p.1288-1293.