

TALES AFONSO DA SILVA

**PROCESSO DE OZONIZAÇÃO DOS GRÃOS DE TRIGO:
CINÉTICA DE REAÇÃO E EFEITO NA QUALIDADE DESTES E
DA FARINHA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

TALES AFONSO DA SILVA

**PROCESSO DE OZONIZAÇÃO DOS GRÃOS DE TRIGO:
CINÉTICA DE REAÇÃO E EFEITO NA QUALIDADE DESTES E
DA FARINHA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de julho de 2011.

Prof^a. Maria Cristina Dantas Vanetti
(Coorientadora)

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Coorientador)

Prof. Ernandes Rodrigues de Alencar

Prof^a. Lêda Rita D'Antonino Faroni
(Orientadora)

Àqueles que me deram o dom da vida e são responsáveis por tudo o que alcancei até aqui, meus pais

Neudo e Inês

...DEDICO

Aos meus irmãos, pelo constante apoio durante esta caminhada

Talita e Tarley

...HOMENAGEIO

Aos meus grandes amigos e companheiros de todos os momentos

...OFEREÇO

*“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim”*

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela presença constante em minha vida, sem que eu precise pedir, pelo auxílio nas minhas escolhas e por me confortar nas horas difíceis.

Aos meus pais, Neudo e Inês, por todo amor, carinho e apoio incondicionais. Vocês são os melhores pais do mundo! Amo muito vocês!

Aos meus irmãos Talita e Tarley, pela amizade, compreensão e companheirismo. Obrigada por vocês existirem perto de mim!

À professora Lêda Rita D'Antonino Faroni pela oportunidade concedida, ensinamentos e orientação.

Aos professores Maria Cristina Dantas Vanetti, Mônica Ribeiro Pirozi e Paulo Roberto Cecon, pela co-orientação, ensinamentos, dedicação e ajuda em todos os momentos que precisei.

Aos meus familiares - avó, cunhado, tios, tias, minhas lindas afilhadas Sara e Isabella e amigos de Uberaba - pela ajuda, pelos bons momentos e carinho.

Aos grandes amigos e companheiros Marta, Juliana Paes, André, Fernanda, Aline, Laélia, Mariana, Renata, Katiane e Roque, pelo apoio, incentivo, amizade e cumplicidade ao longo dos últimos anos de convivência. A vocês o meu eterno carinho e gratidão.

Aos amigos e colegas de laboratório Alisson, André, Cristina, Deise, Diego, Ernandes, Gutierrez, Juliana Andrea, Juliana Paes, Marcela, Marlize, Marta, Natália, Ricardo, Rodrigo, Romenique, Yenis, pelos bons momentos compartilhados, pelo apoio nas horas difíceis e por tudo que cada um me ajudou e ensinou.

Aos estagiários Alisson, Marcela, Marlize, Gabriela e Franslaine, sempre muito dedicados e bem humorados, fazendo com que o trabalho se tornasse menos árduo. A vocês, sou muito grato pela colaboração.

À Universidade Federal de Viçosa – UFV, MG, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela grande oportunidade oferecida.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro, através da bolsa de pesquisa, ao longo do curso.

Ao Laboratório de Microbiologia de Alimentos – DMB – UFV, em especial a Adriana, pelo grande auxílio, paciência e boa vontade em me ensinar as análises microbiológicas. A quem sou muito grato pela colaboração.

À empresa Vilma Alimentos, em especial a Cristina, Ana Carolina e Ludmila, por terem me recebido muito bem e me deixado à vontade. Pela realização da moagem dos grãos de trigo e das análises reológicas da farinha de trigo. A vocês sou muito grato pela paciência, dedicação e colaboração.

A todos os professores que ao longo deste curso se dedicaram a transmitir conhecimentos.

Aos demais amigos e colegas pelos momentos de alegrias compartilhadas dentro e fora da instituição e que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

TALES AFONSO DA SILVA, filho de Neudo Afonso Dias e Inês Aparecida da Silva Dias, nascido em Uberaba – Minas Gerais, em 12 de Agosto de 1986.

Em março de 2004, iniciou o Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foi bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) no laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, durante o período de agosto de 2007 a julho de 2009, graduando-se Engenheiro Agrícola e Ambiental em julho de 2009.

Em agosto de 2009, iniciou o curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, no setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, na Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Trigo.....	4
2.2. Ozônio	7
2.2.1. Características físico-químicas do ozônio	7
2.2.2. Ozônio como fumigante.....	10
2.2.3. Ozônio como sanitizante	11
2.2.4. Efeito residual do ozônio.....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1. Ozonização dos grãos de trigo.....	14
3.2. Obtenção do gás ozônio.....	16
3.3. Determinação da concentração residual de ozônio.....	16
3.4. Cinética de reação do ozônio na massa de grãos de trigo.....	17
3.5. Avaliação das características físicas e fisiológicas dos grãos de trigo	18
3.5.1. Teor de água	18
3.5.2. Peso hectolítrico	19
3.5.3. Germinação.....	19
3.5.4. Condutividade elétrica.....	19
3.6. Condicionamento e moagem dos grãos de trigo.....	20
3.6.1. Condicionamento dos grãos de trigo	20
3.6.2. Moagem dos grãos de trigo.....	20
3.7. Avaliação das características físico-químicas e reológicas da farinha de trigo	21
3.7.1. Teor de cinzas	21
3.7.2. Teor de proteína.....	21

3.7.3. Número de queda.....	21
3.7.4. Farinografo.....	21
3.7.5. Extensografia.....	22
3.8. Análises microbiológicas dos grãos de trigo.....	22
3.8.1. <i>Bacillus cereus</i>	22
3.8.2. Coliformes totais e termotolerantes.....	22
3.8.3. Fungos filamentosos e leveduras.....	22
3.8.4. <i>Salmonella</i> sp.....	23
3.8.5. <i>Staphylococcus aureus</i>	23
3.9. Contaminação artificial dos grãos de trigo para processo de ozonização e avaliação do efeito sanitizante do ozônio.....	23
3.9.1. Contaminação artificial dos grãos de trigo com <i>Penicillium</i> sp.....	23
3.9.2. Ozonização dos grãos de trigo contaminados.....	23
3.9.3. Avaliação do efeito sanitizante do ozônio em grãos de trigo contaminados.....	24
3.10. Delineamento experimental e análises estatísticas.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1. Cinética de reação do gás ozônio na massa de grãos de trigo.....	25
4.2. Caracterização dos grãos de trigo e da sua farinha antes do tratamento com o gás ozônio.....	33
4.3. Avaliação das características físicas e fisiológicas dos grãos de trigo.....	34
4.3.1. Características físicas dos grãos de trigo.....	34
4.3.2. Características fisiológicas dos grãos de trigo.....	41
4.4. Avaliação das características físico-químicas e reológicas da farinha de trigo.....	47
4.4.1. Características físico-químicas da farinha de trigo.....	47
4.4.2. Características reológicas da farinha de trigo.....	57
4.5. Análises microbiológicas dos grãos de trigo.....	71
5. CONCLUSÕES.....	75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
APÊNDICES.....	90

RESUMO

SILVA, Tales Afonso da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Processo de ozonização dos grãos de trigo: cinética de reação e efeito na qualidade destes e da farinha.** Orientadora: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Coorientadores: Maria Cristina Dantas Vanetti, Mônica Ribeiro Pirozi e Paulo Roberto Cecon.

A necessidade de encontrar alternativas que sejam eficazes no controle de insetos-praga e micro-organismos estimula o desenvolvimento de pesquisas visando à obtenção de novos métodos e técnicas que possibilitem a manutenção da qualidade dos produtos. Uma das alternativas é a utilização do gás ozônio (O_3), por ser um forte agente oxidante e antimicrobiano, que pode ser gerado no local por meio de uma descarga elétrica, descartando a necessidade de manipulação, armazenamento ou eliminação de embalagens. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a cinética de reação do gás ozônio na massa de grãos de trigo; avaliar o efeito da ozonização nas características físicas, fisiológicas e microbiológicas dos grãos de trigo e físico-químicas e reológicas da farinha de trigo obtida dos grãos ozonizados. Para o processo de ozonização dos grãos de trigo, foram utilizados recipientes cilíndricos de cloreto de polivinil (PVC) com 20 cm de diâmetro e 50 cm de altura e capacidade de 10 kg. O gás ozônio foi injetado no cilindro, por intermédio de uma conexão na tampa superior, com um fluxo de $2,0 \text{ L min}^{-1}$. Grãos de trigo (7,5 kg) foram ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L^{-1} . Para cada concentração, foi estudada a cinética de reação do gás na massa de grãos, por meio da determinação do tempo de saturação e taxa de decomposição. Com os resultados obtidos de tempo de saturação, foram estabelecidos períodos de ozonização com a finalidade de avaliar o efeito residual do gás na qualidade física, fisiológica e na desinfecção microbiológica dos grãos e físico-química e reológica da farinha de trigo

obtida dos grãos ozonizados. Para comparação dos resultados, grãos de trigo foram submetidos ao tratamento controle com o ar atmosférico nas mesmas condições do tratamento com gás ozônio. Os resultados de saturação da massa de grãos foram submetidos à análise de regressão *Linear Response Plateau* (L.R.P.). Os dados de decomposição do gás na massa de grãos foram ajustados aos modelos de ordem zero, de primeira e de segunda ordem, por meio da análise de regressão. Os resultados da qualidade física e fisiológica dos grãos e físico-química e reológica da farinha de trigo foram submetidos ao Delineamento Inteiramente Casualizado (D.I.C.), com dois tratamentos para cada período de exposição e três repetições. A partir dos valores obtidos, foi realizada análise de variância de regressão. Os períodos de 100, 90, 75 e 36 h de ozonização nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente, foram suficientes para saturar a massa de grãos de trigo. Verificou-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados de decomposição foi o de primeira ordem. O tratamento com o gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ nos respectivos períodos de exposição não afetou a qualidade dos grãos, com exceção da condutividade elétrica e da germinação. Nenhum dos parâmetros farinográficos e extensográficos analisados foram influenciados pelo processo de ozonização. Os resultados referentes às análises microbiológicas para a caracterização dos grãos de trigo se situaram dentro do padrão de identidade e qualidade estabelecido pela Resolução RDC nº 12. No geral, conclui-se que o aumento da concentração de ozônio reduziu o tempo de saturação da massa de grãos de trigo; que a taxa de decomposição do gás aumentou com o aumento da concentração de ozônio; e que o processo de ozonização dos grãos de trigo não afetou a qualidade dos grãos e da farinha de trigo obtida deles.

ABSTRACT

SILVA, Tales Afonso da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2011. **Ozonation process on wheat grains: kinetics of reaction and effect on quality of grains and flour.** Advisor: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Co-Advisors: Maria Cristina Dantas Vanetti, Mônica Ribeiro Pirozi e Paulo Roberto Cecon.

The need to find alternatives that are effective in controlling insect pests and microorganisms stimulates researches development aimed to find new methods and techniques that enable the maintenance of product quality. One alternative is to use ozone gas (O_3), a strong oxidant and antimicrobial agent, which can be generated on site by an electrical discharge, eliminating the need for handling, storage, or packaging disposal. This work was developed with the aim of analyzing the reaction kinetics of ozone gas on the grains mass of wheat, to evaluate the ozonation effect on physical, physiological, and microbiological features of wheat grains and physico-chemical and rheological properties of wheat flour obtained from ozonized grains. For the ozonation process on wheat grains, cylindrical containers of polyvinyl chloride (PVC) were used with 20 cm in diameter, 50 cm in height, and 10 kg capacity. The ozone gas was injected into the cylinder through a connection on the top lid with a flow of 2.0 L min^{-1} . Wheat grains (7.5 kg) were ozonized at concentrations of 0.54, 1.07, 1.61, and 2.14 mg L^{-1} . From each concentration, we studied the reaction kinetics of gas in grains mass, by determining the saturation time and decomposition rate. With results of saturation time, ozonation periods were established in order to evaluate the gas residual effect on physical and physiological quality, microbiological disinfection of grains, and physico-chemical and rheological properties of wheat flour from ozonized grains. To compare the results, wheat grains were submitted to control treatment with the atmospheric air in the same conditions of treatment with ozone gas. Results of grains

mass saturation were submitted to *Linear Response Plateau* (LRP) regression analysis. Data from gas decomposition in grains mass were fitted to zero order model of first and second order by regression analysis. Results of physical and physiological quality of grains and physico-chemical and rheological properties of wheat flour were subjected to completely randomized design (CRD) with two treatments for each exposure period and three replications. From obtained values, we performed analysis of regression variance. Periods of 100, 90, 75, and 36 hours of ozonation at concentrations of 0.54, 1.07, 1.61, and 2.14 mg L⁻¹, respectively, were sufficient to saturate the grains mass of wheat. It was found that the first order model was that best fit the data decomposition. Treatment with ozone gas at concentrations of 0.54, 1.07, 1.61, and 2.14 mg L⁻¹ in their respective periods of exposure did not affect grains quality, with the exception of electrical conductivity and germination. None of the analyzed farinographic and extensographic parameters was influenced by the ozonation process. Results of microbiological analysis for the characterization of wheat grains were within the standard of identity and quality established by RDC (Regional Development Council) Resolution No. 12. Overall, it is concluded that increasing ozone concentration reduced the saturation time of the grains mass of wheat, the rate of decomposition of the gas increased with increasing ozone concentration, and the ozonation process of wheat grains did not affect the quality of grains and wheat flour.

1. INTRODUÇÃO

O trigo é o segundo cereal mais produzido no mundo e tem fundamental importância na economia e na alimentação humana, visto que tanto a farinha quanto os demais derivados têm várias aplicações na indústria alimentícia (FERREIRA, 2003; ROSSI e NEVES, 2004; COSTA et al., 2008; GUTKOSKI et al., 2008). A produção mundial de trigo na safra 2010/2011 foi estimada em 651 milhões de toneladas (FAO, 2010) e os maiores produtores são: União Europeia (21%), China (17%), Índia (12%), Estados Unidos (10%) e Rússia (9,7%). A Argentina produziu 9,6 milhões de toneladas, sendo considerada a principal fornecedora de trigo para o Brasil (FAO, 2009).

A produção brasileira de trigo estimada na safra 2010/2011 é de 5,9 milhões de toneladas, o que corresponde a menos de 1% da produção mundial, sendo a região sul do Brasil a maior produtora com 94% da produção nacional (CONAB, 2011). Essa produção brasileira não é suficiente para suprir a demanda interna, sendo a situação agravada pela falta de incentivos governamentais e pela facilidade de importação do trigo argentino (BRUM e MULLER, 2008). Além destes problemas, há a exigência da indústria moageira e panificadora por grãos de trigo com qualidade para a produção de farinha e derivados. Sabe-se que a qualidade do grão de trigo é o resultado da interação das condições de cultivo - interferência do solo, clima, pragas, manejo da cultura e da cultivar - somado à interferência das operações de colheita, secagem, armazenamento e moagem (POMERANZ, 1987).

O armazenamento e a moagem são operações críticas na sequência do processo de pós-colheita e, quando não realizadas adequadamente, podem provocar alterações expressivas na qualidade do grão e subprodutos (EL-DASH e CAMARGO, 1982; FARONI e SILVA, 2000; GUTKOSKI e JACOBSEN NETO, 2002). Juntamente com as operações realizadas de forma inadequada, a presença de insetos-praga na massa de grãos e dos seus subprodutos acarreta aumento da umidade e cria um ambiente

favorável para a proliferação microbiana, intensificando a degradação do produto (PETERSON, 1965). Além disso, os grãos e seus subprodutos podem servir de veículo para diversos tipos de micro-organismos patogênicos ao homem, como fungos e bactérias, causadores de doenças alimentares e perturbações fisiológicas nos consumidores. A contaminação microbiana nos grãos e subprodutos representa um perigo à saúde pública, motivo de grande preocupação por parte dos órgãos de vigilância sanitária (PEREIRA e CHANG, 1993; PELCZAR JUNIOR et al., 1997).

O controle dos insetos-praga em grãos armazenados tem sido feito, prioritariamente, com o uso do inseticida fumigante fosfina. No entanto, o uso contínuo deste inseticida aliado a técnicas de aplicação inadequadas vem acarretando o surgimento de populações resistentes (CHAUDHRY, 2000; PIMENTEL et al., 2007). No que se refere ao processo de moagem do trigo, a desinfecção microbiológica dos grãos pode ser realizada por meio da cloração da água utilizada na etapa de condicionamento dos grãos e na limpeza dos equipamentos (LOPES e FRANCO, 2006). Embora a cloração diminua eficientemente a propagação de micro-organismos, ao ser utilizada em altas concentrações, ela pode ser prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana. O cloro pode se ligar a diversos compostos orgânicos e formar subprodutos tóxicos, como os Trihalometanos (THMs), potencialmente carcinogênicos (BELLAR et al., 1974; TRUSSELL e UMPHRES, 1978; GUZEL-SEYDIM et al., 2004).

Em face desses problemas, surge a necessidade de manter a qualidade dos produtos agrícolas por meio de novos métodos e técnicas que sejam eficazes no controle de insetos-praga e micro-organismos presentes nos grãos e subprodutos, de baixo custo, com menor impacto ambiental e riscos à saúde humana e que possibilitem a manutenção e preservação dos grãos armazenados. Atualmente, o processo de ozonização dos grãos pode ser considerado uma das formas mais modernas e eficientes

no controle de insetos-praga e micro-organismos presentes nos grãos e subprodutos. Classificado como “Generally Recognized as Safe” (GRAS) pela Food and Drug Administration (FDA) dos Estados Unidos, o gás ozônio (O_3) é considerado um potente agente antimicrobiano e sanitizador devido ao seu alto poder oxidativo (USDA, 1997; KIM et al., 1999).

A utilização do ozônio vem se tornando atraente pelo fato de o produto de sua degradação, o gás oxigênio (O_2), não deixar resíduos nos produtos ozonizados. Além disso, o tempo de meia vida do gás ozônio é relativamente curto (LAW e KISS, 1992; MENDEZ et al., 2003). Estudos relataram que o tempo de meia vida do ozônio na massa de grãos de milho foi de 5,57 min. (SANTOS et al., 2007), já na água, variou de 1 a 10 min., e no ar, de 20 a 50 min. (MANSON et al., 1997). Em virtude do tempo de meia vida do ozônio ser relativamente curto, este gás deve ser gerado no próprio local de aplicação, sendo necessários apenas eletricidade e ar atmosférico ou oxigênio como insumo. Este fato oferece diversas vantagens, como descartar a necessidade de manipulação, armazenamento ou eliminação dos recipientes de produtos químicos, quando comparado aos fumigantes e desinfetantes tradicionais (KEELS et al., 2001; MENDEZ et al., 2003; MANSON et al., 2006).

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho foram: estudar a cinética de reação do ozônio no processo de ozonização dos grãos de trigo, avaliar o efeito deste gás nas características físicas, fisiológicas e microbiológicas dos grãos de trigo e físico-químicas e reológicas da farinha de trigo obtida dos grãos ozonizados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Trigo

O trigo é uma gramínea, um cereal fasciculado, de fruto oval, pertencente à família Poaceae, gênero *Triticum*, com diversas espécies. A espécie de maior interesse comercial é a *Triticum aestivum* L. (trigo comum) utilizada para panificação, produção de bolos, biscoitos, massas e produtos de confeitaria. A espécie *Triticum durum* é destinada especialmente ao preparo de massas alimentícias (ARBITRIGO, 2010).

Os grãos de trigo têm tamanhos e cores variáveis dependendo da espécie, formato oval com extremidades arredondadas (KULP e PONTE JÚNIOR, 2000), medem cerca de 8 mm e pesam em torno de 35 mg (HOSENEY, 1998). O trigo é dividido estruturalmente em pericarpo ou casca, endosperma e embrião ou gérmen (Figura 1). O endosperma consiste em dois tecidos, a camada aleurona e o endosperma amiláceo (EVERS e MILLART, 2002). O pericarpo ou casca, invólucro protetor, constitui aproximadamente 15% do peso do grão de trigo, é rico em polissacarídeos não amiláceos (fibras) e minerais (cinzas). O endosperma corresponde, aproximadamente, a 82% do peso do grão e é dividido em camada aleurona e endosperma amiláceo. A camada aleurona é rica em proteínas, lipídeos, vitaminas, enzimas e polissacarídeos não amiláceos. O endosperma amiláceo é rico em amido e proteína, mas também é composto por lipídeos, açúcares redutores, celulose e cinzas em menores proporções. O embrião ou gérmen que representa cerca de 3% do peso do grão, é rico em proteínas, lipídeos, vitaminas e enzimas (BUSKUK e SCANLON, 1993; KULP e PONTE JÚNIOR, 2000).

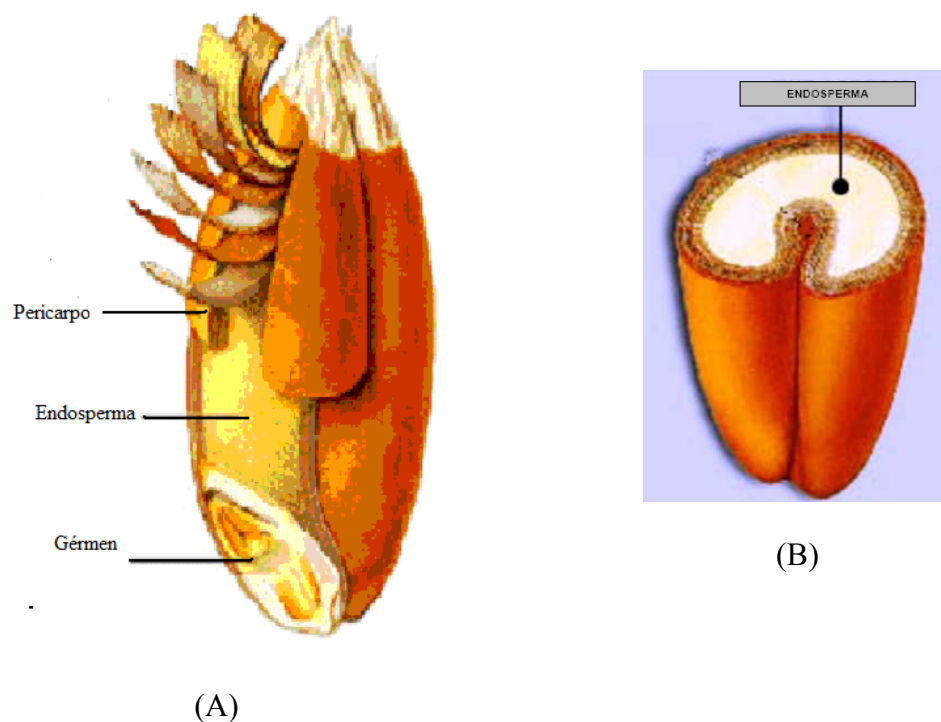


Figura 1 – Composição do grão de trigo. (A) Pericarpo, endosperma e germen. (B) Corte transversal do grão de trigo.

Fonte: GRANOTEC (2010).

O pericarpo do grão de trigo possui baixo teor de proteína, se comparado com as demais estruturas, contém um alto teor de cinzas, perdendo somente para a camada aleurona, e não possui teor de lipídeos e amido em sua composição. Esta estrutura é incluída na farinha de trigo integral e também é encontrada separadamente, como farelo de trigo. A camada aleurona possui um alto teor de cinzas que caracteriza a sua eliminação no processo de produção da farinha de trigo. A aleurona juntamente com o pericarpo produzem o farelo de trigo. O endosperma amiláceo contém a maior parte das proteínas e o maior teor de amido do grão inteiro, e é desta região que se extrai a farinha de trigo. O embrião ou germen é a parte estrutural que possui maior teor de lipídeos do grão, contém também um alto teor de proteína e não contém amido em sua composição. O germen ou embrião é usualmente separado devido à quantidade limite de gordura que interfere na qualidade de conservação da farinha de trigo, podendo, assim, ser obtido separadamente ou incluído na farinha de trigo integral (ABITRIGO, 2010).

O grão de trigo, após o processo de moagem, é transformado em farinha, farelo e gérmen. A farinha de trigo é utilizada na panificação, na fabricação de pães, massas, biscoitos, formulações de outros alimentos e numerosos usos domésticos, entre outras finalidades. O farelo de trigo é empregado como ingrediente nas fábricas de rações para animais, como complemento vitamínico e como fornecedor de fibras para alimentos dietéticos e cereais matinais. O gérmen de trigo é consumido em grande parte pela indústria farmacêutica, do qual são extraídos óleo e um rico complexo vitamínico. Também é utilizado em fábricas de rações e como complemento dietético (GUARIENTI, 1996).

Sabe-se que a qualidade da farinha de trigo está relacionada principalmente com os grãos que a originaram e com as condições do processo de moagem (PRABHASANKAR et al., 2000). A farinha de trigo de qualidade deve ser suave ao tato, de cor natural, sem sabores estranhos de ranço, acidez, amargo, mofo ou doce. Deve apresentar aparência uniforme, sem pontos negros, livres de qualquer defeito, de insetos vivos ou mortos, corpos estranhos e odores anormais (BRASIL, 2005). A farinha é composta principalmente de amido (70-75%), proteínas do glúten (10-12%), polissacarídeos amiláceos (2-3%), lipídeos (2%) e proteínas solúveis (1%) (GOESAERT et al., 2005).

As proteínas formadoras de glúten são a gliadina e a glutenina. Essas proteínas ao combinar com a água e mediante batidura da massa formam uma estrutura elástica, responsável pelas propriedades reológicas da massa. As gliadinas são proteínas de cadeia simples, responsáveis pela consistência e viscosidade da massa e apresentam a extensibilidade. As gluteninas, por sua vez, apresentam cadeias ramificadas, sendo as responsáveis pela elasticidade da massa (EL-DASH et al., 1994).

O teor e a qualidade das proteínas formadoras de glúten da farinha de trigo são os principais fatores pelo potencial de panificação que a farinha possui. No entanto, o amido, lipídeos e componentes solúveis em água da farinha também são necessários para a produção de pão com características adequadas. O amido auxilia na manutenção da estrutura do pão no cozimento, ajudando na retenção dos gases produzidos durante a fermentação. Os lipídeos participam das interações entre o amido e proteínas e das proteínas gliadina e gluteninas (BENNION, 1970).

2.2. Ozônio

A utilização do ozônio tem-se desenvolvido, ao longo do tempo, de forma considerável tanto a nível nacional quanto internacional em diferentes áreas de aplicação, tais como tratamento de água potável, efluentes domésticos e industriais, processos de branqueamento de celulose, descontaminação de alimentos, desinfecção de equipamentos, armazenamento de grãos, entre outros (MANCUSO e SANTOS, 2003; CAMPOS et al., 2005; FRANCO et al., 2008; ISIKBER e OZTEKIN, 2009).

2.2.1. Características físico-químicas do ozônio

O ozônio (O_3), forma triatômica do oxigênio, é um gás incolor, instável, muito reativo e tóxico. A molécula de ozônio possui o segundo maior potencial de oxidação entre os elementos químicos, sendo superada somente pela molécula do Flúor (F_2). Em condições normais de temperatura e pressão o ozônio é moderadamente solúvel em água: 13 vezes mais solúvel que o O_2 . É facilmente detectável em concentrações muito baixas, na faixa de 0,01 a 0,05 mg L⁻¹ (HILL e RICE, 1982).

O gás ozônio decompõe-se rapidamente a oxigênio (O_2). Sua velocidade de decomposição é fortemente dependente da pureza do solvente, diminuindo na presença de impurezas. Condensa-se a -112,4 °C, formando um líquido de cor azul, e congela a -193 °C, formando um sólido de cor violeta escuro. O ozônio em estado líquido pode

explodir facilmente por motivos de choques, faísca elétrica ou mudanças bruscas na temperatura e pressão (KUNZ et al., 1999).

Devido à instabilidade do ozônio, o que impede sua armazenagem, tornam-se necessárias sua geração no local e sua utilização em sistema de fluxo contínuo. Entre os diferentes processos utilizados para a geração de ozônio, o mais difundido é o método de descarga eletroquímica, conhecido como efeito corona, sendo atualmente utilizado em praticamente todos os geradores de ozônio disponíveis comercialmente, pois produz uma maior quantidade de ozônio com menor custo (KHADRE et al., 2001). Neste método, o ozônio é gerado pela passagem de ar atmosférico ou oxigênio puro entre dois eletrodos submetidos a uma elevada diferença de potencial elétrico de, aproximadamente, 10.000 V. Isto causa a dissociação do oxigênio, sendo a formação do ozônio consequência da recombinação de radicais livres de oxigênio, com moléculas de oxigênio presentes no sistema (METCALF e EDDY, 1991; KHADRE et al., 2001; GUZEL-SEYDIM et al., 2004).

No processo de aplicação do ozônio, deve-se ter especial atenção quanto ao local em que o gás será injetado, pois, dependendo deste local, as relações de concentração com o meio variarão, sendo necessário, portanto, o conhecimento de algumas propriedades (Quadro 1).

Quadro 1 – Propriedades físico-químicas e fatores de conversão para utilização do ozônio

Propriedades físico-químicas	
Estado físico	Gasoso
Massa molecular (g/mol)	48
Ponto de ebulição a 1 atm (°C)	- 112
Massa específica (kg m ⁻³)	2,14
Ponto de fusão (°C)	- 111,9
Temperatura crítica (°C)	- 12,1
Pressão crítica (atm)	54,6
Volume crítico (cm ³ mol ⁻¹)	111
Fatores de conversão	
Concentração de ozônio em água (massa)	1 mg L ⁻¹ = 1 ppm O ₃ = 1 g m ⁻³ O ₃
Concentração de ozônio em ar (volume)	1 g m ⁻³ O ₃ = 467 ppm O ₃ 1 ppm O ₃ = 2,14 mg m ⁻³ O ₃
Concentração de ozônio em ar (massa)	100 g m ⁻³ O ₃ = 7,8% O ₃ 1% O ₃ = 12,8 g m ⁻³ O ₃
Concentração de ozônio em oxigênio (massa)	100 g m ⁻³ O ₃ = 6,99% O ₃ 1% O ₃ = 14,3 g m ⁻³ O ₃

Fonte: HILL e RICE (1982); ROZADO (2005).

Em condições ambientais, o ozônio é um gás instável que possui odor característico, podendo ser facilmente detectado por um indivíduo em concentrações de 0,02 - 0,1 mg m⁻³. Os níveis máximos permissíveis e aceitáveis para uma exposição ao ozônio, segundo a Associação Americana de Higiene Industrial (AIHA) e a Administração de Saúde e Segurança Ocupacional (OSHA), são de 0,2 mg m⁻³ por 8 h diárias ou 0,6 mg m⁻³ por 10 min. A toxicidade do ozônio é um importante critério

para sua aprovação no ambiente de processamento de alimentos. Em seres humanos, o primeiro alvo é o trato respiratório, e os sintomas são dores de cabeça, vertigens, sensação de queimação dos olhos e garganta e tosse (WANG, 1993; GUZEL-SEYDIM et al., 2004).

No Brasil, a exposição ao gás ozônio segue as determinações do Ministério do Trabalho e Emprego, por meio da Norma Regulamentadora N° 15, aprovada e com redação dada pela portaria N° 3.214/78, que dispõe sobre os limites de tolerância do ozônio em atividades ou operações nas quais os trabalhadores ficam expostos. O limite do gás para trabalhos de até 48 horas semanais é de 0,16 mg m⁻³ (BRASIL, 1978).

2.2.2. Ozônio como fumigante

A utilização do ozônio na agricultura como fumigante ainda é restrita, embora ele venha sendo apontado como alternativa em potencial no controle de insetos-praga em grãos e subprodutos armazenados. Suas aplicações agrícolas incluem a preservação de legumes e frutas, o armazenamento de grãos, a descontaminação dos alimentos, a desinfecção de equipamentos em geral e de embalagens de alimentos, a degradação de pesticidas, a medicina veterinária e o branqueamento da celulose (GRAHAM, 1997; ROUNSAVILLE e RICE, 1997; BURTON, 2000; KHADRE e YOUSEF, 2001).

No armazenamento de grãos, o gás ozônio vem sendo estudado como alternativa no controle de insetos-praga (KELLS et al., 2001; PEREIRA et al., 2008; ROZADO et al., 2008; ISIKBER e OZTEKIN, 2009). Segundo CHIATTONE et al. (2008), o ozônio pode substituir o controle químico de insetos-praga e, dessa forma, evitar o uso de inseticidas como piretroides, organofosforados e fumigantes, como a fosfina (PH₃), os quais são nocivos ao organismo humano, quando ingeridos e manipulados em excesso.

Estudos relataram que o processo de ozonização em grãos apresenta duas fases distintas: na primeira, ocorre uma rápida decomposição do ozônio e movimentação

lenta através da massa de grãos. Na segunda fase, o ozônio flui livremente pelos interstícios dos grãos com baixa taxa de decomposição, pois, neste momento, os sítios ativos responsáveis pela sua decomposição estão saturados (STRAIT, 1998; KELLS et al., 2001). Segundo KELLS et al. (2001), a taxa de saturação depende da velocidade ou do fluxo de injeção do ozônio no meio. Quanto menor o fluxo de ozônio, maior será o período de exposição para alcançar o tempo de saturação. Além deste fator, ao aumentar a quantidade da massa de grãos um maior tempo levará para que se consiga atingir o tempo de saturação.

Durante o processo de fumigação, o gás ozônio se move ao longo da camada de grãos devido ao processo de difusão, e suas moléculas se deslocam através da massa de grãos, dos pontos de maior concentração para os de menor concentração, até atingir o equilíbrio. MENDEZ et al. (2003) afirmam que a taxa de penetração do gás ozônio na massa de grãos não é constante. Entre os fatores que afetam tal propriedade do gás, destacam-se o tempo de exposição, as propriedades do produto, o teor de água e a altura da coluna da massa do produto (KIM et al., 1999; RAILA et al., 2006).

2.2.3. Ozônio como sanitizante

O ozônio, por ser altamente reativo, é considerado um biocida, atuando na parede celular e membrana plasmática dos micro-organismos (KELLS et al., 2001; ZHANGGUI et al., 2003). Seu emprego como sanitizante foi utilizado por muito tempo apenas no tratamento de água visando à desinfecção e eliminação de odor, sabor e cor (SUFFET et al., 1986; EPA, 1999; KIM et al., 2003). Na Europa, desde 1983, ele é utilizado em estação de tratamento de água para o consumo humano. Nos Estados Unidos, apenas em 1982 o FDA, por considerá-lo substância GRAS, liberou seu uso no processo de lavagem de garrafas para comercialização de água (CHIATTONE et al., 2008). No entanto, o emprego como sanitizante na indústria de alimentos começou no início do século XX (KIM, 1999). Em 1997, o gás ozônio foi reconhecido oficialmente,

pelo EPRI (Electric Power Research Institute), como agente sanitizante seguro para indústria de alimentos e outros setores (GUZEL-SEYDIM et al., 2004). E em 2001, o ozônio foi liberado pelo FDA para uso direto em alimentos, tanto na forma gasosa quanto dissolvido em água, como agente antimicrobiano (FDA, 2001).

Atualmente, no Brasil, a aplicação do ozônio na indústria alimentícia com finalidade sanitizante é limitada, não havendo uma legislação específica para seu uso em alimentos (CHIATTONE et al., 2008).

Entre as substâncias desinfetantes mais empregadas na indústria de alimentos, o gás ozônio possui o maior poder de oxidação, superando inclusive, o peróxido de hidrogênio, o hipoclorito e o cloro (KIM et al., 1999) (Tabela 1).

Tabela 1 – Potencial relativo de oxidação de desinfetantes.

Substâncias Desinfetantes	Potencial de Oxidação (volts)	Potencial relativo de oxidação*
Ozônio (O ₃)	2,07	1,52
Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂)	1,77	1,30
Hipoclorito (ClO ⁻)	1,49	1,10
Cloro (Cl ₂)	1,36	1,00

* Baseado no cloro como referência (=1,00)
Fonte: OKTE (2009)

O ozônio, por exercer um forte efeito antimicrobiano (KIM et al., 1999; KHADRE et al., 2001), tem uma grande aplicabilidade na indústria de alimentos, sendo considerado um potente sanitizante. Sua aplicação na indústria alimentícia apresenta vantagens na higienização de alimentos (RESTIANO et al., 1995; ACHEN e YOUSEF, 2001; CAMPOS et al., 2005), no tratamento de água para reuso (MANCUSO e SANTOS, 2003), no tratamento de efluentes (ALMEIDA et al., 2004; FRANCO et al., 2008), na redução da demanda química e bioquímica de oxigênio, na redução de trihalometanos (THM's), na remoção de ferro e manganês solúveis e na remoção de gostos e odores indesejáveis (GUZEL-SEYDIM et al., 2004).

Outro aspecto importante da aplicação do gás ozônio em produtos agrícolas é a capacidade sanitizante desse gás em inibir ou retardar o desenvolvimento de fungos nas superfícies do produto (RAILA et al., 2006; WU et al., 2006), além de outros microorganismos, como vírus, protozoários e bactérias (KHADRE e YOUSEF, 2001; AGUAYO et al., 2006; ÖZTEKIN et al., 2006; WHANGCHAI et al., 2006).

As bactérias comumente encontradas em grãos de trigo e subprodutos como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* e *Salmonella* sp. (LOPES e FRANCO, 2006) foram sensíveis ao tratamento com água ozonizada sob diversas condições (BROADWATER et al., 1973; BURLESON et al., 1975; ISHIZAKE et al., 1986; FINCH et al., 1988; RESTAINO et al., 1995). Ao utilizar água ozonizada na concentração de 11,5 mg L⁻¹ na etapa de condicionamento dos grãos de trigo no processo de moagem, IBANOGLU (2001) verificou redução na população total de bactérias e de fungos filamentosos e leveduras.

2.2.4. Efeito residual do ozônio

O ozônio vem ganhando espaço no armazenamento e processamento de produtos agrícolas devido à sua degradação relativamente rápida, não deixando resíduos nos produtos alimentícios tratados (CHIATTONE et al., 2008). Segundo JAKSCH et al. (2004), o ozônio melhora a qualidade e realça o sabor da maioria dos alimentos perecíveis, pois oxida os pesticidas e neutraliza os gases de amônia e etileno produzidos durante os processos de amadurecimento e decomposição.

Ressalta-se, ainda, que o ozônio não reduz as características nutritivas dos cereais e não forma metabólitos prejudiciais à saúde de seres humanos e animais (KIM et al., 2003; MENDEZ et al., 2003; YOUNG et al., 2006).

MENDEZ et al. (2003) relataram que a farinha obtida de grãos ozonizados não apresentou diferença significativa na composição centesimal, como teor de cinzas e de proteínas, e no rendimento de moagem, quando comparada com a farinha de trigo não

ozonizada. Em outro trabalho, PAUL (2005) demonstrou que a ozonização dos grãos de trigo resultou em um produto final de melhor qualidade do ponto de vista comercial e tecnológico. A farinha obtida de grãos de trigo ozonizados apresentou propriedades tecnológicas próprias para aplicabilidade na panificação e na fabricação de bolachas, biscoitos e produtos de fermentação longa como a massa azeda.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Grãos de trigo, *Triticum* spp., foram adquiridos da Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (Coopadap) situada em São Gotardo, Minas Gerais. O processo de ozonização, as análises de qualidade físicas e fisiológicas dos grãos de trigo e as análises de qualidade físico-químicas da farinha de trigo foram realizadas no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A moagem dos grãos de trigo e as análises de qualidade reológicas da farinha de trigo foram realizadas no Laboratório de Moagem e de Reologia da empresa Vilma Alimentos, localizada em Contagem, MG. As análises microbiológicas dos grãos foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Microbiologia (DMB) da UFV.

3.1. Ozonização dos grãos de trigo

Grãos de trigo (7,5 kg) com 14,2 % base úmida (b.u.) de teor de água foram ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ com a finalidade de reduzir o tempo de saturação. Para cada concentração, foi estudada a cinética de reação do gás na massa de grãos por meio da determinação do tempo de saturação e da taxa de decomposição. Com os resultados obtidos de tempo de saturação, foram estabelecidos períodos de ozonização para cada concentração com a finalidade de avaliar o efeito residual do gás na qualidade física, fisiológica e microbiológica dos grãos e

físico-química e reológica da farinha de trigo obtida dos grãos ozonizados. Para comparação dos resultados grãos de trigo foram submetidos ao tratamento com ar atmosférico (controle) nas mesmas condições do tratamento com gás ozônio.

Os grãos foram acondicionados em seis recipientes cilíndricos de cloreto de polivinil (PVC) com 20 cm de diâmetro e 50 cm de altura (Figura 2). A 10 cm do fundo de cada recipiente inseriu-se um *plenum* (chapa perfurada) para a sustentação dos grãos. A injeção e exaustão do gás ozônio e do ar atmosférico foram feitas utilizando-se conexões nas tampas superiores e inferiores dos cilindros, respectivamente. Foram utilizados três recipientes cilíndricos para o ozônio (O₁, O₂ e O₃) e três para o ar atmosférico (A₁, A₂ e A₃). Tanto o ozônio quanto o ar atmosférico foram aplicados num fluxo de 2,0 L min⁻¹.



Figura 2 – Recipientes cilíndricos utilizados para ozonização dos grãos de trigo.

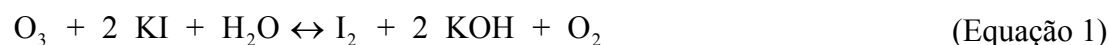
3.2. Obtenção do gás ozônio

O gás ozônio foi obtido por meio do gerador de ozônio O&LM, desenvolvido pela empresa Ozone & Life[®], São Paulo. No processo de geração do gás, foi utilizado como insumo oxigênio, isento de umidade, obtido pelo concentrador do próprio gerador de ozônio. Este oxigênio, no gerador, passou por um reator refrigerado, no qual ocorreu uma descarga por barreira dielétrica (DBD). Esta descarga foi produzida ao aplicar uma alta voltagem entre dois eletrodos paralelos, tendo entre eles um dielétrico (vidro) e um espaço livre por onde fluiu o ar seco. Neste espaço livre, foi produzida uma descarga em forma de filamentos, onde são gerados elétrons com energia suficiente para produzir a quebra das moléculas de oxigênio, formando o ozônio.

O gerador de ozônio O&LM possui duas saídas, uma por onde sai o ozônio gerado e outra por onde sai o ar atmosférico obtido por um compressor de ar acoplado ao equipamento. O ozônio e o ar atmosférico foram distribuídos uniformemente para os recipientes cilíndricos onde foram acondicionados os grãos de trigo.

3.3. Determinação da concentração residual de ozônio

A concentração do ozônio foi quantificada, utilizando-se o método iodométrico, pela titulação indireta conforme recomendado pela International Ozone Association (IOA). Este método, descrito por CLESCERL et al. (2000), consiste no borbulhamento do ozônio em uma solução de 50 mL de iodeto de potássio (KI) 1 N. Desta reação, ou seja, da oxidação do KI pelo ozônio (Equação 1), ocorre a liberação de iodo (I₂).



Para garantir a produção de I₂, o pH do meio foi reduzido pela adição da solução de 2,5 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 1 N. Posteriormente, foi realizada a titulação com tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃) 0,01 N até que a coloração amarela do iodo se apresentasse quase transparente. Em seguida, foi adicionado 1 mL de uma solução

indicadora de amido 1% e titulado até o desaparecimento da coloração azul. Devido à instabilidade do ozônio, a quantificação da sua concentração no meio foi realizada imediatamente após o borbulhamento.

3.4. Cinética de reação do ozônio na massa de grãos de trigo

Para determinar a cinética de reação, ou seja, o tempo de saturação e a taxa de decomposição, foi feita uma injeção do gás, nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, em uma massa de 7,5 kg de grãos de trigo. O tempo de saturação da massa de grãos de trigo pelo ozônio foi determinado pela quantificação da concentração residual do ozônio em intervalos de tempo regulares, até que ela se mantivesse praticamente constante.

A cinética de decomposição foi avaliada após a saturação dos grãos de trigo com o ozônio, quantificando-se a concentração residual do gás em intervalos de tempo durante os quais acontecia a decomposição do ozônio. Após cada intervalo, se estabelecia novamente a concentração de saturação. Esse procedimento foi repetido até que o ozônio residual se mantivesse praticamente constante. Os dados da concentração residual de ozônio em função do período de decomposição foram ajustados aos modelos cinéticos de ordem zero, de primeira e de segunda ordem (Tabela 2). A constante da taxa de decomposição (k) é dada pela inclinação da reta depois do ajuste dos modelos integrados e linearizados.

Tabela 2 – Modelos de cinética de decomposição

Ordem	Equação diferencial	Equação integrada e linearizada
0	$\frac{dC}{dt} = -k$	$C = C_0 - kt$
1	$\frac{dC}{dt} = -kC$	$\ln C = \ln C_0 - kt$
2	$\frac{dC}{dt} = -kC^2$	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + kt$

Fonte: WRIGHT, 2004

em que:

C = concentração do gás ozônio (mg L^{-1});

t = tempo (min);

k = constante da taxa de reação de decomposição (min^{-1});

C_0 = concentração do gás ozônio no tempo inicial (mg L^{-1}).

A partir dos valores da constante da taxa de decomposição foi possível determinar o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) do gás ozônio na massa de grãos de trigo conforme a Equação 2.

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

3.5. Avaliação das características físicas e fisiológicas dos grãos de trigo

Após o tratamento com o gás ozônio e o ar atmosférico (controle), em diferentes períodos de exposição, a massa de grãos de trigo foi homogeneizada em equipamento homogeneizador tipo quarteador (*Burrows Equipment company*) e então foram realizadas as análises físicas e fisiológicas dos grãos de trigo.

3.5.1. Teor de água

O teor de água dos grãos foi determinado pelo método-padrão da estufa, conforme as normas da ASAE (2000), que prescrevem a utilização de estufa com

circulação forçada de ar a 130 ± 1 °C durante 19 h, em 10 g de grãos de trigo. As pesagens foram feitas em balança com resolução de 0,01 g e as análises, em triplicata.

3.5.2. Peso hectolítrico

A determinação do peso hectolítrico (PH) foi feita em balança para peso específico, modelo Determinador de PH (DPH), fabricante *Dalle molle*, (Balanças Dalle Molle Ltda), de acordo com a metodologia descrita pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) em triplicata, e os resultados, expressos em kg hL^{-1} .

3.5.3. Germinação

O teste de germinação foi conduzido de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), em quatro repetições de 50 grãos, distribuídos sobre duas folhas de papel-toalha (papel-germitest), posteriormente, cobertos por mais uma folha do mesmo papel, umedecido com água destilada (volume de água igual a 2,5 vezes o peso do papel), a 25 °C. A contagem final foi feita aos oito dias, considerando-se as plântulas normais, e os dados foram expressos em percentagem média de germinação.

3.5.4. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da solução contendo os grãos de trigo foi determinada pelo “Sistema de copo” ou “Condutividade de massa” (VIEIRA e CARVALHO, 1994). O teste foi feito em triplicata de 50 grãos para todas as amostras, e as leituras, em medidor de condutividade elétrica da marca Tecnopeon, modelo CA-150, com ajuste para compensação da temperatura e eletrodo com constante da célula de $1 \mu\text{S cm}^{-1}$. O valor de condutividade fornecido pelo aparelho foi dividido pela massa (g) dos 50 grãos, obtendo-se o valor de condutividade elétrica expresso com base na massa seca da amostra em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

3.6. Condicionamento e moagem dos grãos de trigo

Grãos de trigo homogeneizados (5,0 kg), expostos ao gás ozônio e ao ar atmosférico, foram utilizados para etapa de condicionamento e posteriormente para etapa de moagem em farinha de trigo.

3.6.1. Condicionamento dos grãos de trigo

O processo de condicionamento foi conduzido segundo o método nº 26-10A da AACC (2000). Determinou-se o teor de água inicial dos grãos para o cálculo do volume de água a ser adicionado no trigo, tomando-se como base o teor de água final de 15 % b.u., conforme a Equação 3.

$$AAd = \frac{100 - TA_i}{100 - TA_f} - 1 \times Pa \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

- AAd = Água adicionada (mL);
- TA_i = Teor de água inicial (%);
- TA_f = Teor de água final (%);
- P_a = Peso da amostra (g).

Com base no volume de água calculado, os grãos foram umidificados em recipientes plásticos durante 18 h. A umidificação, na etapa de condicionamento dos grãos de trigo, foi feita com água destilada. Ao atingir o tempo de condicionamento, as amostras foram submetidas à moagem para obtenção de farinhas.

3.6.2. Moagem dos grãos de trigo

A moagem dos grãos de trigo expostos ao gás ozônio e ao ar atmosférico foi feita em moinho piloto modelo CD1, marca *Chopin*, conforme manual Trippet Renault – França (CHOPIN, 1998). No moinho, os grãos foram submetidos aos processos de quebra e redução, sendo realizada uma passagem pelo sistema de quebra e quatro passagens pelo sistema de redução. As farinhas obtidas de cada tratamento foram submetidas às análises físico-químicas e reológicas.

3.7. Avaliação das características físico-químicas e reológicas da farinha de trigo

3.7.1. Teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado segundo o método nº 923.03 da AOAC (1995). Amostras de 3,0 g de farinha foram pesadas em cadinho de porcelana, previamente padronizado em mufla a 550 °C, e colocada nela por, aproximadamente, 7 h a 550 °C. Após esse tempo, o cadinho foi retirado da mufla e transferido para o dessecador até atingir a temperatura ambiente e, em seguida, pesado. As análises foram feitas em triplicata.

3.7.2. Teor de proteína

O teor de proteína foi determinado pelo nitrogênio total, empregando-se a técnica Kjeldahl, de acordo com o método nº 920.87 da AOAC (1995), utilizando o fator 5,75 para a conversão em proteína bruta. A análise foi feita em duplicata.

3.7.3. Número de queda

O número de queda ou *falling number* foi determinado pelo uso do aparelho *Falling Number*, modelo 1500 *Fungal* (Perten Instruments, Suíça) de acordo com o método nº 56-81B da AACC (2000). Os resultados foram expressos em segundos. As análises foram feitas em duplicata.

3.7.4. Farinografia

A determinação da qualidade reológica da farinha pelo farinógrafo foi feita de acordo com o método nº 54-21 da AACC (2000), utilizando o farinógrafo *Brabender*. Os parâmetros empregados para interpretar o farinograma foram: absorção da água (ABS), tempo de desenvolvimento da massa (TDM), estabilidade da massa (EST) e índice de tolerância à mistura (ITM). As análises foram feitas em duplicata.

3.7.5. Extensografia

A determinação da qualidade da farinha pelo extensógrafo *Brabender* foi feita segundo o método nº 54-10 da AACC (2000), empregando-se os seguintes parâmetros para avaliação dos resultados: resistência à extensão (R), resistência máxima à extensão (R_{max}), extensibilidade (E) e energia (A). As análises foram feitas em duplicata.

3.8. Análises microbiológicas dos grãos de trigo

As análises microbiológicas nos grãos de trigo foram feitas em conformidade com a Instrução Normativa N° 62, de 26 de agosto de 2003 (BRASIL, 2003). Amostras de $25 \pm 0,2$ g de grãos de trigo foram homogeneizadas em 225 mL de solução salina peptonada 0,1% em homogeneizador *Stomacher*[®] (Laboratory blender 400, BA7021, Seward, Inglaterra). Diluições seriadas foram preparadas em salina esterilizada para as análises microbiológicas dos micro-organismos específicos.

3.8.1. *Bacillus cereus*

A presença de *B. cereus* foi verificada pela contagem de colônias típicas em ágar Manitol-gema de ovo-polimixina (MYP). O resultado foi expresso em Unidades Formadoras de Colônias por grama de amostra (UFC g⁻¹).

3.8.2. Coliformes totais e termotolerantes

A detecção de coliformes totais e termotolerantes foi feita pelo método do Número Mais Provável (NMP), pela técnica dos tubos múltiplos, com os testes presuntivo e confirmativo. O valor obtido foi expresso em Número Mais Provável por grama de amostra (NMP g⁻¹).

3.8.3. Fungos filamentosos e leveduras

A análise de fungos filamentosos e leveduras contaminantes dos grãos de trigo foi feita pela técnica de contagem em placas, em ágar Batata Dextrose acidificado (BDA). O resultado foi expresso em Unidades Formadoras de Colônias por grama de amostra (UFC g⁻¹).

3.8.4. *Salmonella* sp.

A análise para detecção de *Salmonella* sp. foi feita em 25 g da amostra por procedimentos de pré-enriquecimento, enriquecimento seletivo, isolamento e caracterização bioquímica e sorológica. O resultado de *Salmonella* sp. foi expresso em presença ou ausência em 25 g de grãos de trigo.

3.8.5. *Staphylococcus aureus*

A presença de *S. aureus* foi verificada pela contagem de colônias típicas em ágar Baird-Parker (BP). Os valores obtidos foram expressos em Unidades Formadoras de Colônias por grama de amostra (UFC g⁻¹).

3.9. Contaminação artificial dos grãos de trigo para processo de ozonização e avaliação do efeito sanitizante do ozônio

3.9.1. Contaminação artificial dos grãos de trigo com *Penicillium* sp.

A contaminação artificial dos grãos foi feita em seis amostras de 500 g de trigo acondicionadas em embalagens plásticas previamente esterilizadas. A essas amostras foram adicionados 100 mL da suspensão de conídeos de *Penicillium* sp., tendo sido homogeneizadas em movimentos circulares para garantia de uma contaminação mais homogênea. Toda a operação foi conduzida em cabine de segurança biológica com fluxo laminar. As amostras contaminadas foram incubadas em refrigeração (3 a 5 °C) para posterior processo de ozonização.

3.9.2. Ozonização dos grãos de trigo contaminados

Os grãos de trigo contaminados (500 g) foram acondicionados em sacos de organza para garantir a permeabilidade do ozônio e colocados na parte mediana dos recipientes cilíndricos contendo 7,0 kg de grãos. O processo de ozonização foi feito na concentração de 0,54 mg L⁻¹ em seu respectivo tempo de saturação. Para comparação dos resultados, grãos de trigo foram expostos ao ar atmosférico nas mesmas condições do tratamento com o gás ozônio. Os recipientes utilizados foram os mesmos descritos

anteriormente e o processo de ozonização foi conduzido nas mesmas condições descritas anteriormente.

3.9.3. Avaliação do efeito sanitizante do ozônio em grãos de trigo contaminados

Para avaliar o efeito sanitizante do gás ozônio nos grãos de trigo contaminados, o número de esporos viáveis foi determinado pela contagem de colônias na superfície de ágar BDA acidificado. Foram pesados, assepticamente, $25 \pm 0,2$ g de amostras de grãos contaminadas, expostas ao ar atmosférico (controle) e ao ozônio, e adicionados 225 mL de solução salina peptonada 0,1% homogeneizando por um minuto no equipamento *Stomacher*[®] (Laboratory blender 400, BA7021, Seward, Reino Unido). A contagem padrão de fungos filamentosos e leveduras foi feita por espalhamento em superfície inoculando alíquotas de 0,1 mL das diluições 10^{-2} e 10^{-3} em BDA acidificado com ácido tartárico a 10% para pH 3,5 com subsequente incubação a $25 \pm 1,0$ °C, por 7 dias, em câmara B.O.D. (BEUCHAT e COUSIN, 2001). O resultado foi expresso em termos de unidades formadoras de colônias por grama de amostra (UFC g⁻¹). A análise foi feita em duplicata.

3.10. Delineamento experimental e análises estatísticas

Os resultados experimentais de saturação da massa de grãos foram submetidos à análise de regressão *Linear Response Plateau* (L.R.P.) por meio do software SAEG 9.1 (Sistema para Análise Estatística e Genética) (SAEG, 2007). Na decomposição do gás na massa de grãos, o ajuste dos modelos de ordem zero, de primeira e de segunda ordem foi feito pela análise de regressão, utilizando como parâmetro de escolha o maior valor do coeficiente de determinação. O software SigmaPlot, versão 10.0, foi utilizado para a análise de regressão, bem como para a apresentação gráfica de dados (SPSS, 2006).

Para as análises referentes às características físicas e fisiológicas dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio e para as análises referentes às características físico-químicas e reológicas da farinha de trigo obtidas dos grãos de trigo

tratados ou não com o gás ozônio, foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (D.I.C.), com dois tratamentos para cada período de exposição e três repetições. A partir dos valores obtidos, foi feita análise de variância de regressão para cada tratamento em seus respectivos períodos de exposição. Os modelos foram escolhidos na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e adotando o nível de até 10% de probabilidade, no coeficiente de determinação e no fenômeno biológico. As análises estatísticas foram feitas através do software SAEG 9.1 (SAEG, 2007).

Os resultados da análise microbiológica foram comparados com dados da Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, do Regulamento Técnico sobre os Padrões Microbiológicos para Alimentos (BRASIL, 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cinética de reação do gás ozônio na massa de grãos de trigo

A Figura 3 apresenta as curvas referentes à concentração residual do ozônio em função do período de exposição ao gás, durante o processo de saturação da massa de grãos de trigo nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹. As equações que descrevem o comportamento da concentração residual do ozônio em função do período de exposição, durante o processo de saturação da massa de grãos de trigo, de acordo com a análise de regressão R.L.P, e os seus respectivos coeficientes de determinação (r²) encontram-se na Tabela 3.

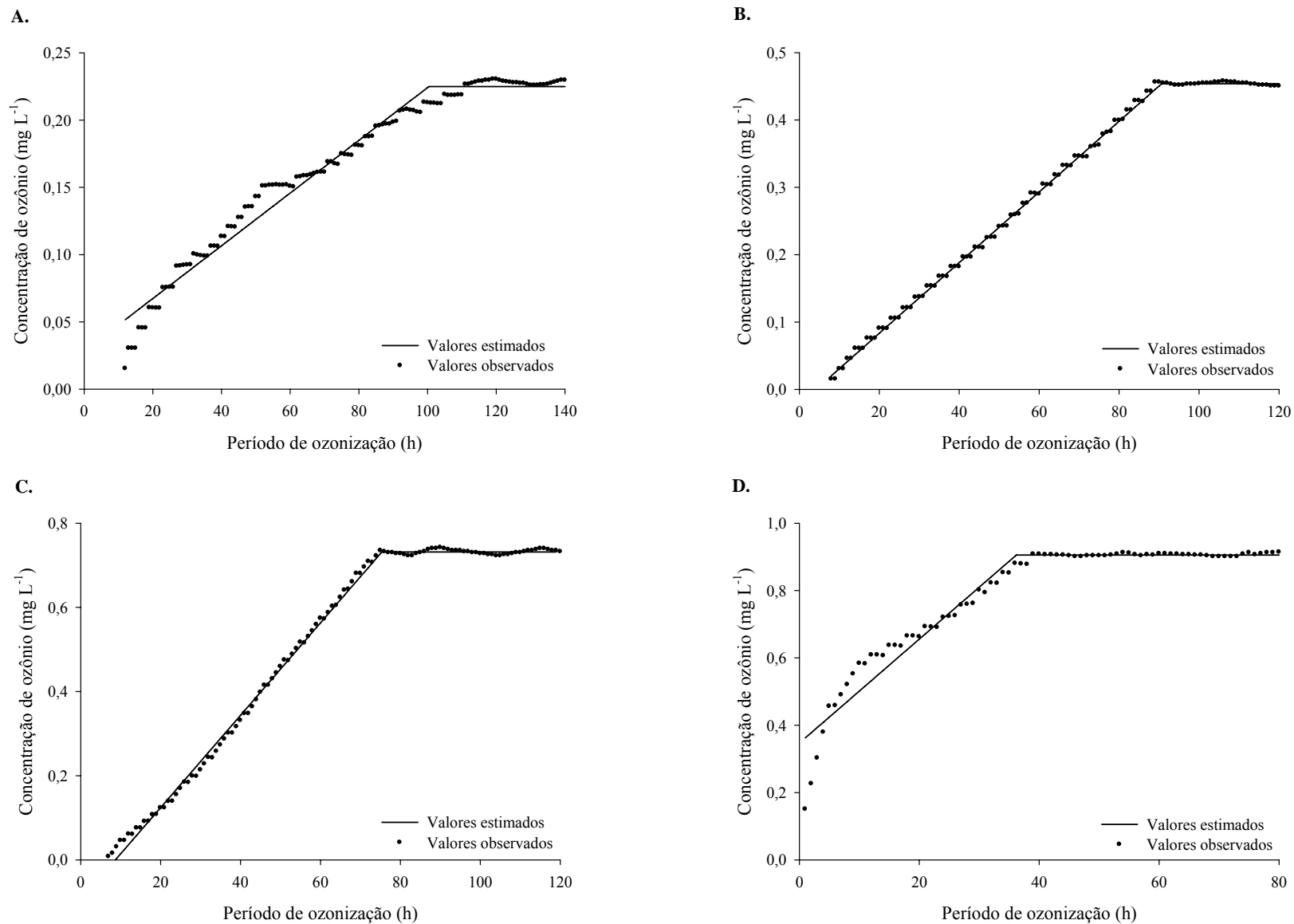


Figura 3 – Concentração residual do gás ozônio (mg L^{-1}) em função do período de ozonização (horas) durante o processo de saturação dos grãos de trigo nas concentrações 0,54 (A); 1,07 (B); 1,61 (C) e 2,14 (D) mg L^{-1} .

Tabela 3 – Equações de regressão R.L.P (*Linear Response Plateau*) ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (r^2), para concentração residual de ozônio (mg L^{-1}), durante o processo de saturação dos grãos de trigo nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L^{-1}

Concentração de ozônio (mg L^{-1})	Intervalo	Equações ajustadas	Coefficiente de determinação (r^2)
0,54	$12,00 \leq X_i \leq 100,40$	$\hat{y} = 0,0281 + 0,002X_i$	0,96
	$X_i > 100,40$	$\hat{y} = 0,23$	
1,07	$8,00 \leq X_i \leq 90,61$	$\hat{y} = -0,0217 + 0,005X_i$	0,99
	$X_i > 90,61$	$\hat{y} = 0,45$	
1,61	$7,00 \leq X_i \leq 75,36$	$\hat{y} = -0,0956 + 0,011X_i$	0,99
	$X_i > 75,36$	$\hat{y} = 0,73$	
2,14	$1,00 \leq X_i \leq 36,21$	$\hat{y} = 0,3470 + 0,015X_i$	0,88
	$X_i > 36,21$	$\hat{y} = 0,91$	

X_i = período de ozonização (h); \hat{y} = concentração residual de ozônio (mg L^{-1}).

Nos grãos de trigo ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L^{-1} , os tempos de saturação obtidos foram de 100, 90, 75 e 36 h e as concentrações residuais do ozônio, ou seja, as concentrações de saturação, foram de 0,23; 0,45; 0,73 e 0,91 mg L^{-1} , respectivamente. Esses valores obtidos da concentração de ozônio na saturação equivalem a 43, 42, 45 e 43 % da concentração inicial do gás injetada na massa de grãos (Figura 3). Observa-se que o percentual da concentração residual do gás ozônio em relação à

concentração inicial injetada na massa de grãos de trigo permaneceu entre 42 e 45 %. Ressalta-se, ainda, que as concentrações de saturação obtidas, independentemente das concentrações de ozônio injetadas na massa de grãos de trigo, foram superiores à dose letal de 50 ppm (equivalente a $0,11 \text{ mg L}^{-1}$) de ozônio utilizada por PEREIRA et al. (2007) e ROZADO et al. (2008) para insetos de grãos armazenados.

Diante dos resultados obtidos do tempo de saturação de 100, 90, 75 e 36 h para as concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ de ozônio, respectivamente, observou-se redução do tempo de saturação com o aumento da concentração de ozônio injetada na massa de grãos. Esta redução pode ser explicada pelo fato de o processo de ozonização de grãos apresentar duas fases distintas. Na primeira fase, ocorrem uma rápida decomposição do ozônio e uma movimentação lenta através da massa de grãos. Já na segunda fase, o ozônio flui livremente pelos interstícios dos grãos com baixa taxa de decomposição, pois, neste momento, os sítios ativos responsáveis pela sua decomposição estão saturados (STRAIT, 1998; KELLS et al., 2001).

A partir dos tempos de saturação, foram determinados os períodos de ozonização. Conforme KELLS et al. (2001), a interação entre a concentração e o período de exposição da massa de grãos é um fator que pode influenciar na eficácia do tratamento com ozônio. Dessa forma, foram determinados para a concentração de $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ os períodos de 80, 100 e 120 h; para concentração de $1,07 \text{ mg L}^{-1}$, os períodos de 70, 90 e 110 h; para concentração de $1,61 \text{ mg L}^{-1}$, os períodos de 55, 75 e 95 h; e para concentração de $2,14 \text{ mg L}^{-1}$, os períodos de 20, 40 e 60 h.

A taxa de saturação depende do fluxo de injeção do ozônio no meio e da massa de produto (KELLS et al., 2001). Quanto menor o fluxo de ozônio, maior o período de exposição para alcançar o tempo de saturação. Além disso, ao aumentar a quantidade de

massa do produto, maior tempo será necessário para que se consiga atingir a saturação. A este respeito, foi constatado que o tempo de saturação de uma massa de 1,0 kg de grãos de milho em um fluxo de aplicação do ozônio de $4,6 \text{ L min}^{-1}$ e concentração de 100 ppm (equivalente a $0,21 \text{ mg L}^{-1}$) foi de 70 min. (SANTOS et al., 2007). Ao ozonizar 1,0 kg de grãos de amendoim na concentração de $450 \mu\text{g L}^{-1}$ em um fluxo de $3,0 \text{ L min}^{-1}$, ALENCAR (2009) relatou que o tempo de saturação obtido foi de 192 min.

Os modelos cinéticos de decomposição ajustados a partir dos dados obtidos de concentração residual de ozônio em função do período de decomposição e seus respectivos coeficientes de determinação encontram-se na Tabela 4. A linearização do modelo de primeira ordem para as concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ está apresentada na Figura 4 por meio do gráfico do logaritmo neperiano (\ln) da concentração residual do ozônio em função do período de decomposição (min.).

Tabela 4 – Modelos cinéticos da decomposição do ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ e respectivos coeficientes de determinação (r²)

Concentração de ozônio (mg L ⁻¹)	Ordem	Equação diferencial	Equação integrada e linearizada	Coefficiente de determinação (r ²)
0,54	0	$\frac{dC}{dt} = -k$	$C = 151,97 - 4,25t$	0,71
	1	$\frac{dC}{dt} = -kC$	$\ln C = 5,13 - 0,080t$	0,96
	2	$\frac{dC}{dt} = -kC^2$	$\frac{1}{C} = -0,0066 + 0,0031t$	0,92
1,07	0	$\frac{dC}{dt} = -k$	$C = 199,18 - 5,61t$	0,53
	1	$\frac{dC}{dt} = -kC$	$\ln C = 5,36 - 0,083t$	0,95
	2	$\frac{dC}{dt} = -kC^2$	$\frac{1}{C} = -0,009 + 0,003t$	0,86
1,61	0	$\frac{dC}{dt} = -k$	$C = 438,03 - 12,79t$	0,68
	1	$\frac{dC}{dt} = -kC$	$\ln C = 6,26 - 0,108t$	0,97
	2	$\frac{dC}{dt} = -kC^2$	$\frac{1}{C} = -0,014 + 0,0031t$	0,86
2,14	0	$\frac{dC}{dt} = -k$	$C = 713,19 - 18,27t$	0,77
	1	$\frac{dC}{dt} = -kC$	$\ln C = 6,64 - 0,061t$	0,94
	2	$\frac{dC}{dt} = -kC^2$	$\frac{1}{C} = 0,0004 + 0,0003t$	0,92

t = período de decomposição (min); C = concentração residual de ozônio (µg L⁻¹).

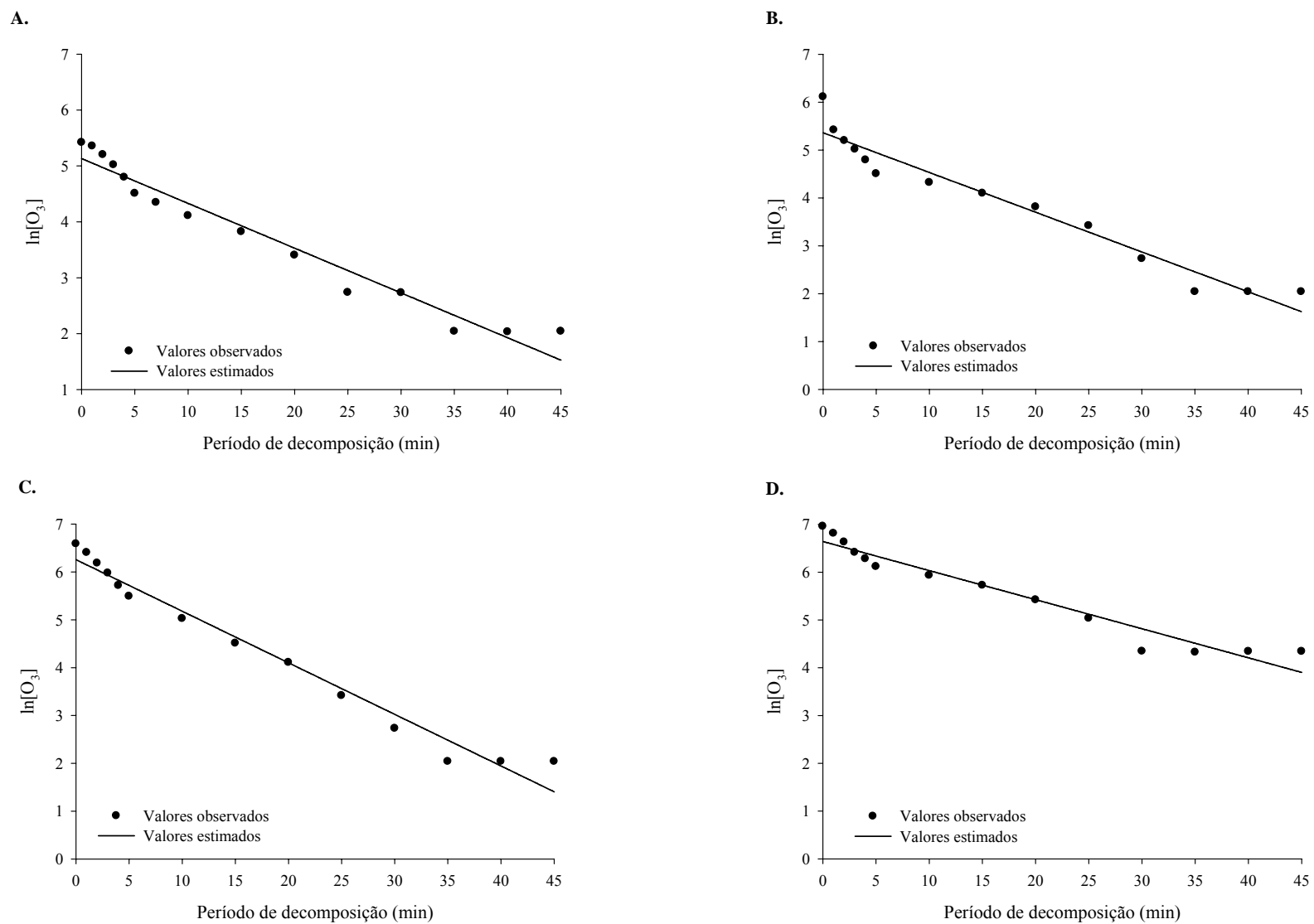


Figura 4 – Modelo cinético de primeira ordem ajustado aos dados observados de concentração residual de ozônio, após saturação dos grãos de trigo ozonizados nas concentrações de 0,54 (A); 1,07 (B); 1,61 (C) e 2,14 (D) mg L⁻¹.

No que tange aos modelos cinéticos, verificou-se que o de primeira ordem, na forma linearizada, obteve o melhor grau de ajuste para todas as concentrações, devido ao maior coeficiente de determinação (Tabela 4). Na Figura 4, observa-se pela relação linear entre o logaritmo neperiano da concentração e o período de decomposição que o decréscimo na concentração residual de ozônio é inversamente proporcional ao aumento do período de decomposição. Considerando que essa redução é atribuída ao mecanismo de decomposição, esta relação indica o quanto o gás ozônio está sendo decomposto na massa de grãos de trigo durante a ozonização. Segundo WRIGHT (2004), uma boa relação linear de dados experimentais traçados com o logaritmo neperiano da concentração em função de um período fornece uma evidência de que o mecanismo é de primeira ordem, em que o módulo da inclinação da reta corresponde à constante da taxa de decomposição (k) e o intercepto corresponde ao logaritmo neperiano da concentração inicial ($\ln [C]_0$). Dessa forma, verifica-se que os valores da taxa de decomposição (k) foram de 0,080; 0,083; 0,108 e 0,061 min^{-1} para concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L^{-1} , respectivamente. O sinal negativo observado no modelo de primeira ordem para a constante k confirma a decomposição do ozônio.

O modelo cinético de primeira ordem tem sido utilizado para determinar a constante da taxa de decomposição do ozônio em diferentes produtos. Ao ozonizar grãos de milho na temperatura de 25 °C e na concentração de 100 ppm (equivalente a 0,21 mg L^{-1}), SANTOS et al. (2007) relataram que a constante da taxa de decomposição foi de 0,1243 min^{-1} . Já ALENCAR (2009) encontrou uma constante da taxa de decomposição de 0,094 min^{-1} em grãos de amendoim ozonizados na concentração de 450 $\mu\text{g L}^{-1}$ na temperatura de 25 °C.

Os resultados apresentados de cinética de decomposição assim como os de tempo de saturação sugerem que o processo de ozonização exibe comportamento distinto de acordo com o tipo de grão, massa do produto, concentração e fluxo de

ozônio. A este respeito, KIM et al. (1999) e RAILA et al. (2006) relataram que, entre os fatores que afetam a cinética do gás ozônio, destacam-se o tempo de exposição, as propriedades do produto, a temperatura, o teor de água, a altura da coluna da massa do produto, a concentração e o fluxo do gás injetado.

Em relação ao tempo de meia vida do ozônio na massa de grãos de trigo foram encontrados valores de 8,7; 8,4; 6,4 e 11,4 min. nos tratamentos com as concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente. A concentração de ozônio na massa de grãos, no tempo de meia vida, é a metade da concentração inicial injetada, revertendo-se e a outra metade novamente em oxigênio. Comparativamente, SANTOS et al. (2007) e ALENCAR et al. (2009) obtiveram tempo de meia vida igual 5,6 e 7,4 min. para 1,0 kg de grãos de milho e de amendoim, respectivamente. Verifica-se que estes valores do tempo de meia vida para grãos de milho e amendoim foram inferiores aos obtidos para os grãos de trigo, com exceção do tempo de meia vida referente à concentração de 1,61 mg L⁻¹. Essa diferença pode ser atribuída às características físicas e químicas de cada produto.

4.2. Caracterização dos grãos de trigo e da sua farinha antes do tratamento com o gás ozônio

Os resultados referentes à caracterização dos grãos e da farinha de trigo antes do tratamento com o gás ozônio estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados das análises dos grãos de trigo e da farinha antes do tratamento com o gás ozônio

Análises	Valor
Teor de água (% b.u.)	14,2
Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)	77,9
Germinação (%)	98,0
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$)	18,2
Teor de cinzas (% b.s.)*	0,50
Teor de proteína (% b.s.)	13,6
Número de queda (s)	310,5
Absorção de água (%)	62,0
Estabilidade da massa (min)	7,5
Tempo de desenvolvimento da massa (min)	5,9
Índice de tolerância à mistura (U.F.)**	45,0
Resistência à extensão (U.E.)***	297,5
Resistência máxima à extensão (U.E.)	327,5
Extensibilidade (mm)	135,5
Energia (cm ²)	60,2

* b.s. – base seca, ** U.F. – Unidade Farinográfica e *** U.E. – Unidade extensográfica.

4.3. Avaliação das características físicas e fisiológicas dos grãos de trigo

4.3.1. Características físicas dos grãos de trigo

Os resultados referentes ao teor de água e ao peso hectolítrico dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios referentes ao teor de água e ao peso hectolétrico dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio, nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição (PE)

Tratamento	PE (h)	Teor de água (% b.u.)		Peso hectolétrico (kg hL ⁻¹)	
		Controle	Ozônio	Controle	Ozônio
0,54 mg L ⁻¹	80	14,3a	14,2a	77,4a	77,0a
	100	13,7a	13,6a	76,5a	76,4a
	120	13,5a	13,4a	75,6a	75,1a
1,07 mg L ⁻¹	70	14,2a	14,2a	77,9a	77,8a
	90	13,4a	13,3a	77,2a	76,8a
	110	13,0a	12,9a	76,0a	76,0a
1,61 mg L ⁻¹	55	13,3a	13,3a	78,1a	78,1a
	75	13,0a	12,9a	77,9a	77,8a
	95	12,6a	12,5a	77,7a	77,6a
2,14 mg L ⁻¹	20	13,3a	13,2a	78,1a	78,0a
	40	13,1a	13,0a	77,9a	77,6a
	60	12,9a	12,9a	77,1a	76,9a

* Médias seguidas com a mesma letra, na linha para cada variável, não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5 % de significância.

A análise de variância do teor de água e do peso hectolétrico, ao nível de 5 % de probabilidade, indicou que não houve diferença significativa entre os tratamentos com o ar atmosférico e com o gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ em seus respectivos períodos de exposição. Resultados semelhantes foram obtidos por PEREIRA et al. (2007) em grãos de milho ozonizados na concentração de 50 ppm (equivalente a 0,11 mg L⁻¹) por 168 h. Esses autores relataram que não ocorreu variação significativa do teor de água e do peso hectolétrico dos grãos de milho ozonizados quando comparados aos grãos tratados com ar atmosférico.

A análise de regressão dos dados permitiu o ajuste de equações lineares em função do período de exposição para o teor de água e para o peso hectolítrico dos grãos expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio, em todas as concentrações. O teor de água dos grãos de trigo foi reduzido significativamente com o aumento do período de exposição ao ozônio, sendo esta redução de 0,0195; 0,0325; 0,02 e 0,0088 para cada 1 h de variação, nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,0192; 0,03; 0,0175 e 0,01 para cada 1 h de variação, nos grãos do tratamento controle (Figura 5). Os modelos ajustados para o teor de água dos grãos tratados com o gás ozônio e com o ar atmosférico estão apresentados na Tabela 7. Também foi observada redução significativa do peso hectolítrico dos grãos de trigo com o aumento do período de exposição, tendo sido esta redução de 0,0484; 0,0432; 0,0132 e 0,0298 para cada 1 h de variação, nos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,0456; 0,0476; 0,0105 e 0,0250 para cada 1 h de variação, nos grãos do tratamento controle (Figura 6 e Tabela 7).

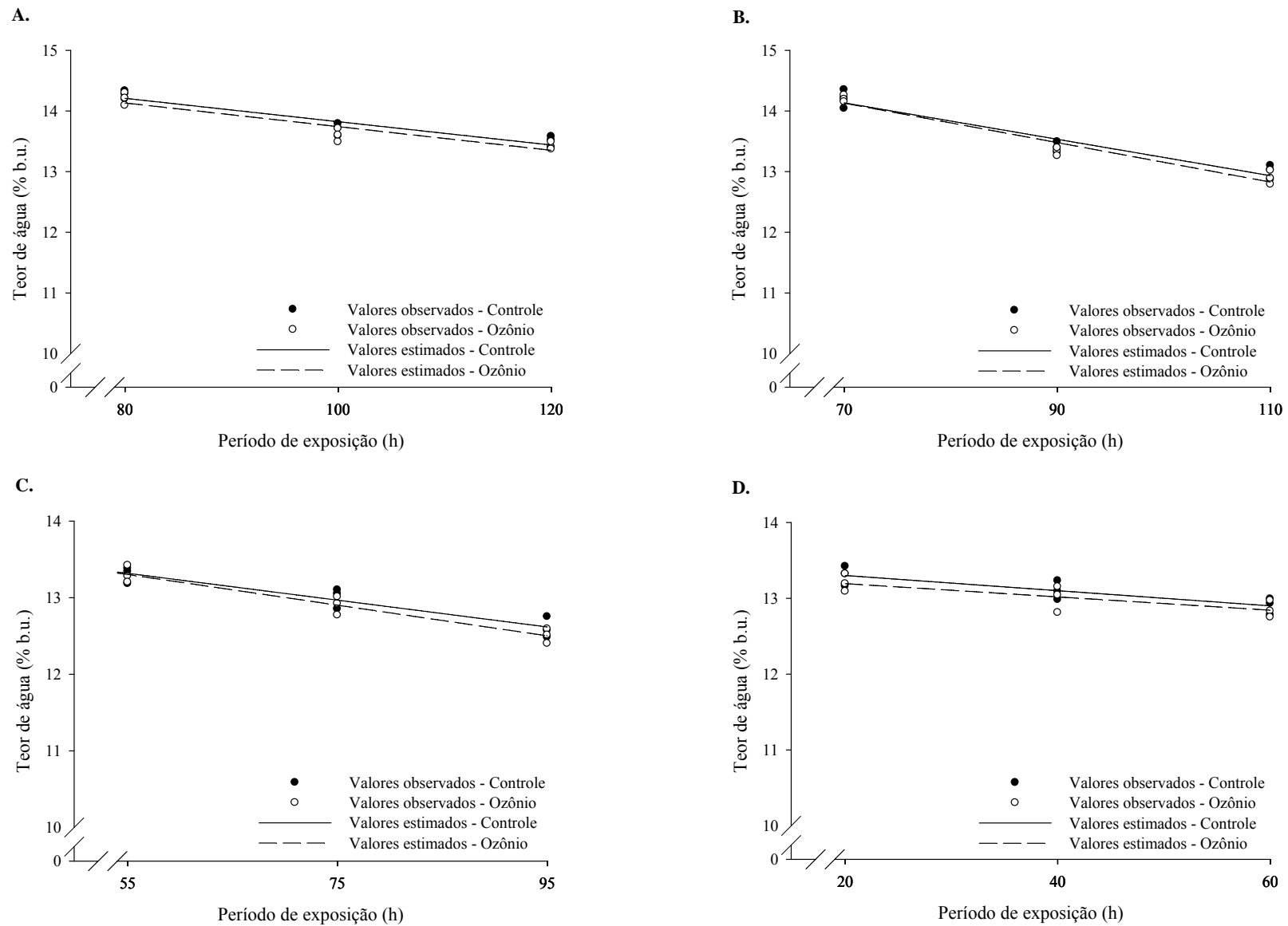


Figura 5 – Valores estimados e observados do teor de água dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações 0,54 (A); 1,07 (B); 1,61 (C); 2,14 (D) mg L⁻¹, em diferentes períodos de exposição.

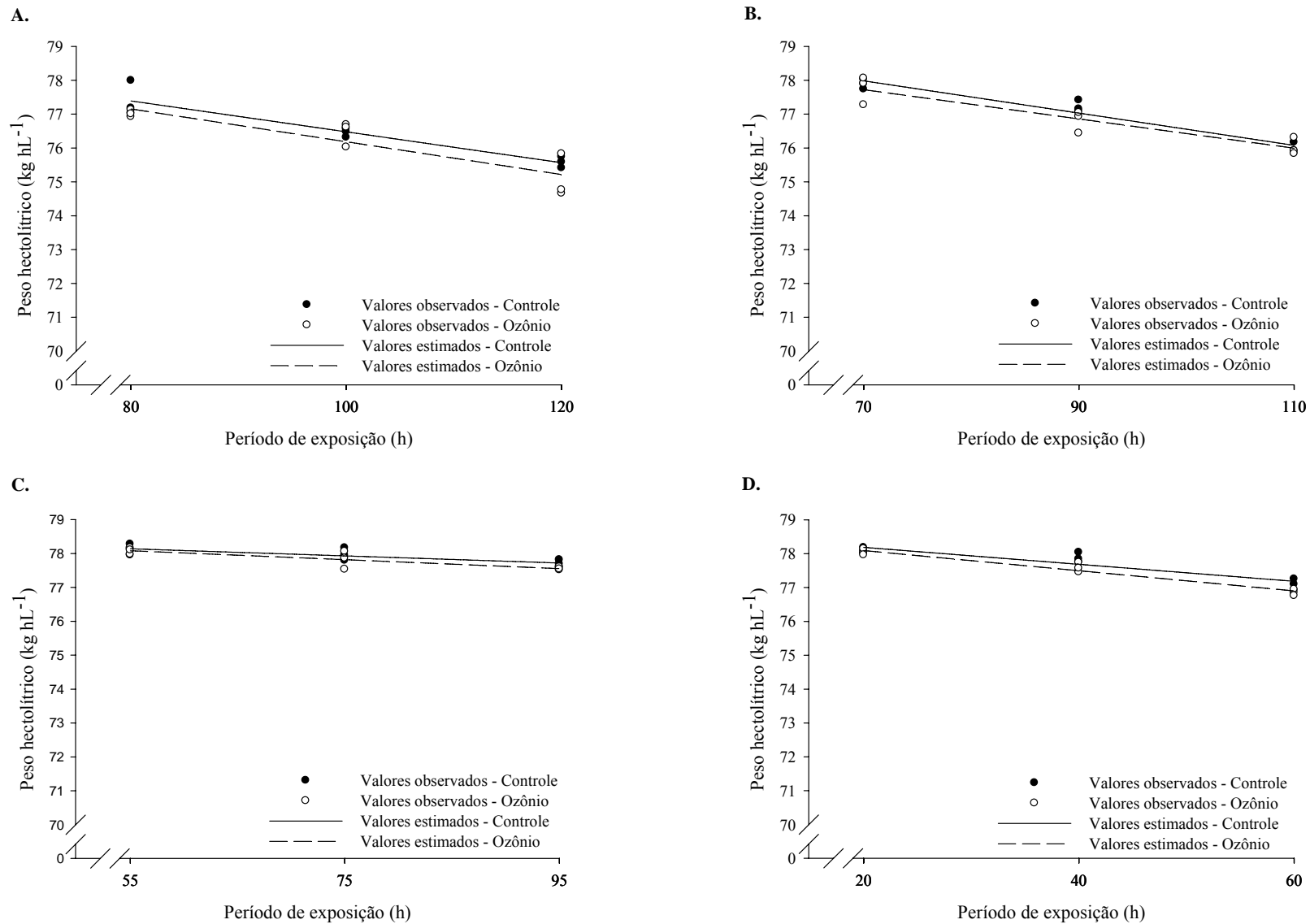


Figura 6 – Valores estimados e observados do peso hectolétrico dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54 (A); 1,07 (B); 1,61 (C); 2,14 (D) mg L⁻¹, em diferentes períodos de exposição.

Tabela 7 – Equações de regressão ajustadas para as características físicas do teor de água (TA) e do peso hectolítrico (PH) dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição (PE) e seus respectivos coeficientes de determinação (r²)

Tratamento	Teor de água (% b.u.)	r ²	Peso Hectolítrico (kg hL ⁻¹)	r ²
Controle	$\bar{T}A = 15,7483 - 0,0192^{**} PE$	0,89	$\bar{P}H = 81,0397 - 0,0456^{**} PE$	0,89
0,54 mg L ⁻¹	$\bar{T}A = 15,69 - 0,0195^{**} PE$	0,87	$\bar{P}H = 81,0227 - 0,0484^{**} PE$	0,80
Controle	$\bar{T}A = 16,2333 - 0,03^{**} PE$	0,93	$\bar{P}H = 81,3184 - 0,0476^{**} PE$	0,94
1,07 mg L ⁻¹	$\bar{T}A = 16,4017 - 0,0325^{**} PE$	0,97	$\bar{P}H = 80,745 - 0,0432^{**} PE$	0,87
Controle	$\bar{T}A = 14,2792 - 0,0175^{**} PE$	0,88	$\bar{P}H = 78,7166 - 0,0105^{*} PE$	0,63
1,61 mg L ⁻¹	$\bar{T}A = 14,4 - 0,02^{**} PE$	0,93	$\bar{P}H = 78,8051 - 0,0132^{**} PE$	0,72
Controle	$\bar{T}A = 13,5 - 0,01^{**} PE$	0,73	$\bar{P}H = 78,6882 - 0,025^{**} PE$	0,84
2,14 mg L ⁻¹	$\bar{T}A = 13,3667 - 0,0088^{*} PE$	0,62	$\bar{P}H = 78,6846 - 0,0298^{**} PE$	0,95

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t” e * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.

A redução do teor de água dos grãos com o aumento do período de exposição, independentemente da exposição ao ar atmosférico ou ao gás ozônio nas diferentes concentrações, pode ser explicada pela utilização do oxigênio isento de umidade, como insumo na geração do ozônio e do ar atmosférico no tratamento controle (Figura 5). A perda de água durante o processo de ozonização se deve ao equilíbrio higroscópico entre os grãos de trigo e o meio (ar atmosférico ou ozônio). O teor de água de equilíbrio é alcançado quando a pressão parcial de vapor de água no produto se iguala à do ar que o envolve (CORRÊA et al., 2005). Resultados semelhantes foram obtidos por ALENCAR (2009) em grãos de amendoim ozonizados nas concentrações de 13 e 21 mg L⁻¹, por 96 h. Esse autor também observou redução do teor de água com o aumento do período de exposição.

A redução do peso hectolítrico dos grãos (Figura 6), independentemente da exposição ao ar atmosférico ou ao gás ozônio, está em acordo com os resultados observados do teor de água, tendo também ocorrido redução com o aumento do período de exposição (Figura 5). A este respeito, POMERANZ et al. (1986) relataram que o peso hectolítrico pode ser reduzido pela secagem e por situações de estresse ao produto. O peso hectolítrico, medida tradicional de comercialização em vários países, é considerado um importante fator de qualidade na indústria moageira. Seu valor pode ser influenciado pela uniformidade, densidade, forma, tamanho, teor de matérias estranhas e grãos quebrados na amostra, além do teor de água (RIBEIRO, 2009). Esse autor relatou, ainda, que valores baixos do peso hectolítrico em grãos de trigo indicam baixo rendimento no processo de moagem e, conseqüentemente, qualidade inferior da farinha.

Todavia, os resultados obtidos do peso hectolítrico dos grãos de trigo ozonizados ou tratados com o ar atmosférico situaram-se dentro do padrão de identidade e qualidade estabelecido pela Instrução Normativa n° 38 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2010). Segundo essa instrução normativa,

os grãos de trigo foram enquadrados no tipo 2 (valor mínimo de 75 kg hL⁻¹). Exceção se fez nos grãos tratados com as concentrações de 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ nos períodos de 55 e 20 h, respectivamente, que foram enquadrados como tipo 1 (valor mínimo de 78 kg hL⁻¹). A classificação dos grãos de trigo após tratamento com o gás ozônio, independentemente da concentração e do período de exposição, manteve-se na tipificação estabelecida para os grãos do tratamento controle.

4.3.2. Características fisiológicas dos grãos de trigo

Os resultados referentes à germinação e à condutividade elétrica dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores médios referente à germinação e à condutividade elétrica grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio, nas concentrações 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ nos diferentes períodos de exposição (PE)

Tratamento	PE (h)	Germinação (%)		Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	
		Controle	Ozônio	Controle	Ozônio
0,54 mg L ⁻¹	80	97,0a	95,5a	18,7a	18,9a
	100	96,0a	92,5b	18,8b	19,6a
	120	95,0a	91,0b	19,1b	20,0a
1,07 mg L ⁻¹	70	97,5a	94,8a	18,9a	19,1a
	90	95,0a	82,5b	19,0b	19,8a
	110	94,0a	82,0b	19,4b	20,2a
1,61 mg L ⁻¹	55	95,0a	90,0a	18,0a	18,2a
	75	94,0a	82,0b	18,1b	18,9a
	95	92,0a	79,0b	18,6b	19,4a
2,14 mg L ⁻¹	20	98,0a	74,0b	17,0b	18,9a
	40	95,5a	72,0b	17,5b	19,3a
	60	95,0a	68,5b	18,2b	20,0a

* Médias seguidas com a mesma letra, na linha para cada variável, não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5 % de significância.

A germinação e a condutividade elétrica dos grãos de trigo apresentaram variação significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos com o ar atmosférico e com o gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, com exceção das concentrações de 0,54; 1,07 e 1,61 mg L⁻¹, nos períodos de 80, 70 e 55 h, respectivamente. Observou-se, ainda, que os valores da germinação do trigo expostos ao ozônio foram inferiores ao controle, enquanto os valores de condutividade elétrica foram superiores.

Os menores valores da germinação e os maiores valores da condutividade elétrica encontrados nos grãos de trigo ozonizados provavelmente foram ocasionados pelas concentrações utilizadas do gás ozônio (0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹). Consta

em estudo anterior que grãos germinados ou em vias de germinar apresentam atividade amilásica extremamente elevada, o que reduz a qualidade da farinha produzida, dificultando ou até mesmo impedindo o processo de panificação (MANDARINO, 1993). Com isso, pode-se inferir que a redução da germinação e o aumento da condutividade elétrica dos grãos tratados com ozônio podem ser um fator que eleva o valor qualitativo dos grãos, visando à indústria moageira.

A análise de regressão dos dados de germinação e condutividade elétrica dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio em todas as concentrações permitiu o ajuste de modelos lineares em função do período de exposição. A germinação dos grãos foi reduzida, significativamente, com o aumento do período de exposição nos respectivos intervalos de tempo, tendo sido esta redução de 0,1125; 0,275; 0,275; e 0,1375 para cada 1 h de variação, nos grãos de trigo ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,05; 0,10; 0,075 e 0,075 para cada 1 h de variação, nos grãos do tratamento controle (Figura 7 e Tabela 9). A condutividade elétrica aumentou com o aumento do período de exposição em 0,0286; 0,0275; 0,0312 e 0,0277 para cada 1 h de variação, nos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,0118; 0,0132; 0,0148 e 0,030 para cada 1 h de variação, nos grãos tratados com ar atmosférico (Figura 8 e Tabela 9).

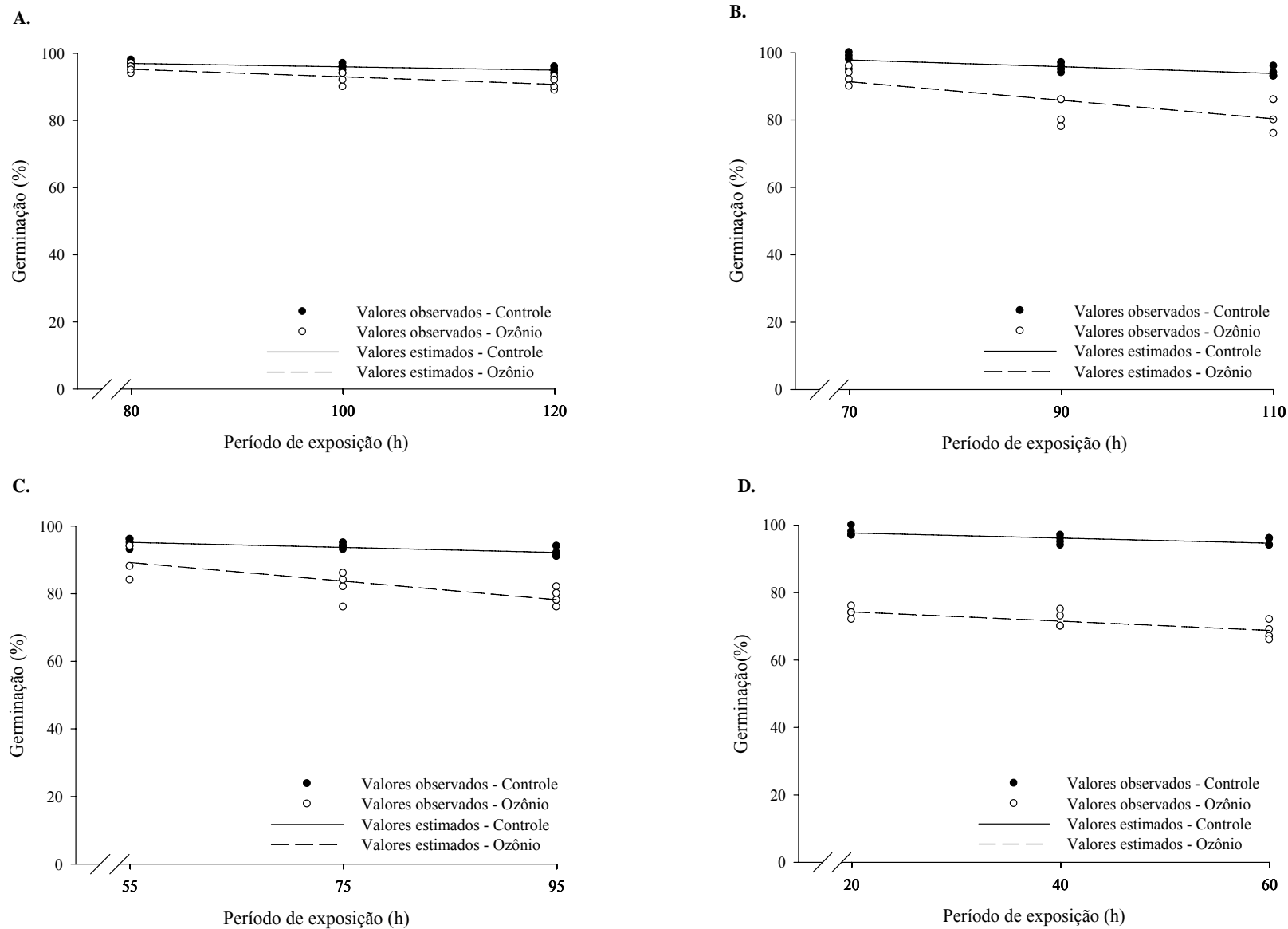


Figura 7 – Valores estimados e observados da germinação dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54 (A); 1,07 (B); 1,61 (C); 2,14 (D) mg L⁻¹, em diferentes períodos de exposição.

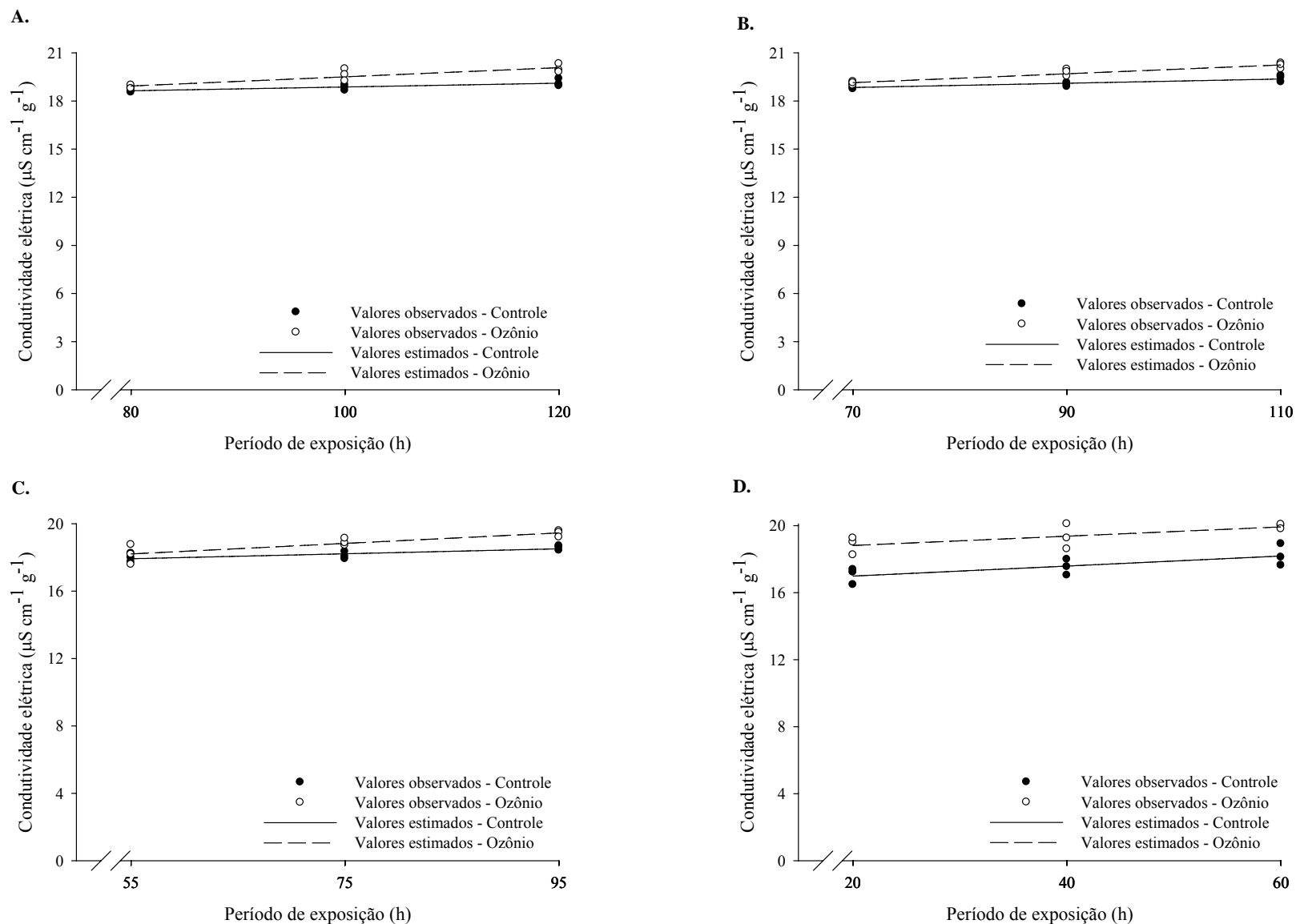


Figura 8 – Valores estimados e observados da condutividade elétrica dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54 (A); 1,07 (B); 1,61 (C); 2,14 (D) mg L⁻¹, em diferentes períodos de exposição.

Tabela 9 – Equações de regressão ajustadas para as características fisiológicas de germinação (GE) e condutividade elétrica (CE) dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição (PE), e seus respectivos coeficientes de determinação (r²)

Tratamento	Germinação (%)	r ²	Condutividade Elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)	r ²
Controle	$\bar{G}E = 101,0 - 0,05^{**} PE$	0,57	$\bar{C}E = 17,6874 + 0,0118 * PE$	0,62
0,54 mg L ⁻¹	$\bar{G}E = 104,25 - 0,1125^{**} PE$	0,60	$\bar{C}E = 16,6461 + 0,0286^{**} PE$	0,79
Controle	$\bar{G}E = 104,8333 - 0,10^{**} PE$	0,55	$\bar{C}E = 17,9108 + 0,0132^{**} PE$	0,69
1,07 mg L ⁻¹	$\bar{G}E = 110,5833 - 0,275^{**} PE$	0,54	$\bar{C}E = 17,2155 + 0,0275^{**} PE$	0,89
Controle	$\bar{G}E = 99,2917 - 0,075^{**} PE$	0,55	$\bar{C}E = 17,1085 + 0,0148 * PE$	0,61
1,61 mg L ⁻¹	$\bar{G}E = 104,2917 - 0,275^{**} PE$	0,60	$\bar{C}E = 16,4924 + 0,0312^{**} PE$	0,73
Controle	$\bar{G}E = 99,1667 - 0,075^{**} PE$	0,50	$\bar{C}E = 16,3936 + 0,03 * PE$	0,55
2,14 mg L ⁻¹	$\bar{G}E = 77,0 - 0,1375^{**} PE$	0,56	$\bar{C}E = 18,2658 + 0,0277 * PE$	0,52

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t” e * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.

O comportamento da condutividade elétrica dos grãos de trigo ozonizados nas diferentes concentrações (Figura 8) está em acordo com os resultados de germinação apresentados na Figura 7. Grãos com maiores valores de condutividade elétrica apresentam maiores taxas de degradação da membrana celular e, conseqüentemente, menor percentual de germinação (VIEIRA e KRZYZANOWSKI, 1999). A condutividade elétrica está diretamente ligada à integridade da membrana celular e à qualidade fisiológica dos grãos; células danificadas e membranas mal estruturadas estão relacionadas ao processo de deterioração (HESLEHURST, 1988).

Resultados semelhantes foram obtidos por ROZADO et al. (2008) para grãos de milho ozonizados na concentração de 50 ppm (equivalente a $0,11 \text{ mg L}^{-1}$) por 264 h. Esses autores relataram que o percentual de germinação apresentou valores menores e que a condutividade elétrica aumentou significativamente quando comparados àqueles tratados com ar atmosférico.

4.4. Avaliação das características físico-químicas e reológicas da farinha de trigo

4.4.1. Características físico-químicas da farinha de trigo

Os resultados referentes ao teor de cinzas, teor de proteína e número de queda da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L^{-1} em diferentes períodos de exposição, estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores médios das análises físico-químicas da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio, nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição (PE)

Tratamento	PE (h)	Teor de cinzas		Teor de proteína		Número de queda	
		(% b.s.)		(% b.s.)		(s)	
		Controle	Ozônio	Controle	Ozônio	Controle	Ozônio
0,54 mg L ⁻¹	80	0,50a	0,52a	13,7a	13,4a	302,0a	308,5a
	100	0,53a	0,53a	13,3a	13,1a	314,0a	315,5a
	120	0,60a	0,60a	12,5a	12,3a	317,0a	320,0a
1,07 mg L ⁻¹	70	0,50a	0,53a	13,8a	13,6a	301,5a	310,0a
	90	0,60a	0,59a	12,8a	12,6a	319,0a	322,0a
	110	0,60a	0,60a	12,3a	12,2a	328,5a	336,5a
1,61 mg L ⁻¹	55	0,50a	0,53a	13,5a	13,2a	317,5a	322,0a
	75	0,53a	0,53a	12,9a	12,9a	328,5a	329,0a
	95	0,60a	0,60a	12,5a	12,4a	330,5a	334,0a
2,14 mg L ⁻¹	20	0,40a	0,46a	13,5a	13,2a	321,0a	325,5a
	40	0,53a	0,53a	12,5a	12,5a	325,0a	326,5a
	60	0,60a	0,60a	12,3a	12,2a	335,0a	337,5a

* Médias seguidas com a mesma letra, na linha para cada variável, não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5 % de significância.

A análise de variância do teor de cinzas, teor de proteína e número de queda indicou que não houve diferença estatística entre a farinha de trigo obtida dos grãos ozonizados em diferentes concentrações e períodos de exposição e a farinha de trigo obtida dos grãos do tratamento controle.

Resultados semelhantes foram encontrados por IBANOGLU (2001) em farinhas de trigo obtidas de grãos tratados na etapa de condicionamento com água ozonizada na concentração de $11,5 \text{ mg L}^{-1}$. Esse autor verificou que o tratamento utilizado não afetou o teor de cinzas, o teor de proteína e o número de queda da farinha de trigo obtida destes grãos. Em outro trabalho, MENDEZ et al. (2003) relataram que a farinha obtida de grãos ozonizados na concentração de 50 ppm (equivalente a $0,11 \text{ mg L}^{-1}$), por um período de 30 dias, não apresentou diferenças significativas no teor de cinzas e de proteínas quando comparada com a farinha de trigo não ozonizada.

O comportamento do teor de cinzas, teor de proteína e número de queda da farinha de trigo obtida dos grãos tratados com o ar atmosférico e com o gás ozônio, nas diferentes concentrações, em função do período de exposição, encontra-se nas Figuras 9, 10 e 11, respectivamente. A análise de regressão dos dados permitiu o ajuste de equações lineares (Tabela 11) para todas as características físico-químicas da farinha em ambos os tratamentos.

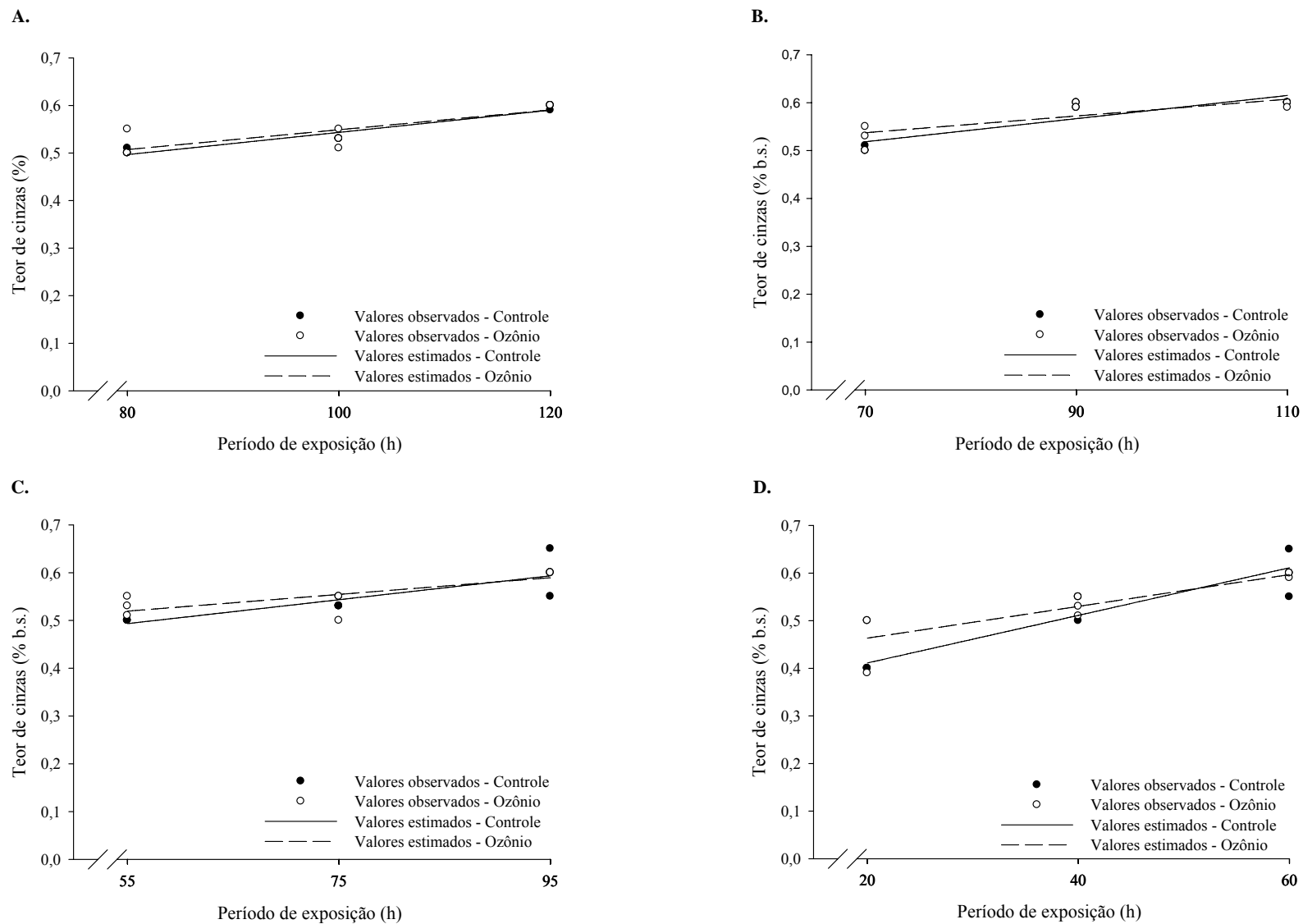


Figura 9 – Valores estimados e observados do teor de cinzas da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54 (A); 1,07 (B); 1,61 (C); 2,14 (D) mg L⁻¹, em diferentes períodos de exposição.

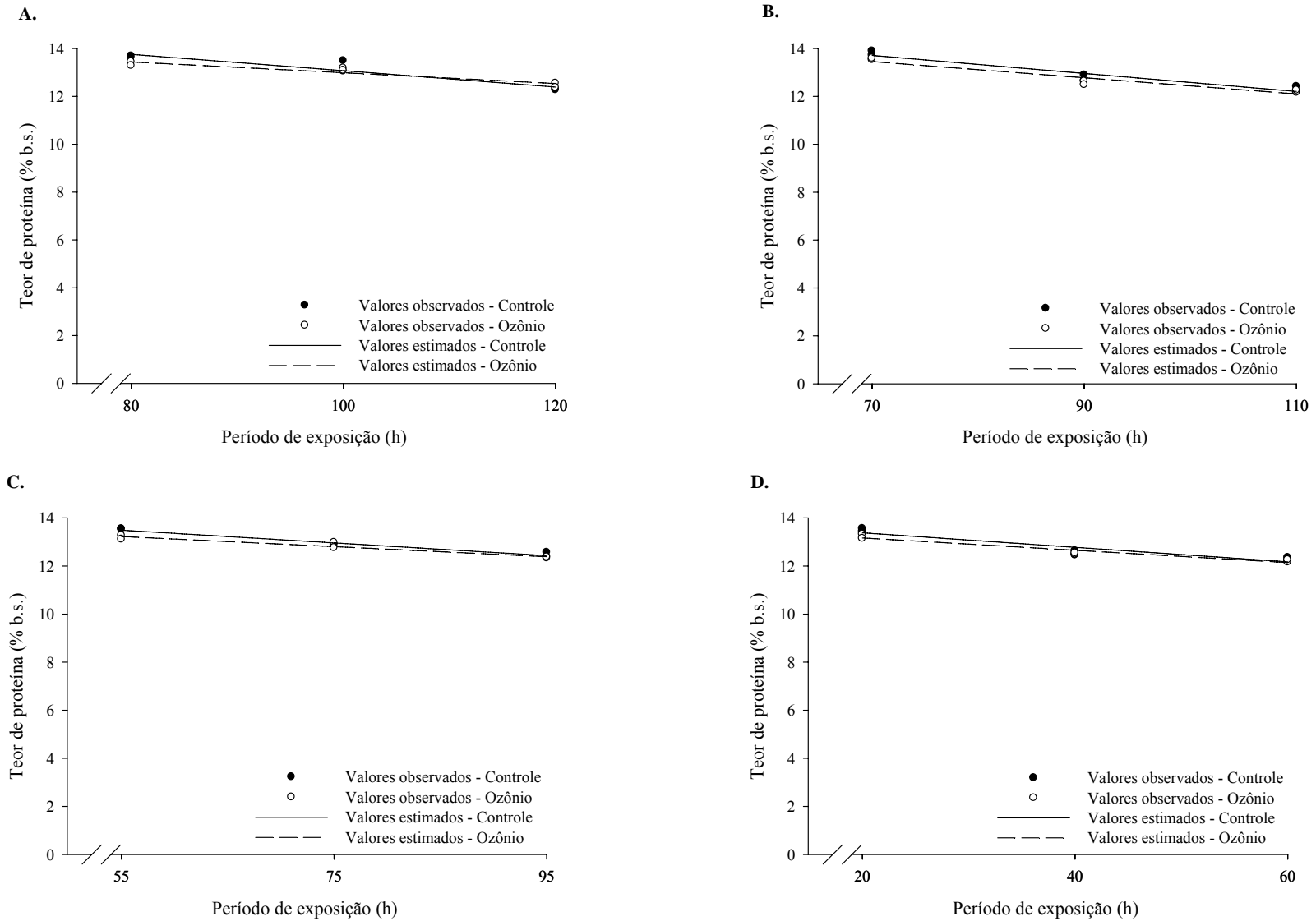


Figura 10 – Valores estimados e observados do teor de proteína da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54 (A); 1,07 (B); 1,61 (C); 2,14 (D) mg L⁻¹, em diferentes períodos de exposição.

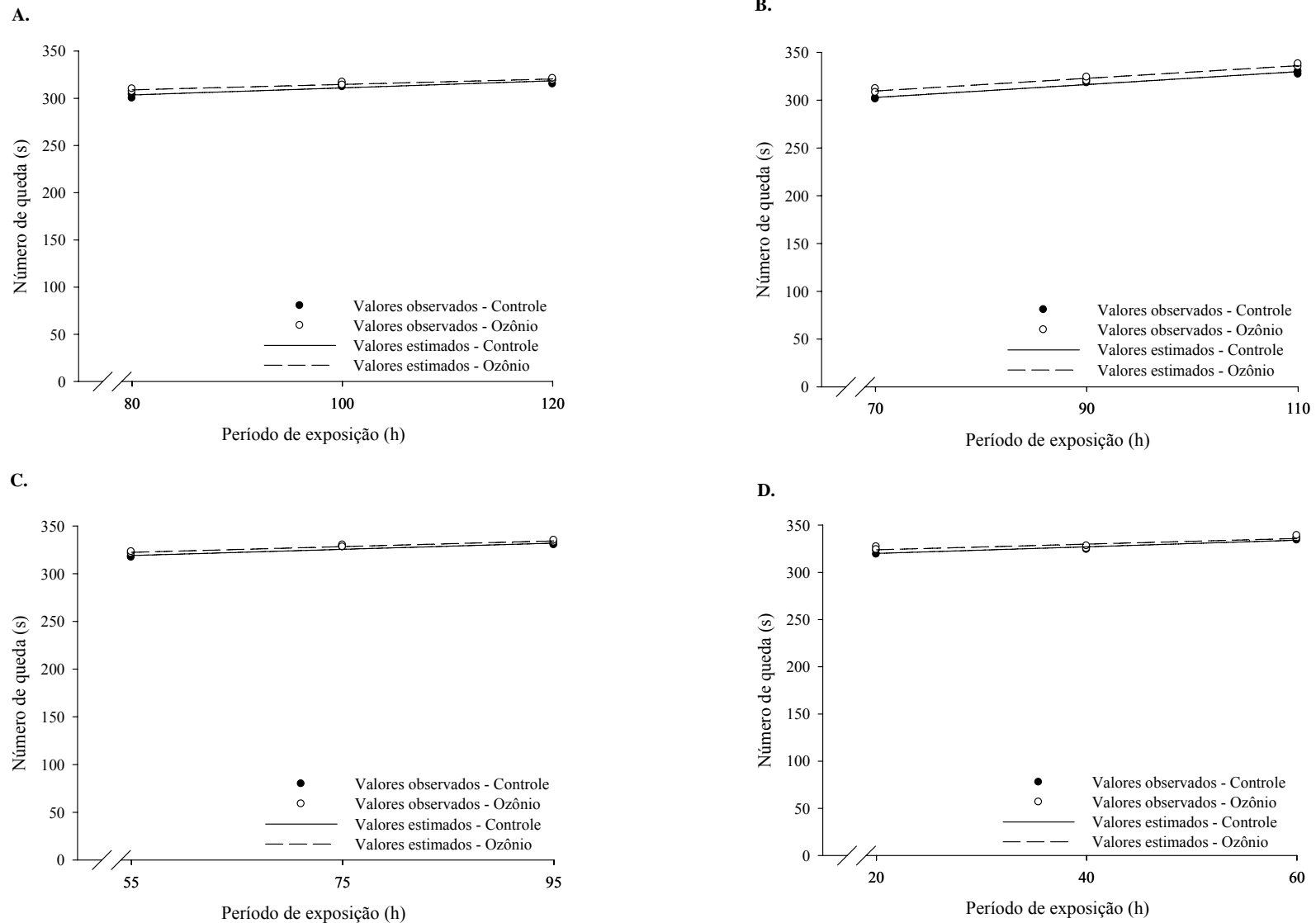


Figura 11 – Valores estimados e observados do número de queda da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54 (A); 1,07 (B); 1,61 (C); 2,14 (D) mg L⁻¹, em diferentes períodos de exposição.

Tabela 11 – Equações de regressão ajustadas para as características físico-químicas do teor de cinzas (TC), do teor de proteína (TP) e do número de queda (NQ) da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio, nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição (PE), e seus respectivos coeficientes de determinação (r²)

Tratamento	Teor de Cinzas (% b.s.)	r ²	Teor de Proteína (% b.s.)	r ²	Número de Queda (s)	R ²
Controle	$\overline{TC} = 0,31 + 0,0023^{**} PE$	0,93	$\overline{TP} = 16,1225 - 0,0299^{**} PE$	0,89	$\overline{NQ} = 273,5 + 0,375^{*} PE$	0,82
0,54 mg L ⁻¹	$\overline{TC} = 0,3406 + 0,0021^{**} PE$	0,72	$\overline{TP} = 15,6058 - 0,0268^{**} PE$	0,89	$\overline{NQ} = 285,9167 + 0,2875^{**} PE$	0,91
Controle	$\overline{TC} = 0,3492 + 0,0024^{**} PE$	0,77	$\overline{TP} = 16,3414 - 0,0376^{**} PE$	0,93	$\overline{NQ} = 255,5833 + 0,675^{**} PE$	0,96
1,07 mg L ⁻¹	$\overline{TC} = 0,4147 + 0,0018^{**} PE$	0,68	$\overline{TP} = 15,8112 - 0,0338^{**} PE$	0,92	$\overline{NQ} = 263,2083 + 0,6625^{**} PE$	0,97
Controle	$\overline{TC} = 0,3558 + 0,0025^{**} PE$	0,72	$\overline{TP} = 14,9435 - 0,0265^{**} PE$	0,97	$\overline{NQ} = 301,125 + 0,325^{**} PE$	0,86
1,61 mg L ⁻¹	$\overline{TC} = 0,4232 + 0,0017^{*} PE$	0,62	$\overline{TP} = 14,3766 - 0,021^{**} PE$	0,93	$\overline{NQ} = 305,8333 + 0,30^{**} PE$	0,95
Controle	$\overline{TC} = 0,3111 + 0,0050^{**} PE$	0,87	$\overline{TP} = 13,9837 - 0,0302^{**} PE$	0,88	$\overline{NQ} = 313,0 + 0,35^{**} PE$	0,89
2,14 mg L ⁻¹	$\overline{TC} = 0,3967 + 0,0033^{**} PE$	0,75	$\overline{TP} = 13,6743 - 0,0256^{**} PE$	0,93	$\overline{NQ} = 317,8333 + 0,30^{*} PE$	0,75

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t” e ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

O teor de cinzas da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ aumentou significativamente com o aumento do período de exposição. Este aumento foi de 0,0021; 0,0018; 0,0017 e 0,0033 para cada 1 h de variação, na farinha obtida dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,0023; 0,0024; 0,0025 e 0,0050 para cada 1 h de variação, na farinha de trigo obtida dos grãos do tratamento controle (Figura 9 e Tabela 11). Independentemente do tratamento, o aumento do teor de cinzas pode ser explicado pelo grau de extração de farinha no processo de moagem dos grãos de trigo.

O teor de cinzas está diretamente ligado à eficiência e qualidade do processo de moagem, sendo considerado um indicativo do grau de extração de farinha de trigo (KULP e PONTE JÚNIOR, 2000; FANAN et al., 2006). Farinhas de trigo com elevados teores de cinzas apresentam uma alta extração com inclusão de farelo, o que é indesejável, pelo fato de proporcionar uma cor mais escura ao produto e de interferir na rede do glúten. Baixos teores de cinzas em farinhas indicam melhor cor e absorção de água, além de melhor qualidade de panificação (EL-DASH, 1982; FANAN et al., 2006).

De acordo com a Instrução Normativa nº 08 (BRASIL, 2005), verificou-se que os resultados do teor de cinzas da farinha de trigo obtida dos grãos ozonizados ou tratados com ar atmosférico se situaram dentro do padrão de identidade e qualidade estabelecido. Conforme esta instrução normativa, as farinhas de trigo foram enquadradas no tipo 1 (valor máximo de 0,8 % b.s.). A classificação da farinha de trigo após tratamento dos grãos com gás ozônio, independentemente da concentração e período de exposição, manteve-se na tipificação estabelecida para as farinhas obtidas dos grãos tratados com ar atmosférico.

Observou-se que, com o aumento do período de exposição houve redução significativa de 0,0268; 0,0338; 0,021 e 0,0256 para cada 1 h de variação, no teor de proteína das farinhas obtidas dos grãos tratados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ de ozônio, respectivamente; e de 0,0299; 0,0376; 0,0265 e 0,0302 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos do tratamento controle. Verificou-se, ainda, que a redução do teor de proteína nas farinhas obtidas dos grãos no tratamento controle foi superior à redução da farinha obtida dos grãos ozonizados (Figura 10 e Tabela 11).

A redução do teor de proteína das farinhas com o aumento do período de exposição, independentemente de a farinha ser obtida de grãos tratados com o ozônio ou com o ar atmosférico, pode ser explicada pelo processo de oxidação de proteínas, devido ao poder de oxidação do ozônio e do oxigênio presente no ar atmosférico (KELLS et al., 2001; ZHANGGUI et al., 2003). É importante destacar que a quantidade de proteínas presente nas farinhas de trigo não está diretamente relacionada à qualidade das proteínas, que por sua vez, se relaciona com a capacidade de formação da massa (BUSHUK, 1985). Esse autor verificou correlação positiva entre o teor de proteína e o volume de pão produzido, o que implica alta qualidade tecnológica.

Os resultados do teor de proteína da farinha de trigo encontraram-se em conformidade com a Instrução Normativa nº 08 (BRASIL, 2005), que estabelece um teor mínimo de proteína de 7,5 (% b.s.), enquadrando as farinhas de trigo no tipo 1. A classificação da farinha de trigo após tratamento dos grãos com gás ozônio, independentemente da concentração e período de exposição, manteve-se na tipificação estabelecida para as farinhas obtidas dos grãos do tratamento controle.

De acordo com a análise de regressão do número de queda da farinha de trigo, observou-se que, ao aumentar o período de exposição, houve aumento significativo de

0,2875; 0,6625; 0,30 e 0,30 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,375; 0,675; 0,325 e 0,35 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos do tratamento controle (Figura 11 e Tabela 11).

O aumento do número de queda da farinha de trigo com o aumento do período de exposição, independentemente do tratamento e da concentração, está em acordo com os resultados obtidos de germinação dos grãos de trigo (Figura 7 e Tabela 9). Grãos que perderam ou reduziram sua capacidade germinativa apresentam alto número de queda, ou seja, atividade amilásica baixa, o que aumenta a qualidade da farinha produzida (MANDARINO, 1993). Segundo PAUL (2005), a ozonização dos grãos de trigo com a finalidade de obter a farinha não afetou os resultados do número de queda, porém foram constatadas alterações nos resultados de número de queda ao aplicar gás ozônio diretamente na farinha de trigo. Esse autor observou, ainda, que, ao aumentar a concentração de ozônio, houve aumento nos valores de número de queda e, conseqüentemente, redução da atividade amilásica.

A análise de número de queda é o método mais rápido e adequado para determinar a atividade amilásica (enzima alfa-amilase) (PIZZINATTO, 1997). O valor do número de queda apresenta relação inversa com a atividade amilásica, ou seja, quanto menor o valor da atividade amilásica, maior o valor do número de queda, e vice-versa (PERTEN INSTRUMENTS, 2007). Dessa forma, as farinhas de trigo analisadas, independentemente do tratamento, concentração e período de exposição, apresentam baixa atividade amilásica.

Valores baixos de número de queda estão relacionados à elevada atividade amilásica, de modo que farinhas de trigo com altos teores desta enzima tendem a fornecer produtos pegajosos e de baixo volume. Teores altos de alfa-amilase em farinhas

relacionam-se a três fatores: germinação antecipada do grão de trigo imaturo, síntese de alfa-amilase durante a maturação tardia do grão e germinação do grão após dormência devido à colheita atrasada (INDRANI e RAO, 2007; XU et al., 2007). Valores altos de número de queda estão relacionados à baixa ou insuficiente atividade amilásica. A insuficiente atividade amilásica não é um problema difícil de resolver. As formulações dos melhoradores ou reforçadores utilizados em panificação têm enzimas alfa-amilases com finalidade de corrigir essa deficiência na farinha de trigo (GUARIENTI, 1996).

De acordo com a Instrução Normativa nº 38 (BRASIL, 2010), os resultados do número de queda da farinha de trigo mostraram-se compatíveis com o número de queda do trigo tipo 1 na classe “melhorador”, que estabelece o valor mínimo de 250 s. A classificação das farinhas de trigo após tratamento dos grãos com gás ozônio, independentemente da concentração e período de exposição, manteve-se compatível com a tipificação estabelecida para as farinhas obtidas dos grãos tratados com ar atmosférico.

As farinhas de trigo obtidas do trigo da classe melhorador são preferencialmente utilizadas na indústria de mesclas, em diferentes proporções com farinhas de baixo valor de número de queda (ou seja, alta atividade amilásica), com a finalidade de melhorar a qualidade final do produto (COSTA et al., 2008).

4.4.2. Características reológicas da farinha de trigo

Os resultados referentes aos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores médios dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ em diferentes períodos de exposição (PE)

Tratamento	PE (h)	ABS		EST		TDM		ITM	
		(%)		(min)		(min)		(U.F.)	
		Controle	Ozônio	Controle	Ozônio	Controle	Ozônio	Controle	Ozônio
0,54 mg L ⁻¹	80	62,6a	62,5a	8,0a	7,5a	6,3a	5,9a	45,0a	50,0a
	100	61,8a	61,4a	7,1a	6,8a	5,9a	5,7a	50,0a	52,5a
	120	61,2a	61,0a	6,0a	6,2a	5,5a	5,4a	55,0a	62,5a
1,07 mg L ⁻¹	70	62,5a	62,5a	7,9a	7,6a	5,9a	5,8a	42,5a	45,0a
	90	62,6a	62,5a	7,5a	7,2a	5,7a	5,4a	50,0a	52,5a
	110	61,5a	61,6a	7,2a	6,7a	5,5a	5,3a	62,5a	70,0a
1,61 mg L ⁻¹	55	62,0a	62,5a	7,9a	7,5a	5,5a	5,5a	42,5a	47,5a
	75	61,7a	61,5a	7,2a	6,9a	5,1a	4,9a	47,5a	55,0a
	95	61,5a	61,6a	6,7a	6,3a	5,0a	4,9a	52,5a	57,5a
2,14 mg L ⁻¹	20	61,6a	61,5a	7,3a	7,0a	5,9a	5,7a	47,5a	50,0a
	40	61,5a	61,5a	7,0a	6,9a	5,5a	5,0a	50,0a	52,5a
	60	61,4a	61,1a	6,0a	5,3b	5,0a	4,8a	55,0a	62,5a

* Médias seguidas com a mesma letra, na linha para cada variável, não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5 % de significância. U.F. – Unidade Farinográfica.

A análise de variância dos parâmetros farinográficos, ao nível de 5 % de probabilidade, indicou que não houve variação significativa entre a farinha de trigo obtida dos grãos ozonizados, em diferentes concentrações e períodos de exposição, e a farinha de trigo obtida dos grãos tratados com ar atmosférico. Exceção foi verificada apenas no parâmetro estabilidade da massa na concentração de $2,14 \text{ mg L}^{-1}$, no período de 60 h.

Resultados semelhantes foram obtidos por NAITO (1990) em farinha de trigo tratada com o gás ozônio na concentração de 50 ppm (equivalente a $0,11 \text{ mg L}^{-1}$). Esse autor verificou que o processo de ozonização não alterou os parâmetros absorção de água, estabilidade da massa, tempo de desenvolvimento e índice de tolerância à mistura, medidos pelo farinógrafo.

De acordo com a classificação da farinha de trigo em diferentes forças estabelecidas por PIZZINATTO (1997) em função dos parâmetros farinográficos, verificou-se que as farinhas obtidas dos grãos de trigo expostos ao gás ozônio e ao ar atmosférico foram classificadas como médias. Exceção feita somente para a farinha obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico na concentração de $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ no período de 80 h, que foi classificada como forte. Farinhas fortes são utilizadas como misturas para aumentar a resistência de farinhas mais fracas, e farinhas médias são utilizadas na fabricação de biscoitos tipo crackers, macarrão tipo talharim e na panificação de pães de pequeno volume (D'APPOLONIA e KUNERTH, 1984).

As equações de regressão ajustadas e seus respectivos coeficientes de determinação, referentes ao comportamento dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio em função do período de exposição, são apresentados na Tabela 13. A análise de regressão dos dados permitiu o ajuste de equações lineares para todos os parâmetros farinográficos da farinha em ambos os tratamentos.

Tabela 13 – Equações de regressão ajustadas para os parâmetros farinográficos da absorção de água (ABS) e da estabilidade da massa (EST) da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição (PE), e respectivos coeficientes de determinação (r²)

Tratamento	ABS (%)	r ²	EST (min)	r ²
Controle	$\bar{A}BS = 65,3667 - 0,035^{**} PE$	0,94	$\bar{E}ST = 11,8917 - 0,0488^{**} PE$	0,98
0,54 mg L ⁻¹	$\bar{A}BS = 65,3833 - 0,0375^{**} PE$	0,91	$\bar{E}ST = 10,0833 - 0,0325^{**} PE$	0,96
Controle	$\bar{A}BS = 64,4500 - 0,025^{***} PE$	0,65	$\bar{E}ST = 8,9792 - 0,0163^{**} PE$	0,90
1,07 mg L ⁻¹	$\bar{A}BS = 64,2250 - 0,0225^{*} PE$	0,68	$\bar{E}ST = 9,0625 - 0,0212^{**} PE$	0,93
Controle	$\bar{A}BS = 62,6708 - 0,0125^{*} PE$	0,80	$\bar{E}ST = 9,5167 - 0,03^{**} PE$	0,95
1,61 mg L ⁻¹	$\bar{A}BS = 63,5542 - 0,0225^{*} PE$	0,64	$\bar{E}ST = 9,15 - 0,03^{**} PE$	0,96
Controle	$\bar{A}BS = 61,7 - 0,005^{*} PE$	0,67	$\bar{E}ST = 8,0667 - 0,0053^{**} PE$	0,88
2,14 mg L ⁻¹	$\bar{A}BS = 61,7667 - 0,01^{***} PE$	0,63	$\bar{E}ST = 8,1 - 0,0425^{*} PE$	0,78

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t” e *** Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste “t”.

Tabela 13 continuação – Equações de regressão ajustadas para os parâmetros farinográficos do tempo de desenvolvimento da massa (TDM) e do índice de tolerância à mistura (ITM) da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição (PE), e respectivos coeficientes de determinação (r²)

Tratamento	TDM (min)	r ²	ITM (U.F.)	r ²
Controle	$\bar{Y}_{TDM} = 7,9 - 0,02^{**} PE$	0,94	$\bar{Y}_{ITM} = 25,0 + 0,25^* PE$	0,67
0,54 mg L ⁻¹	$\bar{Y}_{TDM} = 6,9167 - 0,0125^* PE$	0,80	$\bar{Y}_{ITM} = 23,7500 + 0,3125^{***} PE$	0,63
Controle	$\bar{Y}_{TDM} = 6,6792 - 0,0112^{**} PE$	0,87	$\bar{Y}_{ITM} = 6,6667 + 0,05^{**} PE$	0,92
1,07 mg L ⁻¹	$\bar{Y}_{TDM} = 6,7208 - 0,0137^* PE$	0,82	$\bar{Y}_{ITM} = -0,4167 + 0,625^{**} PE$	0,87
Controle	$\bar{Y}_{TDM} = 6,1208 - 0,0125^* PE$	0,81	$\bar{Y}_{ITM} = 28,75 + 0,25^* PE$	0,73
1,61 mg L ⁻¹	$\bar{Y}_{TDM} = 6,2250 - 0,015^* PE$	0,69	$\bar{Y}_{ITM} = 34,5833 + 0,25^* PE$	0,75
Controle	$\bar{Y}_{TDM} = 6,3667 - 0,0225^{**} PE$	0,93	$\bar{Y}_{ITM} = 43,3333 + 0,1875^* PE$	0,79
2,14 mg L ⁻¹	$\bar{Y}_{TDM} = 6,0 - 0,0213^{**} PE$	0,87	$\bar{Y}_{ITM} = 42,5000 + 0,3125^{**} PE$	0,78

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t” e *** Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste “t”. U.F. – Unidade Farinográfica.

O parâmetro farinográfico de absorção de água da farinha de trigo foi reduzido significativamente com o aumento do período de exposição ao ozônio e ao ar atmosférico. Esta redução foi de 0,375; 0,0225; 0,225 e 0,01 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,035; 0,025; 0,0125 e 0,005 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos do tratamento controle (Tabela 13).

A absorção de água indica a quantidade de água necessária a ser acrescentada à farinha para que a massa obtenha consistência ótima para fabricação de produtos de panificação. Quanto mais água a farinha absorver para atingir esta consistência, melhor o rendimento da farinha. Segundo SULTAN (1981), a absorção de água depende da quantidade e qualidade das proteínas presentes na farinha de trigo, variando em uma faixa entre 54 e 65%. Valores elevados de absorção de água podem estar relacionados a altos valores do teor de proteína e maior qualidade das proteínas. Dessa forma, observa-se que os resultados de absorção de água estão em acordo com os resultados do teor de proteína (Tabela 10). Consta em estudo anterior que a absorção de água está diretamente relacionada com o glúten da farinha de trigo. De modo geral, farinhas com glutens mais fortes apresentam maior capacidade de absorção de água, que é definida pela capacidade de o glúten plenamente desenvolvido reter água (COSTA et al., 2008).

No que se refere à estabilidade da massa, observou-se que, com o aumento do período de exposição, houve redução significativa de 0,0325; 0,0212; 0,03 e 0,0425 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,0488; 0,0163; 0,03 e 0,0053 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos expostos ao ar atmosférico (Tabela 13).

A estabilidade da massa é reconhecida como parâmetro indicador de maior resistência ao amassamento e melhor qualidade proteica. Esse parâmetro indica o quanto a massa permanece com a consistência ótima durante o processo de mistura e amassamento. Os valores de estabilidade dependem, em grande parte, do número de ligações cruzadas entre as moléculas de proteínas presentes no glúten, bem como da força destas ligações. As pontes de hidrogênio e as ligações de enxofre desempenham grande importância na formação da estrutura do glúten, pois formam uma rede tridimensional relacionada à extensibilidade, impermeabilidade ao gás, elasticidade e ao alto poder de absorção de água da massa (INDRANI e RAO, 2007).

De acordo com a análise de regressão do tempo de desenvolvimento da massa, verificou-se que, ao aumentar o período de exposição, houve redução de 0,0125; 0,0137; 0,015 e 0,0213 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,02; 0,0112; 0,0125 e 0,0225 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos do tratamento controle (Tabela 13).

O tempo de desenvolvimento da massa também é um indicativo de qualidade da proteína, já que é uma medida do tempo necessário para o completo desenvolvimento do glúten. Farinhas fortes normalmente requerem um tempo de desenvolvimento maior que farinhas fracas. Este valor é também chamado de tempo de pico. Ocasionalmente, dois picos podem ser observados, devendo o segundo ser tomado como ponto de desenvolvimento da massa (PYLER, 1988).

O índice de tolerância à mistura da farinha de trigo aumentou com o aumento do período de exposição. Este aumento foi de 0,3125; 0,625; 0,25 e 0,3125 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e

2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,25; 0,05; 0,25 e 0,1875 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos do tratamento controle (Tabela 13). A farinha de trigo com boa tolerância à mistura tem menor índice de tolerância à mistura. Quanto maior for o índice de tolerância à mistura, mais fraca é a farinha (D'APPOLONIA e KUNERTH, 1984).

A extensografia foi avaliada por meio dos parâmetros de resistência à extensão (R), resistência máxima à extensão (R_{max}), extensibilidade (E) e energia (A), após 45 minutos de descanso da massa de farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio, nas diferentes concentrações. Os resultados referentes aos parâmetros extensográficos da farinha de trigo obtida dos grãos tratados com o ar atmosférico e o gás ozônio, nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição, estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores médios dos parâmetros extensográficos após 45 min de descanso da massa de farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ em diferentes períodos de exposição (PE)

Tratamento	PE (h)	R		R _{max}		E		A	
		(U.E.)		(U.E.)		(mm)		(cm ²)	
		Controle	Ozônio	Controle	Ozônio	Controle	Ozônio	Controle	Ozônio
0,54 mg L ⁻¹	80	277,5a	270,0a	317,5a	292,5a	130,5a	128,5a	56,3a	54,8a
	100	275,0a	265,0a	310,0a	295,0a	125,0a	124,0a	50,6a	50,1a
	120	225,0a	205,0a	255,0a	237,5a	123,5a	122,0a	42,9a	40,9a
1,07 mg L ⁻¹	70	295,0a	292,5a	325,0a	317,5a	138,5a	134,0a	60,6a	59,7a
	90	275,0a	267,5a	307,5a	305,0a	123,5a	121,5a	54,9a	54,5a
	110	270,0a	262,5a	300,0a	292,5a	117,5a	114,5a	52,2a	48,9a
1,61 mg L ⁻¹	55	315,0a	305,0a	355,0a	342,5a	135,5a	134,0a	64,0a	59,5a
	75	280,0a	270,0a	320,0a	290,0a	132,5a	131,5a	57,9a	57,2a
	95	270,0a	255,0a	305,0a	287,5a	129,0a	125,0a	50,6a	49,3a
2,14 mg L ⁻¹	20	285,0a	275,0a	327,5a	315,0a	137,5a	136,0a	59,8a	56,5a
	40	252,5a	250,0a	300,0a	292,5a	134,5a	133,5a	55,5a	54,0a
	60	250,0a	242,5a	287,5a	280,0a	128,0a	126,0a	52,7a	52,6a

* Médias seguidas com a mesma letra, na linha para cada variável, não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5 % de significância. U.E. – Unidade Extensográfica.

A análise de variância dos parâmetros extensográficos, ao nível de 5 % de probabilidade, indicou que não houve diferença significativa entre a farinha de trigo obtida dos grãos ozonizados nas diferentes concentrações e períodos de exposição e a farinha de trigo obtida dos grãos do tratamento controle. Observou-se, ainda, que os resultados de todos os parâmetros extensográficos da farinha de trigo obtida dos grãos tratados com o gás ozônio foram ligeiramente inferiores aos da farinha obtida dos grãos tratados com o ar atmosférico.

Resultados semelhantes foram relatados por IBANOGLU (2001) em farinha de trigo obtida de grãos tratados com água ozonizada, na etapa de condicionamento dos grãos, na concentração de 11,5 mg L⁻¹. Esse autor verificou que o ozônio não alterou os parâmetros de resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia da farinha de trigo.

As equações de regressão ajustadas e seus respectivos coeficientes de determinação referentes ao comportamento dos parâmetros extensográficos, após 45 minutos de descanso da massa da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio, em função do período de exposição, são apresentados na Tabela 15. A análise de regressão dos dados permitiu o ajuste de equações lineares de todos os parâmetros extensográficos da farinha em ambos os tratamentos.

Tabela 15 – Equações de regressão ajustadas para os parâmetros extensográficos (45 min) de resistência à extensão (R) e resistência máxima à extensão (R_{\max}) da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição (PE), e respectivos coeficientes de determinação (r^2)

Tratamento	R (U.E.)	r^2	R_{\max} (U.E.)	r^2
Controle	$\bar{R} = 390,4167 - 1,3125^* \text{ PE}$	0,70	$\bar{R}_{\max} = 450,4167 - 1,5625^* \text{ PE}$	0,78
0,54 mg L ⁻¹	$\bar{R} = 409,1667 - 1,625^* \text{ PE}$	0,88	$\bar{R}_{\max} = 412,5 - 1,375^* \text{ PE}$	0,70
Controle	$\bar{R} = 336,25 - 0,625^* \text{ PE}$	0,78	$\bar{R}_{\max} = 367,0833 - 0,625^{**} \text{ PE}$	0,87
1,07 mg L ⁻¹	$\bar{R} = 341,6667 - 0,75^* \text{ PE}$	0,77	$\bar{R}_{\max} = 361,25 - 0,625^{**} \text{ PE}$	0,89
Controle	$\bar{R} = 372,7083 - 1,125^* \text{ PE}$	0,80	$\bar{R}_{\max} = 420,4167 - 1,25^{**} \text{ PE}$	0,85
1,61 mg L ⁻¹	$\bar{R} = 370,4167 - 1,25^{**} \text{ PE}$	0,85	$\bar{R}_{\max} = 409,7917 - 1,375^* \text{ PE}$	0,74
Controle	$\bar{R} = 297,5000 - 0,875^* \text{ PE}$	0,77	$\bar{R}_{\max} = 345,5 - 1,0^{**} \text{ PE}$	0,84
2,14 mg L ⁻¹	$\bar{R} = 288,3333 - 0,8125^{**} \text{ PE}$	0,87	$\bar{R}_{\max} = 330,8333 - 0,875^* \text{ PE}$	0,76

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t” e * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”. U.E. – Unidade Extensográfica.

Tabela 15 continuação – Equações de regressão ajustadas para os parâmetros extensográficos (45 min) de extensibilidade (E) e energia (A) da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, nos diferentes períodos de exposição (PE), e respectivos coeficientes de determinação (r²)

Tratamento	E (mm)	r ²	A (cm ²)	r ²
Controle	$\bar{E} = 143,8333 - 0,175^{**} PE$	0,85	$\bar{A} = 83,5417 - 0,3363^{**} PE$	0,97
0,54 mg L ⁻¹	$\bar{E} = 141,0833 - 0,1625^{**} PE$	0,87	$\bar{A} = 83,2083 - 0,3463^{**} PE$	0,89
Controle	$\bar{E} = 173,75 - 0,525^{**} PE$	0,92	$\bar{A} = 74,7667 - 0,21^{**} PE$	0,92
1,07 mg L ⁻¹	$\bar{E} = 167,2083 - 0,4875^{**} PE$	0,92	$\bar{A} = 78,7625 - 0,2713^{**} PE$	0,96
Controle	$\bar{E} = 144,5208 - 0,1625^{**} PE$	0,93	$\bar{A} = 82,5146 - 0,3337^{**} PE$	0,94
1,61 mg L ⁻¹	$\bar{E} = 147,0417 - 0,225^{**} PE$	0,89	$\bar{A} = 74,4417 - 0,255^{*} PE$	0,83
Controle	$\bar{E} = 142,8333 - 0,2375^{**} PE$	0,93	$\bar{A} = 63,1167 - 0,1788^{**} PE$	0,95
2,14 mg L ⁻¹	$\bar{E} = 141,8333 - 0,25^{**} PE$	0,89	$\bar{A} = 58,2833 - 0,0988^{*} PE$	0,84

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t” e * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.

Os parâmetros extensográficos resistência à extensão e resistência máxima à extensão da farinha de trigo foram reduzidos significativamente com o aumento do período de exposição. A redução da resistência à extensão foi de 1,625; 0,75; 1,25 e 0,8125 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 1,3125; 0,625; 1,125 e 0,875 para cada 1 h de variação, nas farinhas do tratamento controle. A resistência máxima à extensão foi reduzida de 1,375; 0,625; 1,375 e 0,875 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 1,5625; 0,625; 1,25 e 1,0 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos expostos ao ar atmosférico (Tabela 15).

A resistência à extensão ou elasticidade é a propriedade que relaciona a extensão à força aplicada na massa. Quando cessa a ação da força, a massa volta ao seu estado original. A resistência máxima à extensão está relacionada com a força máxima a ser aplicada na massa para que ela retorne ao seu estado original (PYLER, 1988).

No que se refere à extensibilidade, observou-se que com o aumento do período de exposição houve redução significativa de 0,1625; 0,4875; 0,225 e 0,25 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,1750; 0,525; 0,1625 e 0,2375 para cada 1 h de variação, nas farinhas do tratamento controle (Tabela 15). A extensibilidade é a propriedade de a massa poder se estender, não recuperando o estado inicial. A extensibilidade corresponde à extensão da massa a partir de seu comprimento original (PYLER, 1988).

De acordo com a análise de regressão do parâmetro energia, verificou-se que ao aumentar o período de exposição, ocorreu redução significativa de 0,3463; 0,2713; 0,255 e 0,0988 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos ozonizados nas concentrações de 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹, respectivamente; e de 0,3363; 0,21;

0,3337 e 0,1788 para cada 1 h de variação, nas farinhas obtidas dos grãos expostos ao ar atmosférico (Tabela 15). A energia é a propriedade que relaciona a quantidade requerida para esticar a massa, ou seja, o requerimento de energia para atingir o desenvolvimento ótimo da massa. Quanto maior a energia requerida pela massa, mais forte é a farinha de trigo (PYLER, 1988).

O aumento do parâmetro farinográfico índice de tolerância à mistura e a redução dos demais parâmetros farinográficos e extensográficos da farinha de trigo com o aumento do período de exposição, independentemente do tratamento e da concentração de ozônio, podem estar relacionados à qualidade das proteínas presentes na farinha de trigo, ou seja, à qualidade do glúten formado por essas proteínas (Tabelas 13 e 15). O teor e a qualidade das proteínas formadoras do glúten são os principais fatores do potencial de panificação que a farinha de trigo apresenta (BENNION, 1970). O glúten é constituído por uma massa viscoelástica tridimensional que proporciona as características reológicas de plasticidade, viscosidade e elasticidade, que são importantes para a massa (HAARD, 1992; WIESIR, 2007; PEREIRA et al., 2009).

Estudos têm demonstrado que o comportamento da farinha de trigo durante o processo de panificação está relacionado às proteínas, ou seja, às frações gliadínicas e gluteínicas, que sob hidratação formam o complexo glúten (CALDEIRA et al., 2000). O glúten determina a qualidade funcional de uma farinha pela mensuração da porção insolúvel das proteínas gliadina, responsável pela coesão da massa, e gluteína, responsável pela propriedade de resistência e extensão (MARTINÉZ e EL-DASH, 1993; XU et al., 2007). Adicionalmente a estas proteínas, os grãos de trigo também apresentam albuminas e globulinas, que exercem funções fisiológicas (enzimáticas) durante o processo germinativo. O excesso dessas frações na farinha de trigo produz a destruição da estrutura interna da massa, causando perda de gás carbônico formado

durante a fermentação, provocando a falta de homogeneidade da textura interna do produto de panificação (CALDEIRA et al., 2000; XU et al., 2007).

As características farinográficas e extensográficas da farinha de trigo adequadas para a produção de pão são alta estabilidade (17,5 minutos), baixo índice de tolerância à mistura (40 U.F.), alta extensibilidade (138 mm), alta resistência à extensão (700 U.E.) e elevada energia (152,3 cm²) (TEDRUS et al., 2001).

A partir dos valores farinográficos e extensográficos da farinha de trigo padrão de panificação utilizada no trabalho de TEDRUS et al. (2001), pôde-se ter parâmetros de comparação para a farinha de trigo obtida de grãos ozonizados ou não. Com relação aos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos tratados com o ar atmosférico e o gás ozônio (Tabela 12), em diferentes concentrações e períodos de exposição, foram verificados valores de estabilidade consideravelmente inferiores e valores de índice de tolerância à mistura superiores aos apresentados por TEDRUS et al. (2001). De acordo com os parâmetros extensográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio (Tabela 14), foram observados valores de extensibilidade próximos aos apresentados por TEDRUS et al. (2001) e valores de resistência à extensão e energia consideravelmente inferiores. Dessa forma, os resultados de farinografia e extensografia demonstraram que a farinha de trigo obtida tanto dos grãos tratados com gás ozônio quanto dos grãos tratados com ar atmosférico não apresentou características adequadas para a panificação.

4.5. Análises microbiológicas dos grãos de trigo

Os resultados referentes às análises microbiológicas para a caracterização dos grãos de trigo antes do tratamento com o gás ozônio estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados das análises microbiológicas realizadas para a caracterização dos grãos de trigo

Análises microbiológicas	Valor
<i>Bacillus cereus</i> (UFC g ⁻¹)	< 10 ²
Coliformes totais (NMP g ⁻¹)	< 3
Coliformes termotolerantes	< 3
Fungos filamentosos e leveduras (UFC g ⁻¹)	< 10 ²
<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC g ⁻¹)	< 10 ²
<i>Salmonella</i> sp.	ausência

A contagem de *B. cereus*, coliformes totais e termotolerantes, fungos filamentosos e leveduras, *S. aureus* e *Salmonella* sp., apresentada na Tabela 16, foi comparada aos dados da Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, que dispõe sobre os Padrões Microbiológicos para Alimentos (BRASIL, 2001). Os resultados desta contagem situaram dentro do padrão de identidade e qualidade estabelecido pela Resolução RDC nº 12.

A média da contagem de fungos filamentosos e leveduras em grãos de trigo contaminados com esporos de *Penicillium* sp. submetidos ao processo de sanitização com o gás ozônio, por 100 h, foi de 5,8 log UFC g⁻¹, e as amostras do tratamento controle expostas ao ar atmosférico apresentaram contaminação média de 6,0 log UFC g⁻¹.

A análise de variância da contagem de fungos filamentosos e leveduras, ao nível de 5 % de probabilidade, indicou que o tratamento com ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de 100 h não foi efetivo para promover eliminação significativa de esporos de *Penicillium*. Portanto, este tratamento não apresentou efeito sanitizante, embora na literatura, existam relatos do efeito antimicrobiano deste gás. Segundo KHADRE et al. (2001), AKBAS e OZDEMIR (2006) e WU et al. (2006), o gás ozônio

é um potente agente sanitizante devido à presença de um largo espectro antimicrobiano e à eficiência no controle de fungos, bactérias, vírus, protozoários, além de esporos de fungos. Vale ressaltar que cada grupo de micro-organismo apresenta sensibilidade específica ao ozônio, sendo as bactérias mais sensíveis que os fungos filamentosos e leveduras; as bactérias gram-positivas mais sensíveis que as bactérias gram-negativas; e as células vegetativas mais sensíveis que os esporos (PASCUAL et al., 2007). É importante destacar que existe correlação positiva entre a umidade relativa (U.R.) ambiente e a toxicidade ao ozônio, ou seja, quanto maior a umidade relativa, maior a toxicidade do gás ozônio (OZKAN et al., 2011). Esses autores observaram maior efeito sanitizante do ozônio em ambiente com 95 % de U.R. para conídeos de *Penicillium digitatum* e *Penicillium italicum*. Verificaram, ainda, que ambientes com umidade relativa baixa necessitam de maiores concentrações de ozônio para o mesmo efeito sanitizante que ambientes com umidade relativa mais elevada.

De acordo com ALENCAR (2009), as concentrações de 13,0 e 21,0 mg L⁻¹ de ozônio, em um período de ozonização de 24 h, apresentaram efeito fungicida em grãos de amendoim, com redução significativa da contagem de fungos totais de *Aspergillus flavus* e de *Aspergillus parasiticus*. Segundo PONCE et al. (2010), o tratamento de morangos com o gás ozônio na concentração de 50 mg L⁻¹ por 60 min. reduziu significativamente ($p < 0,05$) em 1,3 ciclos log a contagem de fungos e leveduras em relação ao tratamento controle.

As placas de Petri selecionadas, referentes à análise de fungos filamentosos e leveduras dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico e ao gás ozônio, na concentração de 0,54 mg L⁻¹, no período de exposição de 100 h, estão apresentadas na Figura 12.



(A)

(B)

Figura 12 – Placas de Petri contendo fungos filamentosos em meio de cultura BDA referentes aos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (A) e ao gás ozônio (B) na concentração de $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ no período de exposição de 100 h.

Observou-se que, além dos fungos do gênero *Penicillium* sp. (fungos de coloração verde) inoculados nos grãos de trigo, houve uma incidência de outros fungos, que apresentaram morfologia de colônias diferentes (Figura 12). Esta incidência de outros fungos pode ser explicada pela presença de contaminantes naturais dos grãos de trigo.

5. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos neste trabalho e considerando os objetivos propostos, conclui-se que:

- i. Aumentando a concentração de ozônio, reduz-se o tempo de saturação da massa de grãos de trigo.
- ii. A taxa de decomposição do gás aumentou com o aumento da concentração de ozônio.
- iii. O gás ozônio não promoveu alteração nas características físicas de teor de água e peso hectolítrico dos grãos de trigo.
- iv. O ozônio promoveu alteração nas características fisiológicas de germinação e condutividade elétrica dos grãos de trigo, fator que eleva o valor qualitativo dos grãos visando à indústria moageira.
- v. As características físico-químicas de teor de cinzas, teor de proteína e número de queda da farinha de trigo não foram influenciadas pelo processo de ozonização dos grãos de trigo.
- vi. A ozonização dos grãos de trigo não afetou os parâmetros reológicos de farinografia e extensografia da farinha de trigo obtida destes grãos.
- vii. O gás ozônio no binômio ($0,54 \text{ mg L}^{-1} \times 100 \text{ h}$) não apresentou efeito sanitizante em grãos de trigo, pois não houve eliminação significativa de esporos de *Penicillium* nas amostras tratadas.

Com base no presente estudo, sugerem-se outros trabalhos como complemento a esta pesquisa realizada no intuito de verificar o poder sanitizante do ozônio, adotando diferentes binômios (concentração de ozônio x período de exposição).

Os resultados obtidos neste trabalho podem contribuir para o desenvolvimento desta tecnologia, já que demonstraram a possibilidade do estudo do comportamento do gás na massa de grãos como também a não interferência na qualidade dos grãos e da farinha de trigo obtida destes grãos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of AACC**. 10.ed. St. Paul: AACC International, Inc, 2000.

ABITRIGO, Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Agrobussines do Trigo**. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br>. Acesso em: 10 de maio de 2011.

ACHEN, M.; YOUSEF, A. E. Efficacy of ozone against *Escherichia coli* O157:H7 on apples. **Journal of Food Science.**, vol. 66, n. 9, p. 1380-1384. 2001.

AGUAYO, E.; ESCALONA, V. H.; ARTES, F. Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical, sensorial and microbial quality of whole and sliced tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, vol. 39, p. 169-177, 2006

AKBAS, M. Y.; OZDEMIR, M. Application of gaseous ozone to control populations of *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* and *Bacillus cereus* spores in dried figs. **Food Microbiology**, New York, vol. 25, p. 386-391, 2008.

ALENCAR, E. R. **Processo de ozonização de amendoim (*Arachis hypogaea* L.): cinética de decomposição, efeito fungicida e detoxificante de aflatoxinas e aspectos qualitativos**. 2009. 92f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. C.; ROSA, M. A.; DURÁN, N. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, vol. 27, n. 5, p. 818-824, 2004.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 16.ed. Washington, DC.: AOAC, 1995.

ASAE. Moisture measurement – unground grain and seeds. Page 563 in: **Standards**, 2000. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers.

BELLAR, T. A.; LICHTENBERG, J. J.; KRONER, R. C. The occurrence of organohalides in chlorinated drinking water. **Journal of the American Water Works Association**, vol. 66, n. 12, p.703–706, 1974.

BENNION, E. B. **Fabricación de Pan**. Acribia: Zaragoza, 1970.

BEUCHAT, L. R.; COUSIN, M. A. Yeasts and molds. In: DOWNES, F. P.; ITO, K. (eds.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 ed. Washington: APHA, 2001. p. 209-215.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 08, 02 de junho de 2005**, publicada no Diário Oficial da União de 03.06.2005, Brasília, DF.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 38, de 30 de novembro de 2010**, publicada no Diário Oficial da União de 01.12.2010, Brasília, DF.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 62, de 26 de agosto de 2003**, publicada no Diário Oficial da União de 18.09.2003, Brasília, DF.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução-RDC nº. 12, de 02 de janeiro de 2001**, publicada no Diário Oficial da União de 10.01.2001, Brasília, DF.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora Nº 15 – Atividades e Operações Insalubres, Portaria GM nº. 3,214, de 08 de junho de 1978**, publicada no Diário Oficial da União de 06.07.1978, Brasília, DF.

BRASIL. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, 2009. 399p.

BROADWATER, W. T.; HOEHN, R. C.; KING, F. H. Sensitivity of three selected bacterial species to ozone. **Applied and Environmental Microbiology**, vol. 26, p. 391–393, 1973.

BRUM, A. L.; MULLER, P. K. A realidade da cadeia do trigo no Brasil: o elo produtores/cooperativas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 46, n. 1, p. 145-169, 2008.

BURLESON, G. R.; MURRAY, T. M.; POLLARD, M. Inactivation of viruses and bacteria by ozone, with and without sonication. **Applied and Environmental Microbiology**, vol. 29, p. 340–344, 1975.

BURTON, B. C. Veterinary use of intravenous ozone and other applications. **Ozone service**. p. 117-121, 2000.

BUSHUK, W. Flour proteins: structure and functionality in dough and bread. **Cereal Foods World**, vol. 30, n. 7, p. 447-451, 1985.

BUSHKUK, W.; SCANLON, M. G. **Wheat and wheat flour**. In: KAMEL, B. S.; STAUFFER, C. E. (Eds.) *Advanced in baking technology*. New York: Balckie Academic & Professional, 1993. p. 1 - 19.

CALDEIRA, N. Q. N.; LIMA, V. L. A.; SEKI, H. A.; RUMJANEK, F. D. Diversidade de trigo, tipificação de farinhas e genotipagem. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, vol. 3, n. 16, p. 44-48, 2000.

CAMPOS, C. A.; RODRÍGUEZ, O.; LOSADA, V.; AUBOURG, XS. P.; VELÁZQUEZ, J. B. Effects of storage in ozonized slurry ice on the sensory and microbial quality of sardine (*sardine pilchardus*). **International Journal of Food Microbiology**, vol. 103, p. 121-130, 2005.

CHAUDHRY, M. Q. Phosphine resistance. **Pesticide Outlook**, vol. 11, p.88-91, 2000.

CHIATTONE, P. V.; TORRES, L. M.; ZAMBIAZI, R. C. Aplicação do ozônio na indústria de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, vol. 19, n. 3, p. 341-349, 2008.

CHOPIN. **Instruction manual laboratory mill CD1**. Villeneuve-la-Garenne: Chopin, 1998. 16 p.

CLESCERL, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Denver: American Water Works Association, 2000. 1220p.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira 2010/2011 - Sétimo Levantamento**, Brasília, abril/2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 de maio de 2011.

CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Obtenção e modelagem das isotermas de dessecção e do calor isotérmico de dessecção para grãos de trigo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, vol. 7, n. 1, p. 39-48, 2005.

COSTA, M. G.; SOUZA, E. L.; STANFORD, T. L. M.; ANDRADE, S. A. C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, vol. 28, n.1, p.220-225, 2008.

D'APPOLONIA, B. L.; KUNERTH, W. H. **The farinograph handbook**. 3.ed. 1984. 64p.

EL-DASH, A. A.; CAMARGO, C. R. O. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia, 1982. 400p.

EL-DASH, A.; CAMPOS, J. E.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas**. Uso de Farinha Mista de Trigo e Sorgo na Produção de Pães. vol. 4. Brasília: Embrapa, 1994.

EPA, United States Environmental Protection Agency. **Alternative disinfectants and oxidants guidance manual**, Publication: 815 R 99014. 1999.

EVERS, T.; MILLART, S. Cereal grain structure and development some implications for quality. **Journal of Cereal Science**, vol. 36, p. 261 – 284, 2002.

FANAN, S.; MEDINA, P. F.; LIMA, T. C.; FILHO, J. M. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerados e de frio. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, vol. 28, n. 2, p. 152-158, 2006.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food Outlook – Global Market Analysis, Wheat**, junho/2009. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 10 de maio de 2011.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Wheat stocks still high in spite of the jump in prices**, agosto/2010. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 10 de maio de 2011.

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

FARONI, L. R. DA.; SILVA, J. S.; **Manejo de Pragas no Ecossistema de Grãos Armazenados**. In: SILVA, J. S. (ed.) Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas. Editora Aprenda Fácil, Viçosa, 2000.

FERREIRA, R. A. Trigo: o alimento mais produzido no mundo. **Nutrição Brasil**, vol. 2, n.1, p.45-52, 2003.

FINCH, G. R.; SMITH, D. W.; STILES, M. F. Dose response of *Escherichia coli* in ozone demand-free phosphate buffer. **Water Research**, vol. 22, p. 1563–1570, 1988.

FRANCO, D. V.; JARDIM, W. F.; BOODTS, J. F. C.; SILVA, L. M. Electrochemical ozone production as an environmentally friendly technology for water treatment. **Clean**, vol. 36, n. 1, p. 34-44, 2008.

GOESAERT, H.; BRUS, K.; VERAVERBEKE, W. S.; COURTIN, C. M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science e Technology**, vol. 16, n 1-3, p.12-30, 2005.

GRAHAM, D. M. Use of ozone for food processing. **Food Technology**, n. 51, p. 72–75, 1997.

GRANOTEC. **O trigo**. Disponível em: <http://www.granotec.com.br>. Acesso em: 10 de maio de 2011.

GUARIENTI, E. **Qualidade industrial de trigo**. 2 ed. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1996. 36p.

GUTKOSKI, L. C.; DURIGON, A.; MAZZUTTI, S.; SILVA, A. C. T.; ELIAS, M. C. C. Efeito período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, vol. 28, n.4, p. 888-894, 2008.

GUTKOSKI, L. C.; NETO, R. J. Procedimento para Teste Laboratorial de Panificação-Pão tipo Forma. **Revista Ciência Rural**, vol. 32, n.5, p.873-879, 2002.

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

HAARD, N. F. Características de los tejidos vegetales comestibles: In: FENNEMA, O. R. (Ed.). **Química de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, p. 966-967, 1992.

HESLEHURST, M. R. Quantifying initial quality and vigour of wheat seeds using regression analysis of conductivity and germination data from aged seeds. **Seed Science and Technology**, vol. 16, p. 75-85, 1988.

HILL, A. G.; RICE, R. G. em **Handbook of Ozone Technology and Applications**, Rice, R. G.; Netzer, A., eds.; Ann Arbor Science: Michigan, 1982, vol. 1, p. 1.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal: science and technology**. 2 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 378 p.

IBANOGLU, S. Influence of tempering with ozonated water on the select properties of wheat flour. **Journal of Food Engineering**, vol. 48, p. 345-350, 2001.

INDRANI, D.; RAO, G. V. Rheological characteristics of wheat flour dough as influenced by ingredients of *Parotta*. **Journal of Food Engineering**, California, vol. 17, n. 1, p. 110-105, 2007.

ISHIZAKE, K.; SHINRIKI, N.; MATSUYAMA, H. Inactivation of *Bacillus* spores by gaseous ozone. **Journal of Applied Bacteriology**. vol. 60, p. 67-72, 1986.

ISIKBER, A. A.; OZTEKIN, S. Comparison of susceptibility of two stored-product insects, *Ephestia kuehniella* Zeller and *Tribolium confusum* du Val to gaseous ozone. **Journal of Stored Products Research**, Egham, vol. 45, p. 159-164, 2009.

JAKSCH, D.; MARGESIN, R.; MIKOVINY, T.; SKALNY, J. D.; HARTUNGEN, E.; SCHINNER, F.; MASON, N. J.; MÄRK, T. D. The effect of ozone treatment on the microbial contamination of pork meat measured by detecting the emissions using PTR-MS and by enumeration of microorganisms. **International Journal of Mass Spectrometry**, vol. 239, p. 239-214, 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**, vol. 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.**, vol. 66, n. 9, p. 1241-1252, 2001.

KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E. Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: A comparative study. **International Journal of Food Microbiology**, vol. 71, n. 2-3, p. 131-138, 2001.

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

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**, vol. 62, n. 9, p. 1071-1087, 1999.

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, vol. 45, p. 167-218, 2003.

KULP, K., PONTE JÚNIOR, J. G. (Ed.). **Handbook of cereal science and technology**. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 2000. 790p.

KUNZ, A.; FREIRE, R. S.; ROHWEDDER, J. J. R.; DURA, N. Construção e otimização de um sistema para produção e aplicação de ozônio em escala de laboratório. **Química Nova**. p.425-428.Marr/1999.

LAW, S. E.; KISS, E. G. **Electric discharge generation of ozone for beneficial agricultural usages**. In: 1992 International Summer Meeting sponsored by the American Society of Agricultural Engineers, p. 1- 9, 1992.

LOPES, E. A.; FRANCO, B. D. G. Influência do controle da etapa de molhagem dos grãos na qualidade microbiológica da farinha de trigo. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara vol.17, n.2, p.209-218, 2006.

MANCUSO, P. C.; SANTOS, H. Tecnologia de reuso de água. **Reúso de água**. Barueri, SP: Manole, p. 314-316, 2003.

MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1993. 31p.

MARTINÉZ, F. B.; EL DASH, A. A. Efecto de la adición de harina instantánea de maíz en las características reológicas de la harina de trigo y elaboración de PAN III. **ALAN**, Caracas, vol. 43, n. 4, p. 321-326, 1993.

MASON, L. J.; WOLOSHUK, C. P.; MAIER, D. E. **Efficacy of ozone to control insects, molds and mycotoxins**. In: Proceedings of the International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products, Cyprus Printed Ltd., Nicosia, p.665-670. 1997.

MASON, L. J.; WOLOSHUK, C. P.; MENDONZA, F.; MAIER, D. E.; KELLS, S. A. **Ozone: A new control strategy for stored grain**. In: Proceedings of 9th International Working Conference on Stored Product Protection. Abrapos: Campinas, Brazil, p.904-907. 2006.

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**, vol. 39, n.1, p.33-44, 2003.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering**. Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill international Editions. Third Edition, 1991, 349p.

NAITO, S. Studies on utilization of ozone in food preservation. Part VII. Effect of ozone treatment on the rheological properties of wheat flour. **Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology**, vol. 37, n. 10, p. 810-813, 1990.

OKTE ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. Tecnologias com ozônio: Poder de oxidação relativa de substâncias desinfectantes. Disponível em: <http://www.okte.com.br/Tecnologias/Ozonio.htm>. Acesso em: 13 de junho de 2011.

OZKAN, R.; SMILANICK, J. L.; KARABULUT, O. A. Toxicity of ozone gas to conidia of *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* and *Botrytis cinerea* and control of gray mold on table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, vol. 60, p. 47-51, 2011.

ÖZTEKIN, S.; ZORLUGENC, B.; ZORLUGENC, F. K. Effects of ozone treatment on microflora of dried figs. **Journal of Food Engineering**, vol.75 , p.396–399, 2006.

PAUL, J. S. Comparative effects of two ozonation treatments on wheat flour technological properties. In: Thesis Master of Science. **Department of Grain Science and Industry, College of Agriculture**. Kansas State University, Manhattan, Kansas, 2005.

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

PELCZAR JR, M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações**. 2ª edição, vol. 02. São Paulo: McGraw-Hill, 1997.

PEREIRA, E. P. R.; AMORIM, E. O. C.; AMBIEL, H. C. I.; CHANG, Y. K. Influência de agentes oxidantes sobre as propriedades reológicas de massas de farinha de trigo branca e de grão inteiro e sobre o volume específico de pão francês. **Brazilian Journal of Food Technology**, vol. 12, n. 3, p. 161-171, 2009.

PEREIRA, M. L.; CHANG, Y. K. Contaminantes do trigo e farinha e medidas de sanitização na indústria de moagem e panificação. **Higiene Alimentar**, vol. 7, n. 26, p. 20-29, 1993.

PEREIRA, A. M.; FARONI, L. R. DA.; SOUZA, A. H.; URRUCHI, W. I.; ROMA, R. C. C. Efeito imediato e latente de fumigação com ozônio na qualidade dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Armazenamento**, vol. 32, p. 100-110, 2007.

PEREIRA, A. M.; FARONI, L. R. DA.; SOUSA, A. H.; URRUCHI, W. M. I.; PAES, J. L. Influência da temperatura da massa de grãos sobre a toxicidade do ozônio a *Tribolium castaneum*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 12, p. 493-497, 2008.

PERTEN INSTRUMENTS. Falling number. Disponível em: http://www.perten.com/pages/ProductPage_367.aspx?epslanguage=EN. Acesso em: 16 de junho de 2011.

PETERSON, R. F. **Wheat: Botany, Cultivation and Utilization**. London Leonard Hill Books. Interscience Publishers INC. New York 1965, p. 313.

PIMENTEL, M. A. G.; FARONI, L. R. DA.; TÓTOLA, M. R.; GUEDES, R. N. C. Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in stored-product insects. **Pest Management Science**, vol. 63, n. 9, p 876-881, 2007.

PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1997. 62p.

POMERANZ, Y. **Modern cereal science and technology**. New York: VHC, 1987. 486p.

POMERANZ, Y.; HALL, G. E.; CZUCHAJOWSKA, Z. Test weight, hardness and brackage susceptibility of yellow dent corn hybrids. **Cereal Chemistry**, vol. 63, n. 4, p. 349-351, 1986.

PONCE, A. R.; BASTIANI, M. I. D.; MINIM, V. P.; VANETTI, M. C. D. Características físico-químicas e microbiológicas de morango minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, vol. 30, n. 1, 2010.

PRABHASANKAR, P.; SUDHA, M. L.; RAO, H. P. Quality characteristics of wheat flour milled streams. **Food Research International**, vol. 33, n. 5, p.381-386, 2000.

PYLER, E. J. **Baking - Science & Tecnology**. 3.ed. Vol. II. Kansas: Sosland Publishing Company. 1988.

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**, vol.13, n. 2, p.287-294, 2006.

RESTAINO, L.; FRAMPTON, E. W.; HEMPHILL, J. B.; PALNIKAR, P. Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms. **Applied and Environmental Microbiology**, vol. 61, n. 9, p. 3471–3475, 1995.

RIBEIRO, M. N. **Influência do tempo de condicionamento do trigo na qualidade tecnológica da farinha**. 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

ROSSI, R. M.; NEVES, M. F. (coord.). **Estratégia para o trigo no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2004. 224p.

ROUNSAVILLE, J.; RICE, R. G. **Ozone Science & Engineering**. vol. 18, p. 549-555. **1997**.

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

ROZADO, A. F.; FARONI, L. R. DA.; 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**, vol. 12, p. 282-285, 2008.

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

SANTOS, J. E. **Difusão e cinética de decomposição do ozônio no processo de fumigação de grãos de milho (*Zea mays*)**. (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. 66f. Tese.

SANTOS, J. E.; MARTINS, M. A.; FARONI, L. R. DA.; ANDRADE, M. P.; CARVALHO, M. C. S. **Ozonization process: saturation time, decomposition kinetics and quality of maize grains (*Zea mays* L.)**. In: Sustainable Agri-Food Industry Use of Ozone & Related Oxidants, Valência, Espanha. 2007.

SPSS. **Sigma Plot user's guide**. Version 10.0 (Revised Edition). SPSS Inc., Chicago, USA. 2006.

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).

SUFFET, I. H., ANSELME, C., MALLEVIALLE, J. **Removal of tastes and odors by ozonation**. In: Proceedings of the American Water Works Association Annual Conference, Seminar on Ozonation. AWWA, Denver, CO. 1986.

SULTAN, W. J. **Practical baking**. 3 ed. Westport – Connecticut: Avi Publishing Company, 1981. 599 p.

TEDRUS, G. A. S.; ORMENESE, R. C. S. C.; SPERANZA, S. M.; CHANG, Y. K.; BUSTOS, F. M. Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, vol. 21, n. 1, p.20-25, 2001.

TRUSSELL, R. R.; UMPHRES, M. D. The formation of trihalomethanes. **Journal of the American Water Works Association**, vol. 70, p. 604–612, 1978.

USDA. Code of Federal Regulations, Title 9, Part 381.66-**Poultry products; temperatures and chilling and freezing procedures**. Office of the Federal Register National Archives and Records Administration, Washington, DC. 1997.

VIEIRA, R. D, CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994. p.103-132.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. *In*: KRZYZANOWSKI, F. C. H.; VIEIRA, R. D.; FRANCA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 4-20.

WANG, R. **Chemical modification of kraft lignin and resulting surface-active properties**. Thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 198p., 1993.

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**, vol.25, p.821–825, 2006.

WIESIR, H. Chemistry of gluten proteins. **International Journal of Food Microbiology**, Illinois, vol. 24, n. 2, p. 115-119, 2007.

WRIGHT, M. R. **An introduction to chemical kinetics**. 1ª Edição. Editora John Wiley & Sons, Ltda. 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**, vol. 81, n. 7, p. 1288-1293, 2006.

XU, J.; BIETZ, J. A.; CARRIERE, C. V. Viscoelastic properties of wheat gliadin and gluten suspension. **Food Chemistry**, vol. 101, n. 3, p. 1025-1030, 2007.

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

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

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1a - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 80 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0074 ^{n.s.}	0,2185 ^{n.s.}	0,0726 ^{n.s.}	1	4,50 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,0077	0,1383	0,0144	6	1,17
CV(%)		0,62	0,48	0,64		1,12

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 1b - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 100 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0150 ^{n.s.}	0,2483E ⁻³ ^{n.s.}	0,9397*	1	24,50*
Resíduo	4	0,0112	0,074	0,0843	6	2,17
CV(%)		0,78	0,36	1,51		1,56

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 1c - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 120 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0096 ^{n.s.}	0,3650 ^{n.s.}	1,1883*	1	32,00*
Resíduo	4	0,0062	0,2209	0,0647	6	2,00
CV(%)		0,58	0,62	1,30		1,52

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 2a - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 70 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0000 ^{n.s.}	0,0298 ^{n.s.}	0,0726 ^{n.s.}	1	15,13 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,0136	0,0979	0,0182	6	2,96
CV(%)		0,82	0,40	0,71		1,79

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 2b - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 90 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0074 ^{n.s.}	0,2662 ^{n.s.}	0,8677*	1	338,00*
Resíduo	4	0,0058	0,0655	0,0323	6	9,33
CV(%)		0,57	0,33	0,93		3,43

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 2c - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 110 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0150 ^{n.s.}	0,0019 ^{n.s.}	0,9399*	1	288,00*
Resíduo	4	0,0136	0,0457	0,0390	6	13,00
CV(%)		0,90	0,28	1,00		4,10

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 3a - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 55 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,5259E ⁻³⁰ n.s.	0,0024 n.s.	0,0566 n.s.	1	50,00 n.s.
Resíduo	4	0,0118	0,0177	0,2078	6	13,00
CV(%)		0,82	0,17	2,52		3,90

n.s. = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 3b - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 75 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0150 n.s.	0,0349 n.s.	0,9600*	1	288,00*
Resíduo	4	0,0161	0,0531	0,0467	6	9,67
CV(%)		0,98	0,30	1,17		3,53

n.s. = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 3c - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 95 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0150 ^{n.s.}	0,0328 ^{n.s.}	1,0863*	1	338,00*
Resíduo	4	0,0140	0,0068	0,0285	6	4,33
CV(%)		0,94	0,11	0,89		2,44

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 4a - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 20 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0150 ^{n.s.}	0,0036 ^{n.s.}	4,9635*	1	1152,00*
Resíduo	4	0,0153	0,0078	0,2519	6	2,33
CV(%)		0,93	0,11	2,80		1,78

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 4b - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 40 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0150 ^{n.s.}	0,1262 ^{n.s.}	4,8692*	1	1104,50*
Resíduo	4	0,0229	0,0204	0,3943	6	3,83
CV(%)		1,16	0,18	3,41		2,34

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 4c - Resumo da análise de variância dos parâmetros físicos e fisiológicos dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 60 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			Grau de liberdade	Quadrados médios
		Teor de água (% b.s.)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)		Germinação (%)
Período de exposição	1	0,0038 ^{n.s.}	0,0848 ^{n.s.}	4,4928*	1	1404,50*
Resíduo	4	0,0121	0,0180	0,2203	6	4,17
CV(%)		0,85	0,17	2,46		2,50

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 5a - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 80 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,2667E ⁻³ n.s.	1	0,0861 ^{n.s.}	42,25 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,4333E ⁻³	2	0,0071	6,25
CV(%)		4,08		0,63	0,82

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 5b - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 100 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,0000 ^{n.s.}	1	0,0196 ^{n.s.}	2,25 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,2000E ⁻³	2	0,0492	6,25
CV(%)		2,67		1,68	0,70

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 5c - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 120 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,1667E ⁻⁴ n.s.	1	0,0278 ^{n.s.}	9,00 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,1667E ⁻⁴	2	0,0086	5,00
CV(%)		0,68		0,75	0,70

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 6a - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 70 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,81670E ⁻³ n.s.	1	0,0604 ^{n.s.}	72,25 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,3333E ⁻³	2	0,0092	4,25
CV(%)		3,55		0,70	0,67

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 6b - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 90 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,1667E ⁻⁴ n.s.	1	0,0461 ^{n.s.}	9,00 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,3333E ⁻⁴	2	0,0195	5,00
CV(%)		0,97		1,10	0,70

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 6c - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 110 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,1667E ⁻⁴ n.s.	1	0,0085 ^{n.s.}	64,00 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,1667E ⁻⁴	2	0,0151	4,50
CV(%)		0,68		1,00	0,64

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste Fe CV = coeficiente de variação

Tabela 7a - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 55 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,1350E ⁻² n.s.	1	0,1176 ^{n.s.}	20,25 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,2000E ⁻³	2	0,0065	1,25
CV(%)		2,75		0,60	0,35

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 7b - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 75 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,1667E ⁻⁴ n.s.	1	0,2652E ⁻⁴ n.s.	0,25 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,4167E ⁻³	2	0,0123	1,25
CV(%)		3,84		0,86	0,34

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste Fe CV = coeficiente de variação

Tabela 7c - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 95 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,2054E ^{-32n.s.}	1	0,0156 ^{n.s.}	12,25 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,1250E ⁻²	2	0,0083	1,25
CV(%)		5,89		0,73	0,34

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 8a - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 20 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,6017E ^{-2n.s.}	1	0,07132 ^{n.s.}	20,25 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,2017E ⁻²	2	0,0110	6,25
CV(%)		10,40		0,79	0,77

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 8b - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 40 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,1667E ⁻⁴ n.s.	1	0,7236E ⁻³ n.s.	2,25 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,6167E ⁻³	2	0,0087	3,25
CV(%)		4,67		0,74	0,55

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 8c - Resumo da análise de variância dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 60 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios		Quadrados médios	
		Teor de cinzas (% b.s.)	Grau de liberdade	Teor de proteína (% b.s.)	Número de queda (s)
Período de exposição	1	0,1667E ⁻⁴ n.s.	1	0,0070 ^{n.s.}	6,25 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,1267E ⁻²	2	0,0060	3,25
CV(%)		5,95		0,63	0,54

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 9a - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 80 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0100 ^{n.s.}	0,2025 ^{n.s.}	0,1600 ^{n.s.}	25,00 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0200	0,0125	0,0200	50,00
CV(%)		0,23	1,45	2,32	14,89

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 9b - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 100 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,1600 ^{n.s.}	0,0900 ^{n.s.}	0,0400 ^{n.s.}	6,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0200	0,0200	0,0100	6,25
CV(%)		0,23	2,04	1,72	4,88

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 9c - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 120 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0400 ^{n.s.}	0,0400 ^{n.s.}	0,0100 ^{n.s.}	56,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0500	0,0200	0,0200	6,25
CV(%)		0,37	2,32	2,60	4,26

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 10a - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 70 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0000 ^{n.s.}	0,0900 ^{n.s.}	0,0100 ^{n.s.}	6,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0500	0,0050	0,0200	31,25
CV(%)		0,36	0,92	2,42	12,78

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 10b - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 90 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0100 ^{n.s.}	0,0900 ^{n.s.}	0,0625 ^{n.s.}	6,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0200	0,0200	0,0125	6,25
CV(%)		0,23	1,92	2,02	4,88

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 10c - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 110 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0100 ^{n.s.}	0,2500 ^{n.s.}	0,0400 ^{n.s.}	56,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0200	0,0200	0,0050	6,25
CV(%)		0,23	2,04	1,32	3,77

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 11a - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 55 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,2500 ^{n.s.}	0,1600 ^{n.s.}	0,0000 ^{n.s.}	25,00 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0200	0,0200	0,0100	12,50
CV(%)		0,23	1,84	1,82	7,86

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 11b - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 75 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0400 ^{n.s.}	0,0900 ^{n.s.}	0,0225 ^{n.s.}	25,00 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0200	0,0200	0,0025	12,50
CV(%)		0,23	2,01	1,01	6,42

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 11c - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 95 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0100 ^{n.s.}	0,1600 ^{n.s.}	0,0100 ^{n.s.}	56,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0200	0,0200	0,0100	6,25
CV(%)		0,23	2,18	2,02	4,26

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 12a - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 20 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0100 ^{n.s.}	0,0900 ^{n.s.}	0,0625 ^{n.s.}	6,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0100	0,0200	0,0125	6,25
CV(%)		0,16	1,98	1,94	5,13

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 12b - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 40 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0000 ^{n.s.}	0,0100 ^{n.s.}	0,2500 ^{n.s.}	6,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0100	0,0200	0,0200	6,25
CV(%)		0,16	2,04	2,69	4,88

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 12c - Resumo da análise de variância dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 60 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		ABS (%)	EST (min)	TDM (min)	ITM (U.F.)
Período de exposição	1	0,0900 ^{n.s.}	0,4900*	0,0400 ^{n.s.}	56,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	0,0100	0,0200	0,0200	6,25
CV(%)		0,16	2,50	2,89	4,26

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 13a - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 80 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	56,25 ^{n.s.}	625,00 ^{n.s.}	4,00 ^{n.s.}	2,40 ^{n.s.}
Resíduo	2	156,25	62,50	0,50	2,91
CV(%)		4,57	2,59	0,55	3,07

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 13b - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 100 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	100,00 ^{n.s.}	225,00 ^{n.s.}	1,00 ^{n.s.}	0,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	50,00	100,00	2,00	3,06
CV(%)		2,62	3,31	1,14	3,47

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 13c - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de exposição de 120 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	400,00 ^{n.s.}	306,25 ^{n.s.}	2,25 ^{n.s.}	3,80 ^{n.s.}
Resíduo	2	125,00	81,25	1,25	4,56
CV(%)		5,20	3,66	0,91	5,10

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 14a - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 70 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	6,25 ^{n.s.}	56,25 ^{n.s.}	20,25 ^{n.s.}	0,72 ^{n.s.}
Resíduo	2	31,25	31,25	6,25	1,20
CV(%)		1,90	1,74	1,84	1,82

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 13b - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 90 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	56,25 ^{n.s.}	6,25 ^{n.s.}	4,00 ^{n.s.}	0,16 ^{n.s.}
Resíduo	2	81,25	31,25	2,50	1,49
CV(%)		3,32	1,83	1,29	2,23

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 14c - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,07 mg L⁻¹ no período de exposição de 110 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	56,25 ^{n.s.}	56,25 ^{n.s.}	9,00 ^{n.s.}	10,89 ^{n.s.}
Resíduo	2	6,25	6,25	8,50	1,63
CV(%)		0,94	0,84	2,51	2,52

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 15a - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 55 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	100,00 ^{n.s.}	156,25 ^{n.s.}	2,25 ^{n.s.}	19,80 ^{n.s.}
Resíduo	2	50,00	31,25	1,25	4,51
CV(%)		2,28	1,60	0,83	3,44

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 15b - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 75 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	100,00 ^{n.s.}	900,00 ^{n.s.}	1,00 ^{n.s.}	0,56 ^{n.s.}
Resíduo	2	200,00	200,00	0,50	2,52
CV(%)		5,14	4,64	0,54	2,76

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 15c - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 1,61 mg L⁻¹ no período de exposição de 95 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	225,00 ^{n.s.}	306,25 ^{n.s.}	16,00 ^{n.s.}	1,69 ^{n.s.}
Resíduo	2	50,00	31,25	2,00	4,10
CV(%)		2,69	1,89	1,11	4,05

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 16a - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 20 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	100,00 ^{n.s.}	156,25 ^{n.s.}	2,25 ^{n.s.}	10,89 ^{n.s.}
Resíduo	2	50,00	31,25	1,25	0,80
CV(%)		2,53	1,74	0,82	1,54

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 16b - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 40 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	6,25 ^{n.s.}	56,25 ^{n.s.}	1,00 ^{n.s.}	2,25 ^{n.s.}
Resíduo	2	6,25	156,25	0,50	0,77
CV(%)		1,00	4,22	0,53	1,60

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 16c - Resumo da análise de variância dos parâmetros extensográficos após 45 min da farinha de trigo obtida dos grãos expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 2,14 mg L⁻¹ no período de exposição de 60 horas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		R (U.E.)	Rmax (U.E.)	E (mm)	A (cm ²)
Período de exposição	1	56,25 ^{n.s.}	56,25 ^{n.s.}	4,00 ^{n.s.}	0,0100
Resíduo	2	6,25	106,25	2,00	0,6250
CV(%)		1,02	3,63	1,11	1,50

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

Tabela 17 - Resumo da análise de variância referente contagem de fungos filamentosos e leveduras (log UFC g⁻¹) dos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio na concentração de 0,54 mg L⁻¹ no período de ozonização de 100 horas

Fontes de Variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Período de exposição	1	0,0476 ^{n.s.}
Resíduo	4	0,0086
CV(%)	1,57	

^{n.s.} = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e CV = coeficiente de variação

APÊNDICE B

Tabelas 1B – Volumes de água calculados (mL) que foram adicionados aos grãos de trigo expostos ao ar atmosférico (controle) e ao gás ozônio, nas concentrações 0,54; 1,07; 1,61 e 2,14 mg L⁻¹ nos diferentes períodos de exposição (horas) na etapa de condicionamento para o processo de moagem

Tratamento	Período de exposição (h)	Volume de água (mL)	
		Controle	Ozônio
0,54 mg L ⁻¹	80	13,1	13,5
	100	13,6	13,7
	120	14,2	14,6
1,07 mg L ⁻¹	70	13,1	13,4
	90	13,0	12,9
	110	14,2	14,2
1,61 mg L ⁻¹	55	13,0	12,5
	75	12,6	12,9
	95	13,3	13,3
2,14 mg L ⁻¹	20	12,9	13,2
	40	13,3	13,1
	60	12,3	13,0