

JULIANA LOBO PAES

**OZONIZAÇÃO DA FARINHA DE TRIGO: CINÉTICA DE  
REAÇÃO E EFEITO NAS CARACTERÍSTICAS  
TECNOLÓGICAS**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P126o  
2012

Paes, Juliana Lobo, 1978-  
Ozonização da farinha de trigo: cinética de reação e efeito nas características tecnológicas / Juliana Lobo Paes. - Viçosa, MG, 2011.  
xv, 118f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Lêda Rita D`Antonino Faroni  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1.Farinha de trigo – Efeito do ozônio. 2. Farinha de trigo – Desinfecção. 3. Farinha de trigo – Qualidade. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 633.11

JULIANA LOBO PAES

**OZONIZAÇÃO DA FARINHA DE TRIGO: CINÉTICA DE  
REAÇÃO E EFEITO NAS CARACTERÍSTICAS  
TECNOLÓGICAS**

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

APROVADA: 07 de dezembro de 2011.

---

Mônica Ribeiro Pirozi  
(Coorientadora)

---

Paulo Roberto Cecon  
(Coorientador)

---

Maria Cristina Dantas Vanetti

---

Marco Aurélio Guerra Pimentel

---

Lêda Rita D'Antonino Faroni  
(Orientadora)

*À minha mãe:*

Candida Fonseca Vilaça Lobo

*DEDICO*

*Aos meus avós:*

Elza Fonseca Vilaça Lobo (*In memoriam*) e  
Custódio Vilaça Pereira Lobo (*In memoriam*)

*OFEREÇO*

*Aos meus irmãos:*

Marcelo Lobo Paes,  
Arthur Lobo Paes e  
Daniel Paes Silva

*HOMENAGEIO*

*Aos meus grandes amigos e companheiros de todos os momentos*

*AGRADEÇO*

*“Não são as respostas que movem o mundo, são as perguntas”*

*(Canal Futura)*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Programa de Pós-Graduação

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo e financiamento do projeto.

A minha mãe, Candida, que com muito amor e sacrifício sempre investiu na formação e educação de seus filhos. Um exemplo de perseverança e luta em busca dos sonhos. Amo-te muito!

Aos meus avós, Elza e Custódio, pelo carinho e dedicação na educação dos netos. Mesmo estando no céu sei que sempre estarão cuidando de mim e da família como sempre fizeram.

Aos meus irmãos, Marcelo, Arthur e Daniel, que sempre se espelharam e se orgulharam de mim. Obrigada por vocês existirem!

À minha madrinha, Tereza, e as afilhadas, Beatriz e Carolina, pelo companheirismo, amizade, incentivo e apoio.

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

Aos professores Mônica Ribeiro Pirozi, Maria Cristina Dantas Vanetti e Paulo Roberto Cecon, por ter acreditado no meu trabalho, pelos valiosos ensinamentos e ajuda em, exatamente, todos os momentos que precisei.

Ao pesquisador da Embrapa Marco Aurélio por ter aceitado o convite em participar da banca e pelas valiosas sugestões e conselhos.

Aos grandes amigos e companheiros Ana Paula, André, Elaine (Nani), Gilberto, Igor Teles, Josiane, Joseane, Marcela (Carrapata), Mônica, Kim Dantas, Marta, Natalia, Selma, Silas, Svetlana, Tales, Tarcísio, Thaís, Valdeir Eustáquio, Wagner e Zenil, pelo apoio, incentivo, amizade e cumplicidade ao longo dos últimos anos de convivência. A vocês o meu eterno carinho e gratidão.

Ao meu cãozinho Major Anthony Nelson por ter me acompanhado do início da graduação até hoje. Sempre abanando o rabinho e me alegrando nos momentos difíceis. Aos novos integrantes da família Paçoca e Pateta por estarem sempre perto de mim, por me despertar das noites mal dormidas com o melhor dos “piados”. Se disserem que animal não pensa, eu questiono!

As minhas eternas amigas cariocas Gisele, Patrícia, Raquel e Sabrina pela amizade incondicional.

Ao meu querido Cristiano Lúcio pela confiança, paciência e, principalmente pela força para superar as dificuldades. Seu companheirismo foi fundamental para levar adiante esta jornada.

Aos meus grandes amigos e companheiros do laboratório Alisson, Augusto, Cristina, Deise, Fernanda, Gutierrez, Joel, Lucas, Marina, Patrícia, Romenique, Vanessa e Yenis, em especial André, Ernandes, Joseane, Marta, Marco Aurélio e Tales, pelos bons momentos compartilhados, pelo apoio nas horas difíceis e por tudo que cada um me ajudou e ensinou.

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

Ao Laboratório de Panificação, Massas e Amido - DTA - UFV, em especial a Divino (*In memoriam*), pela amizade, grande auxílio e boa vontade em me “ensinar a fazer pão e fazer pão para mim”. A quem sou muito grato pela colaboração.

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.

Ao Laboratório de Análise Sensorial - DTA - UFV, em especial a Professora Valéria Paula Rodrigues Minim, pelas sugestões conhecimentos transmitidos.

À empresa Vilma Alimentos, em especial a Cristina, Ana Carolina e Ludmila, por terem me recebido muito bem e me deixado à vontade. A vocês sou muito grato pela paciência, dedicação e colaboração.

A todos os professores que ao longo deste curso se dedicaram a transmitir conhecimentos e aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola.

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 Obrigada!



## **BIOGRAFIA**

Juliana Lobo Paes, filha de Adhemar Lopes Paes Filho e Candida Fonseca Vilaça Lobo, nasceu em 21 de outubro de 1978, no Rio de Janeiro, no Estado do Rio de Janeiro.

Ingressou no curso de Engenharia Agrícola em 2000 na Universidade Federal Fluminense. Em 2003, transferiu-se para o curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa e graduou-se em 2006.

No mesmo ano, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, no Setor de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de dissertação em fevereiro de 2008.

Em março de 2008, iniciou o Programa de Doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, no Setor de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa de tese em dezembro de 2011.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>7</b>
<b>CINÉTICA DE REAÇÃO DO GÁS OZÔNIO NA FARINHA DE TRIGO.....</b>	<b>7</b>
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUÇÃO .....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1 Protótipo para a ozonização da farinha de trigo .....	11
2.2 Geração do gás ozônio .....	12
2.3 Quantificação do gás ozônio .....	12
2.4 Cinética de reação do gás ozônio na farinha de trigo.....	13
3. RESULTADOS .....	15
4. DISCUSSÃO.....	19
5. CONCLUSÃO .....	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>25</b>
<b>PROCESSO DE OZONIZAÇÃO DA FARINHA DE TRIGO E SEU EFEITO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS .....</b>	<b>25</b>
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	26
1. INTRODUÇÃO .....	27
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1 Ozonização da farinha de trigo .....	29
2.2 Avaliação das características físico-químicas da farinha de trigo .....	29

2.2.1 Teor de água.....	29
2.2.2 Teor de cinzas .....	29
2.2.3 Teor de proteínas .....	30
2.2.4 pH.....	30
2.2.5 <i>Falling Number</i> .....	30
2.2.6 Cor .....	30
2.3 <i>Delineamento experimental e análises estatísticas</i> .....	31
3. <b>RESULTADOS</b> .....	31
3.1 <i>Avaliação da composição centesimal, pH e falling number da farinha de trigo</i> .....	31
3.2 <i>Cor da farinha de trigo</i> .....	37
4. <b>DISCUSSÃO</b> .....	41
5. <b>CONCLUSÃO</b> .....	44
6. <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	44
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>49</b>
<b>INFLUÊNCIA DO GÁS OZÔNIO NAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DA FARINHA DE TRIGO</b> .....	<b>49</b>
<b>RESUMO</b> .....	49
<b>ABSTRACT</b> .....	50
1. <b>INTRODUÇÃO</b> .....	51
2. <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	52
2.1 <i>Ozonização da farinha de trigo</i> .....	52
2.2 <i>Teor de glúten</i> .....	53
2.3 <i>Avaliação das características reológicas da farinha de trigo</i> .....	53
2.3.1 <i>Farinografia</i> .....	53
2.3.2 <i>Extensografia</i> .....	53
2.4 <i>Delineamento experimental e análise estatística</i> .....	54
3. <b>RESULTADOS</b> .....	54
3.1 <i>Teor de glúten</i> .....	54
3.2 <i>Farinografia</i> .....	57
3.3 <i>Extensografia</i> .....	62
4. <b>DISCUSSÃO</b> .....	68
5. <b>CONCLUSÃO</b> .....	74
6. <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	74

<b>Capítulo 4</b> .....	<b>79</b>
<b>AVALIAÇÃO SENSORIAL E QUALIDADE DE PANIFICAÇÃO DA FARINHA DE TRIGO OZONIZADA</b> .....	<b>79</b>
<i>RESUMO</i> .....	79
<i>ABSTRACT</i> .....	80
1. <i>INTRODUÇÃO</i> .....	81
2. <i>MATERIAL E MÉTODOS</i> .....	83
2.1 <i>Análises microbiológicas da farinha de trigo</i> .....	84
2.2 <i>Ozonização da farinha de trigo</i> .....	85
2.3 <i>Procedimento para o preparo dos pães</i> .....	85
2.4 <i>Panificação experimental</i> .....	86
2.5 <i>Análise sensorial da farinha de trigo e do pão</i> .....	87
2.6 <i>Análises microbiológicas dos pães e ambiente</i> .....	89
2.6.1 <i>Contagem padrão de fungos filamentosos e leveduras</i> .....	90
2.6.2 <i>Inoculação de fungos do gênero Penicillium sp. nos pães</i> .....	90
2.7 <i>Delineamento experimental e análises estatísticas</i> .....	90
3. <i>RESULTADOS</i> .....	91
3.1 <i>Análise microbiológica da farinha de trigo</i> .....	91
3.2 <i>Panificação experimental</i> .....	92
3.3 <i>Análise Sensorial</i> .....	104
3.4 <i>Análises microbiológicas dos pães</i> .....	105
4. <i>DISCUSSÃO</i> .....	107
5. <i>CONCLUSÃO</i> .....	113
6. <i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	113
<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>117</b>

## RESUMO

PAES, Juliana Lobo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2011. **Ozonização da farinha de trigo: cinética de reação e efeito nas características tecnológicas.** Orientadora: Lêda Rita D'Antonio Faroni. Coorientadores: Mônica Ribeiro Pirozi e Paulo Roberto Cecon.

O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de reação do gás ozônio, avaliar seus efeitos nas características físico-químicas, reológicas, de panificação e sensorial da farinha de trigo ozonizada ou não, bem como o possível efeito residual do ozônio na inibição de micro-organismos nos pães. A ozonização da farinha de trigo nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por até 17 h, de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por até 13 h e de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> por até 10 h foi feita em um protótipo composto por um tambor cilíndrico e um sistema de mistura por rosca helicoidal. O gás ozônio foi produzido por um gerador, para o qual foi fornecido oxigênio industrial, e sua quantificação foi feita pelo método iodométrico. Com o estudo da cinética de reação do gás ozônio foram determinados o tempo de saturação, a taxa de decomposição e o tempo de meia vida. Os efeitos do gás ozônio nas características físico-químicas da farinha de trigo foram avaliados pelos teores de água, de cinzas e de proteínas, pH, *falling number* (número de queda), cor e teor de glúten. As características reológicas avaliadas foram farinografia e extensografia. Nos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada ou não, foram feitas análises de panificação experimental de volume específico, firmeza e cor da crosta e do miolo. Para a avaliação sensorial da farinha de trigo e dos pães, adotou-se o Teste de Aceitação. O possível efeito inibidor do gás ozônio foi analisado pela contagem de fungos filamentosos e leveduras e pela inoculação do fungo do gênero *Penicillium* sp. nos pães. O tempo de saturação do ozônio foi de 812, 434, 370 e 342 min nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Em todas as concentrações de ozônio avaliadas, o modelo

cinético de decomposição obtido foi o de primeira ordem, em que a média da constante da taxa de decomposição foi de  $0,23 \pm 0,008 \text{ min}^{-1}$  e do tempo de meia vida na farinha de trigo, de  $3,02 \pm 0,081 \text{ min}$ . No geral, a composição centesimal e o pH da farinha de trigo ozonizada não foram alterados quando comparados com a farinha controle, porém se observou tendência na redução destes parâmetros em função do período de exposição ao gás. O *falling number* da farinha ozonizada apresentou diferença significativa da farinha controle e aumentou com o período de exposição. A luminosidade  $L^*$  e a coordenada  $a^*$  da farinha de trigo ozonizada foram significativamente superiores ao comparar com as da farinha controle e aumentaram com o período de exposição, indicando um aumento da intensidade do branco, enquanto a coordenada  $b^*$  se reduziu devido à oxidação dos pigmentos amarelos. O efeito branqueador do gás ozônio na farinha de trigo pode ser confirmado pela diferença total de cor. Observou-se que a ozonização em diferentes concentrações e períodos de exposição exerceu um efeito diferenciado sobre cada característica reológica da farinha de trigo, alterando as propriedades viscoelásticas da massa. A farinha de trigo ozonizada nas concentrações de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  por 9 e 11 h e  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  por 1 e 4 h apresentou um desempenho de panificação semelhante ao da farinha controle, sendo estes tratamentos indicados para a elaboração de pães. A farinha de trigo ozonizada apresentou maior aceitabilidade que a farinha controle, e o pão elaborado com a farinha de trigo ozonizada foi considerado um produto de qualidade com boa aceitação pelos provadores. A ozonização da farinha de trigo não inibiu o crescimento de fungos filamentosos nos pães. Conclui-se que a farinha de trigo ozonizada nas concentrações de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  por 9 e 11 h e de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  por 1 e 4 h apresenta características adequadas para a panificação.

## ABSTRACT

PAES, Juliana Lobo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2011. **Ozonation of wheat flour: reaction kinetics and effect on technological characteristics.** Adviser: Lêda Rita D'Antonio Faroni. Co-advisers: Mônica Ribeiro Pirozi and Paulo Roberto Cecon.

The aims of the study were to investigate the reaction kinetics of ozone, their effects on the physical-chemical, rheological, breadmaking and sensory properties of flour, and the possible residual effect of this gas on the inhibition of micro-organisms in bread. The ozonization of flour at concentrations 0.54 mg L<sup>-1</sup> up to 17 hours, 1.07 mg L<sup>-1</sup> until 13 h and 1.61 and 2.14 mg L<sup>-1</sup> up to 10 h was performed on a prototype consists of a cylindrical drum and a mixing system for helical thread. Ozone gas was produced by a generator, to which oxygen was supplied industrial and quantification was carried out by iodometric method. The saturation time, decay rate and half-life were determined by studying reaction kinetics. The effects of ozone on physical-chemical characteristics of wheat flour were evaluated by water, ash and protein content, pH, falling number, color and gluten content. The rheological properties were evaluated by farinograph and extensograph. Analysis of breadmaking quality (specific volume, firmness and color of crust and crumb) were carried out in bread made from wheat flour ozonized or not. It was adopted acceptance test for the sensory analysis of wheat flour and breads. The inhibitory effect of ozone gas was analyzed by counting of filamentous fungi and yeast and inoculation of *Penicillium* sp in breads. The ozone saturation time was 812, 434, 370 and 342 min at concentration of 0.54, 1.07, 1.61 and 2.14 mg L<sup>-1</sup>, respectively. The decomposition kinetic model obtained was first order, in which the decomposition rate constant average was  $0.23 \pm 0.008 \text{ min}^{-1}$  and half-life  $3.02 \pm 0,081 \text{ min}$ . Overall, the centesimal composition and pH of the wheat flour were not affected when

compared with the control, but these parameters reduced by increasing the exposure period. The falling number of flour ozone was significantly different from control and increased with exposure period. The brightness and the coordinates  $L^*$  and  $a^*$  of ozonated flour were significantly higher when compared with the control and increased with exposure period, indicating an increase in intensity of the blank, while  $b^*$  coordinate reduced due to oxidation of yellow pigments. The bleaching effect of ozone gas in flour can be confirmed by the total difference in color. It was observed that the ozonation in different concentrations and exposure period had a differential effect on each rheological characteristic wheat flour, modifying the viscoelastic properties of the dough. Breadmaking quality of wheat flour ozonized at  $0.54 \text{ mg L}^{-1}$  during 9 and 11 h and  $1.07 \text{ mg L}^{-1}$  for 1 and 4 h was similar flour control. These treatments were used to make the breads. The flour ozonated had higher acceptability than the control and bread made from flour ozonated was considered a quality product with good acceptance by the judges. The ozonation of flour did not inhibit the growth of filamentous fungi in breads. Concluded that the wheat flour ozonated at concentrations of  $0.54 \text{ mg L}^{-1}$  for 9 and 11 h and  $1.07 \text{ mg L}^{-1}$  for 1 and 4 h presents great breadmaking quality.



## INTRODUÇÃO GERAL

A farinha de trigo é de fundamental importância tanto no aspecto econômico quanto na alimentação humana, em virtude das variadas aplicações na indústria alimentícia e do elevado consumo de seus derivados (COSTA et al., 2008). No entanto, para sua comercialização e consumo, a farinha de trigo deve apresentar características tecnológicas e microbiológicas dentro dos padrões preconizados pela legislação vigente de cada país (BRASIL, 2001).

Possivelmente, uma forma de garantir a segurança alimentar, a desinfecção e a conservação da qualidade tecnológica da farinha de trigo sem afetar a saúde humana e o meio ambiente consiste na implementação do processo de ozonização nas indústrias moageiras.

Em 1997, o *Food and Drug Administration* (FDA) dos Estados Unidos classificou o ozônio em *Generally Recognized as Safe* (GRAS) para uso como sanitizante ou desinfetante em processamento alimentar (KIM, et al., 1999; FDA, 2001; GUZEL-SEYDIM, et al., 2004). Após quatro anos, o FDA autorizou o uso deste gás como aditivo para o tratamento, armazenamento e processamento dos alimentos (FDA, 2001; KHADRE et al., 2001). No Brasil, entretanto, o emprego de ozônio na indústria alimentícia ainda é limitado, não havendo uma legislação específica para seu uso (CHIATTONE et al., 2008).

Os benefícios da utilização do gás ozônio no processo pós-colheita e na indústria alimentícia incluem o aumento da vida de prateleira de carnes, vegetais e frutas (KIM et al., 1999), a preservação e conservação dos produtos agrícolas (IBANOGLU, 2001; KELLS et al., 2001; YVIN et al., 2005; PEREIRA et al., 2007; ROZADO et al., 2008), o controle de insetos-praga (PEREIRA et al., 2008;

ROZADO et al., 2008; SOUSA et al., 2008; ISIKBER et al., 2009), a inibição do desenvolvimento de fungos, a detoxificação de micotoxinas (ALENCAR et al., 2011a) e a descontaminação de resíduos de pesticidas nos alimentos, equipamentos e embalagens (KIM et al., 1999; YVIN et al., 2005).

Outro aspecto importante é o fato de o ozônio não interferir nas características físicas, fisiológicas e tecnológicas dos grãos e subprodutos (IBANOGLU, 2001; MENDEZ et al., 2003; PEREIRA et al., 2007; ROZADO et al., 2008; ALENCAR et al., 2011b). Além disso, sua meia vida é muito curta e o produto de sua degradação, o oxigênio, não deixa resíduo nos produtos ozonizados, podendo ser aplicado em alimentos sem risco de toxidez para os consumidores (MENDEZ et al., 2003; GUZEL-SEYDIM et al., 2004; CHIATTONE et al., 2008; TIWARI et al., 2010).

A ozonização na concentração de 50 ppm (equivalente a  $0,11 \text{ mg L}^{-1}$ ) durante 9 dias não afetou as características físicas (teor de água), fisiológicas (condutividade elétrica e germinação) e a qualidade do óleo (índice de acidez e de peróxido) dos grãos de milho (PEREIRA et al., 2007; ROZADO et al., 2008). De acordo com Alencar et al. (2011b), o tratamento de amendoim com ozônio na concentração de até  $21 \text{ mg L}^{-1}$  não afeta a qualidade dos grãos (teor de água e condutividade elétrica) e do óleo bruto extraído (teor de ácidos graxos livres, índice de peróxido e índice de iodo). O tratamento de grãos com ozônio na concentração de 50 ppm durante 30 dias não apresentou efeitos negativos na capacidade de expansão do milho pipoca e no conteúdo de aminoácido e ácido graxo da soja, trigo e milho (MENDEZ et al., 2003). Ainda segundo Mendez et al. (2003), a farinha de trigo obtida dos grãos ozonizados não apresentou diferenças significativas na composição centesimal (teor de cinzas e de proteínas), no rendimento de moagem e nas propriedades de panificação

(tolerância à mistura, absorção da água, volume do pão e volume específico do pão) quando comparada com a farinha de trigo obtida de grãos não ozonizados.

Além da aplicação do ozônio diretamente nos grãos de trigo, o tratamento pode ser realizado na etapa de condicionamento do processo de moagem. O condicionamento dos grãos de trigo à temperatura de 20 °C durante 24 h usando água ozonizada nas concentrações de 1,5 e 11,5 mg L<sup>-1</sup> não afetou o rendimento de moagem, as propriedades físico-químicas (teor de proteínas e *falling number*) e reológicas (farinografia e extensografia) da farinha de trigo obtida destes grãos (IBANOGLU, 2001).

Em função dos resultados satisfatórios, o processo de ozonização pode ser considerado uma tecnologia inovadora e eficiente a ser implementada na indústria moageira. No entanto, observa-se necessidade de pesquisas com a finalidade de avaliar o efeito do gás ozônio na desinfecção e na qualidade tecnológica da farinha de trigo destinada à produção de pão, um dos seus derivados alimentícios mais consumidos no Brasil (PROPAN, 2010).

Ainda no que se refere à implementação do processo de ozonização na indústria moageira, é necessário estudar a saturação e a decomposição do gás no meio poroso, os quais são importantes parâmetros para definir o período de exposição ao gás, a uma dada concentração, com garantia de que o meio ozonizado esteja completamente saturado. Ao consultar tanto a literatura nacional quanto a internacional, constatou-se que este estudo foi conduzido apenas em grãos de milho (KELLS et al., 2001; SANTOS et al., 2007) e amendoim (ALENCAR et al., 2011c).

Diante do contexto apresentado, este trabalho teve como objetivo estudar a cinética de reação do gás ozônio na farinha de trigo. Além disto, foram avaliadas o efeito deste gás nas características físico-químicas, reológica, de panificação e

sensorial da farinha de trigo bem como o possível efeito residual do ozônio sobre fungos filamentosos contaminantes dos pães.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.A.; SOARES, N.F.F.; SILVA, W. A.; CARVALHO, M.C.S. Efficacy of ozone as a fungicidal and detoxifying agent of aflatoxins in peanuts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, doi: 10.1002/jsfa.4668, 2011a.
- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.DA; SOARES, N.F.F.; CARVALHO, M.C.S.; PEREIRA, K.F. Effect of the ozonization process on the quality of peanuts and crude oil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 154-160, 2011b.
- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.A.; MARTINS, M.A.; COSTA, A.R.; CECON, P.R. Decomposition kinetics of gaseous ozone in peanuts. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n.5, p. 930-939, 2011c.
- BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº. 12, de 02 de Janeiro de 2001. Aprova regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 02 de janeiro 2001.
- CHIATTONE, P.V.; TORRES, L.M.; ZAMBIAZI, R.C. Aplicação do ozônio na indústria de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 341-349, 2008.
- 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**, v. 28, n. 1, p. 220-225, 2008.
- FDA. Food and Drug Administration. Secondary direct food additives permitted in food for human consumption. **Federal Register**, v.66, n.123, p. 33829-33830, 2001.
- GUZEL-SEYDIM, Z.B., GREENE, A.K., SEYDIM, A.C. Use of ozone in the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologies**, v. 37, p. 453-460, 2004.

- IBANOGLU, S. Influence of tempering with ozonated water on the selected properties of wheat flour. **Journal of Food Engineering**, v. 48, p. 345-350, 2001.
- 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**, v. 45, n. 3, p. 159-164, 2009.
- KELLS, S. A.; MASON, L. J.; MAIER, D. E.; WOLOSOSHUK, C. P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, n. 4, p. 371-383, 2001.
- KHADRE, M.A.; YOUSEF, A.E.; KIM, J.G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 9, p. 1242-1252, 2001.
- KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; DAVE, S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. **Journal of Food Protection**, v. 62, p. 1071-1087, 1999.
- MENDEZ, F.; MAIER, D.E.; MASON, L.J.; WOLOSHUK, C.P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and performance. **Journal of Stored Products Research**, v. 39, n. 1, p. 33-44, 2003.
- PEREIRA, A. M.; FARONI, L. R. D'A.; SOUSA, A. H.; URRUCHI, W. I.; ROMA, R. C. C. Efeito imediato e latente da fumigação com ozônio na qualidade dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 32, n. 2, p. 100-110, 2007.
- PEREIRA, A. M.; FARONI, L. R. A; SOUSA, A. H.; URRUCHI, W. 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**, v.12, n.5, p.493-497, 2008.
- PROPAN. Programa de Desenvolvimento da Alimentação, Confeitaria e Panificação. Perfil da Panificação. Disponível em: <http://www.propan.com.br/index.php>. Acesso em: 08 de outubro de 2011.
- ROZADO, A.F.; FARONI, L.R.A.; URRUCHI, W.M.I.; GUEDES, R.N.C. PAES, J.L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em

- milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 282-285, 2008.
- SANTOS, J.E.; MARTINS, M.A.; FARONI, L.R.A.; ANDRADE, M.P.; CARVALHO, M.C.S. Ozonization process: saturation time, decomposition kinetics and quality of maize grains (*Zea mays* L.). In: Sustainable agri-food industry use of ozone & related oxidants, 2007, Valencia. **Proceedings...** Valencia: IOA, 2007. p. 1-6.
- SOUSA, A.H.; FARONI, L.R.D.A.; GUEDES, R.N.C.; TÓTOLA, M.R.; URRUCHI, W.I. Ozone as a management alternative against phosphine-resistant insect pests of stored products. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, n.4, p. 379-385, 2008.
- TIWARI, B.K.; BRENNAN, C.S.; CURRAN, T.; GALLAGHER, E.; CULLEN, P.J.; O' DONNELL, C.P. Application of ozone in grain processing. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 248-255, 2010.
- YVIN, J.C.; BAILLI, A.; JOUBERT, J.M.; BERTAUD, O. Method and installation for making flour from ozone-treated grains. **United States Patent**, nº. 6915996B2, 11p. 2005.

# Capítulo 1

## CINÉTICA DE REAÇÃO DO GÁS OZÔNIO NA FARINHA DE TRIGO

### RESUMO

O objetivo neste trabalho foi avaliar a cinética de reação do gás ozônio na farinha de trigo. A ozonização da farinha de trigo nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> foi feita em um protótipo composto por um tambor cilíndrico e um sistema de mistura por rosca helicoidal. O gás ozônio foi produzido por um gerador, para o qual foi fornecido oxigênio industrial. Para quantificar a concentração de ozônio, utilizou-se o método iodométrico. A cinética de reação do gás na farinha de trigo foi avaliada por meio da determinação do tempo de saturação e da cinética de decomposição (taxa de decomposição e tempo de meia vida). Para determinar o tempo de saturação da farinha pelo ozônio, a concentração residual foi mensurada em intervalos de tempos regulares até que se mantivesse constante. A cinética de decomposição foi avaliada com a farinha de trigo previamente saturada, quantificando-se a concentração residual de ozônio em função do período de decomposição. O tempo de saturação da farinha de trigo com ozônio foi de 812, 434, 370 e 342 min para as concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Em todas as concentrações, o modelo cinético de decomposição obtido foi o de primeira ordem, em que a média da constante de taxa de decomposição foi de  $0,23 \pm 0,008 \text{ min}^{-1}$  e do tempo de meia vida do ozônio na farinha de trigo de  $3,02 \pm 0,081 \text{ min}$ . Conclui-se que com o aumento da concentração de ozônio foram requeridos menores tempos para saturar a farinha de trigo. A constante de taxa de decomposição e o tempo de meia vida não foram influenciados pelo aumento da concentração de ozônio.

**Palavras-chave:** Ozonização, saturação, taxa de decomposição, tempo de meia vida.

## REACTION KINETICS OF OZONE GAS IN WHEAT FLOUR

### ABSTRACT

The aims of the study were to investigate the reaction kinetics of ozone gas in wheat flour. The ozonization of flour at concentrations at 0.54, 1.07, 1.61 and 2.14 mg L<sup>-1</sup> was performed on a prototype consists of a cylindrical drum and a mixing system for helical thread. Ozone gas was produced by a generator, which oxygen was supplied industrial and quantification was carried out by iodometric method. The saturation time and decomposition kinetics (decay rate and half-life) were determined by reaction kinetics. The saturation time of wheat flour by ozone was determined by measuring the residual concentration at regular time intervals until remained constant. The decomposition kinetics was assessed by flour previously saturated, quantifying concentration of residual ozone in function of the decomposition time. The ozone saturation time was 812, 434, 370 and 342 min at concentrations of 0.54, 1.07, 1.61 and 2.14 mg L<sup>-1</sup>, respectively. The decomposition kinetic model obtained was first order, in which the decomposition rate constant average was  $0.23 \pm 0.008 \text{ min}^{-1}$  and half-life  $3.02 \pm 0,081\text{min}$ . Concluded that higher ozone concentration require less time to saturate the flour. The constant decay rate and half-time was not influenced by increasing the ozone concentration.

**Keyword:** Ozonation, saturation, decay rate, half-life



## 1. INTRODUÇÃO

A ozonização pode ser considerada um dos processos mais modernos, seguros e eficientes para a desinfecção e o controle de insetos-praga a ser implementada nas indústrias moageiras.

Como agente microbiano, o gás ozônio constitui uma excelente alternativa para substituir o cloro, um dos principais sanitizantes utilizados nas indústrias moageiras, em vista de ser mais eficiente na inativação de micro-organismos (XU, 1999; KHADRE et al., 2001; RAILA et al., 2006; TIWARI et al., 2010; SILVA et al., 2011).

Somado ao seu efeito sanitizante, o ozônio pode agir como fumigante com a finalidade de uma possível substituição ao inseticida fumigante fosfina, sendo eficaz em controlar os principais insetos-praga causadores de grandes prejuízos em grãos e subprodutos (FARONI et al., 2006) tais como *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera: Tenebrionidae) (KELLS et al., 2001; PEREIRA et al., 2008), *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) (KELLS et al., 2001; ROZADO et al., 2008; PEREIRA et al., 2008), *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) (ISIKBER et al., 2009). Adicionalmente, populações brasileiras de *T. castaneum*, *R. dominica*, *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae) não apresentaram resistência ao ozônio, independentemente, de serem resistentes ou susceptíveis à fosfina (SOUSA et al., 2008).

Embora a eficácia do gás ozônio na desinfecção e no controle de insetos-praga de grãos e subprodutos seja comprovada, para que o processo de ozonização seja implementado na indústria moageira são necessárias pesquisas com a finalidade de obter informações sobre o comportamento deste gás na farinha de trigo. De

acordo com Hardin et al. (2010), é inevitável entender o comportamento do gás ozônio para sua implementação como fumigante a nível industrial.

O estudo do comportamento de um gás em meios porosos compreende, em parte, a avaliação da cinética de reação pela determinação do tempo de saturação do meio com o gás e da cinética de decomposição do gás no meio. Esta cinética pode ser caracterizada pela taxa de decomposição e tempo de meia vida. No caso do gás ozônio constatou-se que este estudo foi conduzido apenas em grãos de milho (KELLS et al., 2001; HARDIN et al., 2010), trigo (HARDIN et al., 2010) e amendoim (ALENCAR et al., 2011).

A importância em avaliar a cinética de reação do gás ozônio em meios porosos consiste na determinação de concentrações e períodos de exposição apropriados, já que a concentração de ozônio se reduz por causa do mecanismo de decomposição, evitando assim o fracasso do processo. Além disso, a partir do conhecimento da cinética de reação do gás em meios porosos será possível prever a distribuição da concentração do gás ozônio em um determinado meio poroso e, assim, dimensionar sistemas industriais para sua aplicação (ALENCAR et al., 2011).

Diante do contexto apresentado, objetivou-se com este trabalho avaliar a cinética de reação do gás ozônio na farinha de trigo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Para estudar a cinética de reação do gás ozônio por meio do tempo de saturação, taxa de decomposição e tempo de meia vida, utilizou-se farinha de trigo

com teor de água de 13,9% base úmida (b.u.) e temperatura de 25 °C. A farinha de trigo, sem adição de aditivos, foi fornecida pelo Moinho Vera Cruz, localizado em Santa Luzia, MG e armazenada no Laboratório de Grãos do DEA em câmaras climáticas à temperatura de 25 °C.

O teor de água da farinha foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela AACCC (1999), método nº 44-15A, que recomenda temperatura de 130 °C por 1 h. As análises foram feitas em duplicata.

## 2.1 Protótipo para a ozonização da farinha de trigo

Para a ozonização da farinha de trigo foi construído um protótipo (Figura 1) composto por um tambor cilíndrico e em seu interior um sistema de mistura helicoidal de dupla hélice, ambos construídos em aço inoxidável. O tambor cilíndrico, com dimensões de 20 cm de diâmetro e 40 cm de comprimento, foi posicionado horizontalmente sobre uma estrutura de sustentação. Nas tampas localizadas em cada extremidade do cilindro foram instaladas conexões em posições opostas para injeção, a uma vazão de  $4,0 \text{ L min}^{-1}$ , e exaustão do ozônio.



Figura 1 - Protótipo para ozonização da farinha de trigo.

O sistema de mistura helicoidal de dupla hélice foi construído com a finalidade de manter a farinha de trigo em movimento durante o processo de ozonização, proporcionando assim uma mistura homogênea entre a farinha e o gás. O sistema helicoidal foi constituído por um eixo central e duas hélices, sendo o eixo central com 60 cm de comprimento e 4,1 cm de diâmetro; a hélice externa, com dimensão de 2,0 cm de largura, localizada a uma distância de 8,0 cm do eixo central; e a hélice interna, com dimensão de 3,5 cm de largura, localizada a uma distância de 5,0 cm do eixo central.

A fim de proporcionar o movimento do sistema de mistura helicoidal de dupla hélice, o eixo central foi conectado a uma redução, o qual foi acoplado a um motor de indução trifásico de 1.5 c.v. O ajuste da velocidade de rotação do sistema helicoidal para 28,5 rpm foi realizado por um inversor de frequência, modelo CFW08 da WEG.

## **2.2 Geração do gás ozônio**

O gás ozônio foi produzido por meio do gerador O&LM, desenvolvido pela empresa Ozone & Life<sup>®</sup>, São José dos Campos, SP. No processo de geração do gás foi utilizado como insumo oxigênio industrial com grau de pureza de 90±3%, isento de umidade. A concentração de ozônio foi obtida pelo ajuste de um variador de tensão do gerador e da vazão de oxigênio, que foi constantemente medida com um rotâmetro.

## **2.3 Quantificação do gás ozônio**

O método utilizado para quantificar a concentração de gás ozônio foi o iodométrico, pela titulação indireta (APHA, 1985), conforme recomendado pela International Ozone Association. Este método consiste no borbulhamento do gás ozônio residual, durante um minuto, em 50 mL de solução de iodeto de potássio, para

ocorrer a liberação de iodo ( $I_2$ ). Para garantir a produção de  $I_2$ , adiciona-se 2,5 mL de ácido sulfúrico 1 N, reduzindo assim o pH. Posteriormente, titula-se com tiosulfato de sódio 0,005 M até que a coloração amarela do iodo se torne clara. Em seguida, adiciona-se 1 mL de solução indicadora de amido 1% e titula-se até o desaparecimento da coloração azul. Devido à rápida decomposição do gás ozônio, a quantificação da sua concentração no meio foi feita imediatamente depois do borbulhamento.

#### **2.4 Cinética de reação do gás ozônio na farinha de trigo**

Para estudar a cinética de reação do gás ozônio, por meio da determinação do tempo de saturação, da constante da taxa de decomposição e do tempo de meia vida, faz-se necessário a passagem do ozônio na farinha de trigo até que ocorra a saturação do meio pelo gás. Sendo assim, amostra de 3,5 kg de farinha de trigo foi acondicionada no tambor cilíndrico do protótipo e exposta ao gás ozônio nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, a uma vazão de 4,0 L min<sup>-1</sup>. Estas concentrações foram estabelecidas a partir de testes preliminares, baseando-se nos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Grãos do DEA com gás ozônio em grãos. Para cada concentração, o experimento foi feito em triplicata.

A concentração de saturação da farinha de trigo pelo ozônio foi determinada quantificando a concentração residual do gás, pelo método iodométrico, em intervalos de tempo regulares até que se mantivesse constante.

Os resultados experimentais de saturação da farinha foram submetidos à análise de regressão *Linear Response Plateau*, com o uso do programa estatístico SAEG (SAEG, 2007).

A cinética de decomposição foi avaliada com a farinha de trigo previamente saturada, quantificando-se a concentração residual de ozônio em função do período

de decomposição. Para tal, o gás ozônio foi injetado no protótipo até que fosse atingida a concentração referente ao tempo de saturação encontrado, ou seja, a concentração de saturação. Ao alcançar esta concentração foi encerrada a injeção de ozônio no meio, deixando-o reagir durante um determinado período de tempo com o meio. Este processo foi realizado até que a concentração residual do gás ozônio se mantivesse praticamente constante. Os dados da concentração residual do gás ozônio em função do período de decomposição foram ajustados aos modelos cinéticos de ordem zero, de primeira e de segunda ordem, apresentados na Tabela 1 (WRIGHT, 2004).

Tabela 1 - Modelos cinéticos de decomposição

Ordem	Equação diferencial	Equação integrada e linearizada	
0	$\frac{dC}{dt} = -k$	$C = C_0 - kt$	(1)
1	$\frac{dC}{dt} = -kC$	$\ln C = \ln C_0 - kt$	(2)
2	$\frac{dC}{dt} = -kC^2$	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + kt$	(3)

em que:

- C= concentração de ozônio ( $\text{mg L}^{-1}$ );
- $C_0$  = concentração de ozônio no tempo inicial ( $\text{mg L}^{-1}$ );
- t = período de decomposição (min); e
- k = constante da taxa de decomposição ( $\text{min}^{-1}$ ).

A constante da taxa de decomposição é dada pela inclinação da reta depois do ajuste dos modelos integrados e linearizados. O ajuste dos modelos cinéticos de decomposição foi realizado por meio da análise de regressão, utilizando como parâmetro de escolha o maior valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ). A utilização do coeficiente de determinação como parâmetro de escolha consiste no fato de que os modelos cinéticos de ordem zero, de primeira e de segunda ordem sejam modelos de

regressão linear simples. O programa estatístico SAEG (SAEG, 2007) foi utilizado para a análise dos dados de decomposição.

Conhecendo-se o valor da constante da taxa de decomposição foi possível calcular o tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) do ozônio na farinha de trigo (Equação 4).

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (4)$$

### 3. RESULTADOS

Apresenta-se na Figura 2, a concentração residual de ozônio em função do período de exposição, durante o processo de saturação da farinha de trigo nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>.

Observou-se que, quanto maior a concentração de ozônio, menor o tempo requerido para detectar o gás na farinha de trigo (Figura 2). Na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup>, o ozônio residual só foi detectado a partir de 500 min, variando de 0,04 a 0,10 mg L<sup>-1</sup> até 1040 min de injeção do gás na farinha de trigo. Já na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup>, não foi detectado residual do gás até 220 min de exposição; a partir desse período, a concentração residual de ozônio variou de 0,05 a 0,12 mg L<sup>-1</sup> até 880 min. Quando o processo foi feito na concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup>, detectou-se o residual de ozônio após 55 min de injeção do gás, que variou de 0,04 a 0,13 mg L<sup>-1</sup> até 735 min. Na farinha de trigo ozonizada na concentração de 2,14 mg L<sup>-1</sup>, o gás ozônio residual foi detectado em apenas 10 min, variando de 0,02 a 0,14 mg L<sup>-1</sup> até 630 min de injeção do gás na farinha.

Verificou-se ainda na Figura 2 que, o tempo requerido para saturar a farinha de trigo com o gás reduz à medida que se utiliza maiores concentrações de ozônio. Na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup>, o tempo de saturação foi atingido a partir de 812 min, quando a concentração residual do gás ozônio manteve-se praticamente

constante. Nas concentrações de 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, o tempo de saturação ocorreu a partir de 434, 370 e 342 min, respectivamente.

A concentração de saturação praticamente não variou com o aumento da concentração do gás ozônio (Figura 2). As concentrações de saturação foram de 0,10, 0,12, 0,13 e 0,14 mg L<sup>-1</sup> nas concentração do gás ozônio de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

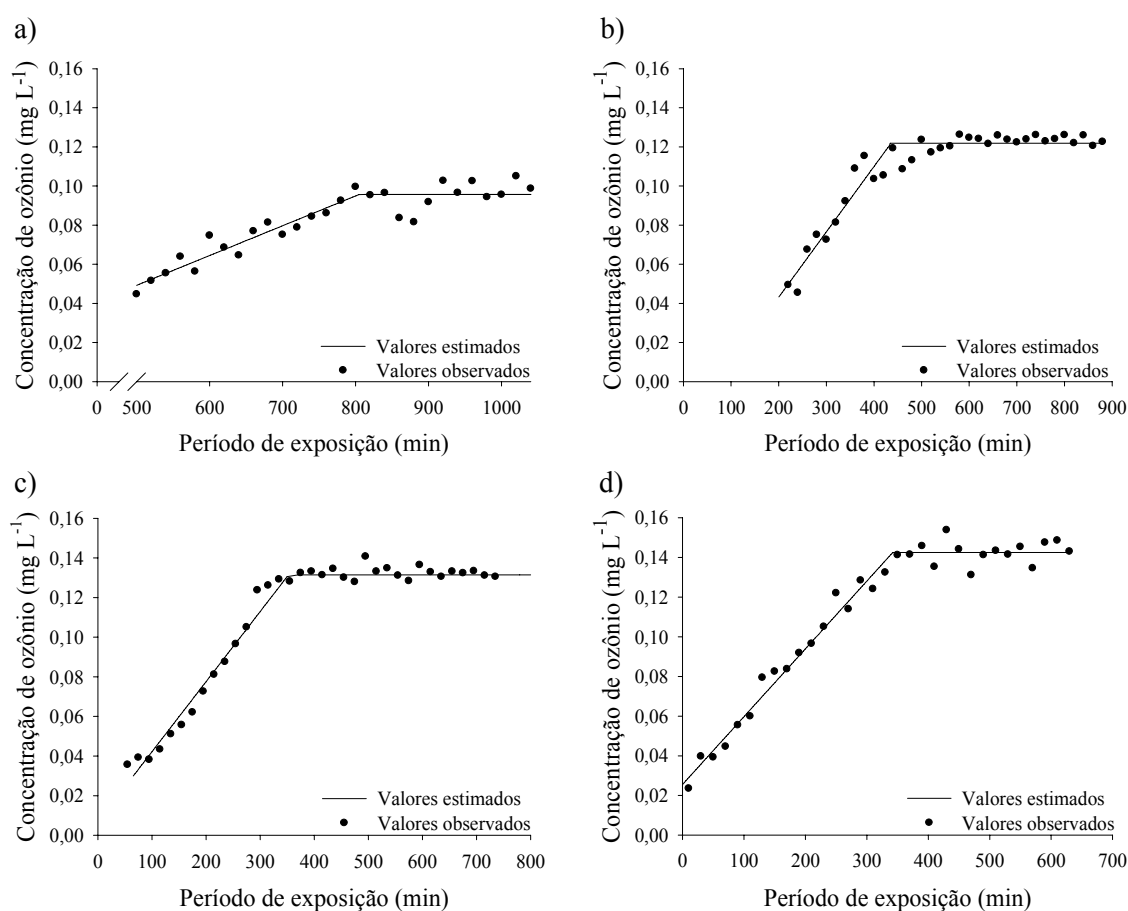


Figura 2 - Concentração residual de ozônio em função do período de exposição durante o processo de saturação da farinha de trigo. a) Concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) Concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) Concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) Concentração de 2,14 mg L<sup>-1</sup>.

Na Tabela 2 encontram-se as equações que descrevem o comportamento da concentração residual do ozônio em função do período de exposição, durante o



processo de saturação da farinha de trigo, de acordo com a análise de regressão *Linear Response Plateau*.

Tabela 2 - Equações de regressão ajustada aos dados da concentração residual de ozônio em função do período de exposição ao gás e os respectivos coeficientes de determinação

Concentração (mg L <sup>-1</sup> )	Intervalo	Equação	Coefficiente de determinação (r <sup>2</sup> )
0,54	$x_i < 812$	$\hat{y} = -0,0239 + 1,47 \cdot 10^{-4} x_i$	0,88
	$812 \leq x_i \leq 1040$	$\hat{y} = 0,096$	
1,07	$x_i < 434$	$\hat{y} = -0,0248 + 3,38 \cdot 10^{-4} x_i$	0,88
	$434 \leq x_i \leq 880$	$\hat{y} = 0,1219$	
1,61	$x_i < 370$	$\hat{y} = 0,0096 + 3,30 \cdot 10^{-4} x_i$	0,96
	$370 \leq x_i \leq 735$	$\hat{y} = 0,1315$	
2,14	$x_i < 342$	$\hat{y} = 0,0256 + 3,42 \cdot 10^{-4} x_i$	0,98
	$342 \leq x_i \leq 630$	$\hat{y} = 0,1425$	

em que  $x_i$  = período de exposição (min) e  $\hat{y}$  = concentração residual de ozônio (mg L<sup>-1</sup>).

Com o estudo da cinética de decomposição do gás ozônio na farinha de trigo previamente saturada verificou-se redução da concentração residual de ozônio em função do período de decomposição (Figura 3). A concentração de ozônio no início do processo de decomposição, ou seja, a concentração de saturação, variou de 0,10, 0,12, 0,13 e 0,14 mg L<sup>-1</sup> decorridos 5,15; 5,76; 5,69 e 5,42 min da exposição da farinha de trigo ao gás, respectivamente, até 0,02 mg L<sup>-1</sup> (Figura 3). A partir destes períodos, a concentração residual do gás apresentou-se constante.

Na Tabela 3, são apresentadas as equações que descrevem o comportamento da concentração residual do ozônio em função do período de decomposição do gás na farinha de trigo, de acordo com a análise de regressão *Linear Response Plateau*.

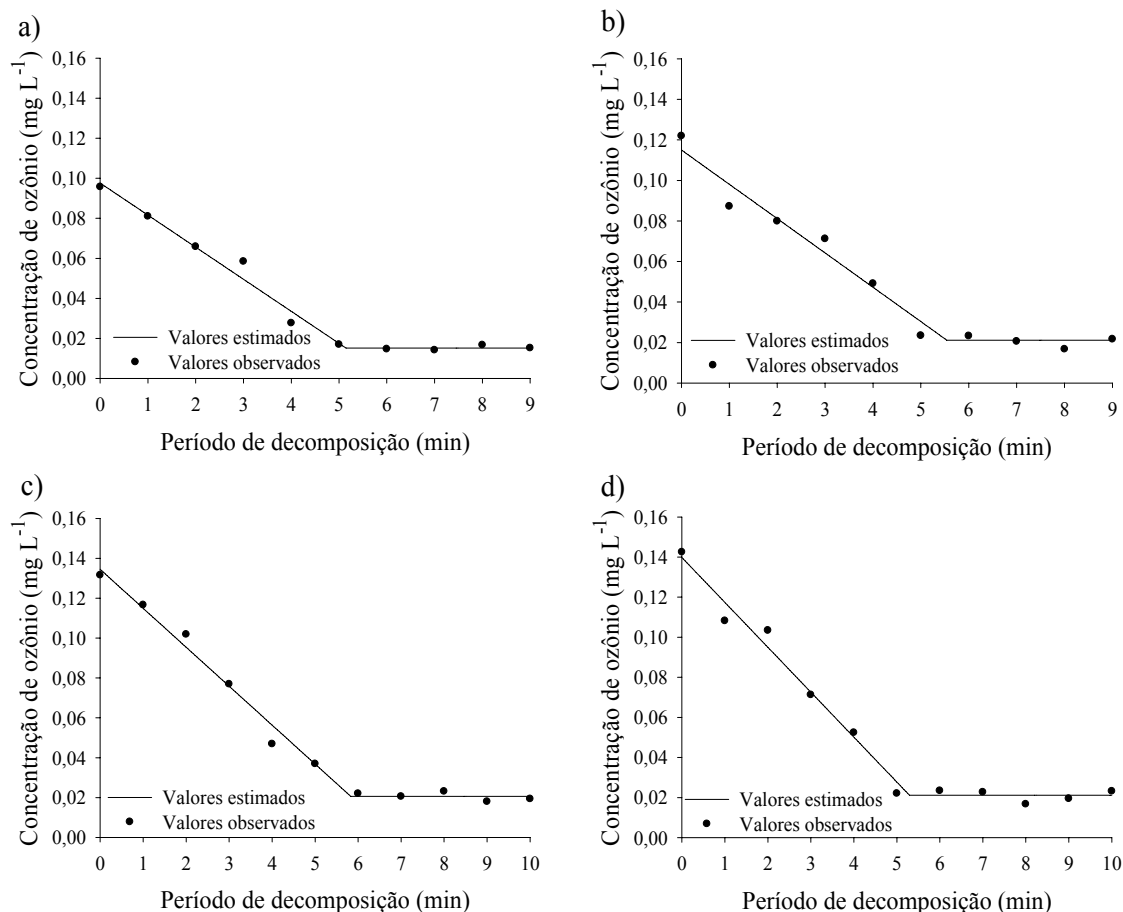


Figura 3 - Concentração residual de ozônio em função do período de decomposição do gás na farinha de trigo. a) Concentração de saturação de 0,10 mg L<sup>-1</sup>; b) Concentração de saturação de 0,12 mg L<sup>-1</sup>; c) Concentração de saturação de 0,13 mg L<sup>-1</sup>; e d) Concentração de saturação de 0,14 mg L<sup>-1</sup>.

Tabela 3 - Equações de regressão ajustada aos dados da concentração residual de ozônio em função do período de decomposição do gás e os respectivos coeficientes de determinação

Concentração de saturação (mg L <sup>-1</sup> )	Intervalo	Equação	Coefficiente de determinação (r <sup>2</sup> )
0,10	$x_i < 5,1472$	$\hat{y} = 0,0976 - 0,016 x_i$	0,97
	$5,1472 \leq x_i \leq 9$	$\hat{y} = 0,0152$	
0,12	$x_i < 5,7550$	$\hat{y} = 0,1142 - 0,016 x_i$	0,90
	$5,7550 \leq x_i \leq 9$	$\hat{y} = 0,0211$	
0,13	$x_i < 5,6929$	$\hat{y} = 0,1356 - 0,02 x_i$	0,98
	$5,6929 \leq x_i \leq 10$	$\hat{y} = 0,0206$	
0,14	$x_i < 5,4235$	$\hat{y} = 0,139 - 0,022 x_i$	0,96
	$5,4235 \leq x_i \leq 10$	$\hat{y} = 0,0212$	

em que  $x_i$  = período de decomposição (min) e  $\hat{y}$  = concentração residual de ozônio (mg L<sup>-1</sup>).

O melhor grau de ajuste do modelo cinético de decomposição foi obtido com o de primeira ordem, em que o módulo da constante de taxa de decomposição nas concentrações de saturação de 0,10, 0,12, 0,13 e 0,14 mg L<sup>-1</sup> foi de 0,24, 0,23, 0,23 e 0,22 min<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Modelos cinéticos de decomposição

Concentração de saturação (mg L <sup>-1</sup> )	Ordem	Equação integrada e linearizada	Coefficiente de determinação (r <sup>2</sup> )
0,10	0	$C = 0,084 - 0,009t$	0,84
	1	$\ln C = -2,357 - 0,237t$	0,91
	2	$\frac{1}{C} = 4,571 + 7,548t$	0,89
0,12	0	$C = 0,102 - 0,011t$	0,87
	1	$\ln C = -2,168 - 0,23t$	0,90
	2	$\frac{1}{C} = 4,214 + 5,895t$	0,87
0,13	0	$C = 0,116 - 0,012t$	0,86
	1	$\ln C = -2,033 - 0,226t$	0,92
	2	$\frac{1}{C} = 2,706 + 5,504t$	0,91
0,14	0	$C = 0,115 - 0,012t$	0,81
	1	$\ln C = -2,084 - 0,222t$	0,85
	2	$\frac{1}{C} = 4,889 + 5,311t$	0,81

O tempo de meia vida do ozônio na farinha de trigo nas concentrações de saturação de 0,10, 0,12, 0,13 e 0,14 mg L<sup>-1</sup> foi, respectivamente, de 2,92, 3,00, 3,06 e 3,11 min, considerando a cinética de primeira ordem.

#### 4. DISCUSSÃO

O comportamento do ozônio na farinha de trigo durante o processo de saturação pode ser explicado pelo fenômeno descrito como demanda de ozônio pelo

meio. Este fenômeno está relacionado com a necessidade de saturação dos sítios ativos responsáveis pela decomposição do gás no início do processo de ozonização (KIM et al., 1999). De acordo com Kells et al. (2001), o início da ozonização é caracterizado pela rápida decomposição e lenta movimentação do gás através do meio poroso, em virtude da sua reação com os sítios ativos presentes na superfície do produto. Uma vez que esses sítios são saturados, o gás flui livremente pelos interstícios dos grãos com menor taxa de decomposição. Dessa forma, com o aumento da concentração de ozônio, mais sítios ativos são saturados em menor tempo e, conseqüentemente, o tempo requerido para a saturação do meio é menor.

O processo de saturação com o gás ozônio, na concentração de  $0,45 \text{ mg L}^{-1}$ , foi estudado para amendoim (ALENCAR et al., 2011). O tempo para saturar esses grãos com teor de água de 7,1 e 10,5% e temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  foi de até 230 min, ou seja, inferior aos encontrados para a farinha de trigo (812 min na concentração de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ , 434 min na concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$ , 370 min na concentração de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  e 342 min para a concentração de  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ ).

A partir dos resultados reportados por estes autores e comparando com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se inferir que, além da concentração inicial de aplicação, o fator tipo de produto influencia no processo de saturação de um meio poroso com o gás ozônio. Quanto menor forem as dimensões das partículas do produto, maior será a área superficial total exposta, o que resulta em maior taxa de reação (WRIGHT, 2004), promovendo um processo de saturação mais lento. Como a área superficial das partículas de farinha de trigo é muito maior que a dos grãos de amendoim, espera-se maior tempo para atingir a saturação da farinha quando a ozonização for a mesma concentração.

O modelo cinético de primeira ordem tem sido utilizado para determinar a taxa de decomposição do ozônio e, conseqüentemente, o tempo de meia vida em diferentes produtos (HARDIN et al., 2010; ALENCAR et al., 2011). Nesse estudo, praticamente não houve variação do comportamento cinético do gás ozônio na farinha de trigo em função do aumento das concentrações, apresentando em média a taxa de decomposição de  $0,23 \pm 0,008 \text{ min}^{-1}$  e tempo de meia vida de  $3,02 \pm 0,081$  min. Comparativamente a esses valores, grãos de amendoim ozonizados na temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  apresentaram valores de taxa de decomposição de  $0,090$  e  $0,094 \text{ min}^{-1}$  e valores de tempo de meia vida de  $7,7$  e  $7,4$  min, para os teores de água de  $7,1$  e  $10,5\%$  b.u., respectivamente (ALENCAR et al., 2011).

Ao ozonizar grãos de milho na temperatura de  $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$  e de trigo na temperatura de  $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , Hardin et al. (2010) relataram que a constante da taxa de decomposição foi de  $5,8 \times 10^{-5}$  e  $5,5 \times 10^{-5} \text{ min}^{-1}$  e o tempo de meia vida foi  $3,42$  e  $3,50$  min, respectivamente. A taxa de decomposição em grãos de amendoim, milho e trigo foi inferior à encontrada para farinha de trigo, enquanto os tempos de meia vida foram superiores. Dessa forma, os resultados referentes à constante de taxa de decomposição do gás ozônio assim como os tempos de meia vida confirmam que, além do fator temperatura, o processo de ozonização exibe comportamento distinto de acordo com o tipo de produto. Em razão de a farinha de trigo apresentar maior área superficial do que os grãos, maior é a área para que a reação ocorra, o que pode ter acarretado maiores taxa de decomposição e menores tempo de meia vida.

O conhecimento da cinética de reação do gás ozônio é de fundamental importância para sua implementação em unidades moageiras, uma vez que caracteriza o comportamento deste gás na farinha de trigo. Em adição, o fato do ozônio se decompor rapidamente em oxigênio e, conseqüentemente, não deixar

resíduos nos produtos torna-se um atrativo para a implementação dessa nova tecnologia em diversos setores alimentícios.

## 5. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que:

- Com o aumento da concentração de ozônio menores tempos foram requeridos para a saturação da farinha de trigo;
- O modelo que melhor se ajustou aos dados de cinética de decomposição foi o de primeira ordem; e
- A constante da taxa de decomposição e o tempo de meia vida, que evidencia a interação do sistema ozônio-farinha de trigo, não foram influenciados pelo aumento da concentração de ozônio.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of AACC**. 10.ed. Saint Paul: AACC, 1999.

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

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 16 ed. Washington: APHA, 1985.

FARONI, L.R.A.; SOUSA, A.H. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados. In: ALMEIDA, F.A.C.; DUARTE, M.E.M.; MATA, M. E.R.M.C. (Eds.) **Tecnologia de armazenagem em sementes**, Campina Grande: UFCG, 2006. p. 371-402.

HARDIN, J.A.; JONES, C.L.; BONJOUR, E.L.; NOYES, R.T.; BEEBY, R.L.; ELTISTED, D.A.; Decker, S. Ozone fumigation of stored grain; closed-loop recirculation and the rate of ozone consumption. **Journal of Stored Products Research**, v. 46, p. 149-154, 2010.

- 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**, v. 45, n. 3, p. 159-164, 2009.
- KELLS, S.A.; MASON, L.J.; MAIER, D.E.; WOLOSOSHUK, C.P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, n. 4, p. 371-383, 2001.
- KHADRE, M.A.; YOUSEF, A.E.; KIM, J.G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 9, p. 1242-1252, 2001.
- KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; DAVE, S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. **Journal of Food Protection**, v. 62, p. 1071-1087, 1999.
- PEREIRA, A.M.; FARONI, L.R.A.; SOUSA, A.H.; URRUCHI, W.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**, v.12, n.5, p.493-497, 2008.
- RAILA, A.; LUGAUSKAS, A.; STEPONAVIČIUS, D.; RAILIENĖ, M.; STEPONAVIČIENĖ, A.; ZVICEVIČIUS, E. Application of ozone for reduction of mycological infection in wheat grain. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v.13, n.2, p.287-294, 2006.
- ROZADO, A.F.; FARONI, L.R.A.; URRUCHI, W.M.I.; GUEDES, R.N. C. PAES, J.L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 282-285, 2008.
- SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SILVA, S.B.; LUVIELMO, M.M.; GEYER, M.C.; PRÁ, I. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 659-682, 2011.
- SOUSA, A.H.; FARONI, L.R.D.A.; GUEDES, R.N.C.; TÓTOLA, M.R.; URRUCHI, W.I. Ozone as a management alternative against phosphine-resistant

insect pests of stored products. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, n.4, p. 379-385, 2008.

TIWARI, B.K.; BRENNAN, C. .; CURRAN, T.; GALLAGHER, E.; CULLEN, P.J.; O' DONNELL, C.P. Application of ozone in grain processing. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 248-255, 2010.

WRIGHT, M.R. **An introduction to chemical kinetics**. Ed. John Wiley & Sons, Ltd. New York, 2004. 441pp.

XU, L. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. **Food and Technology**, v. 53, n. 10, p. 58-61, 1999.



## Capítulo 2

### PROCESSO DE OZONIZAÇÃO DA FARINHA DE TRIGO E SEU EFEITO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

#### RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o processo de ozonização da farinha de trigo e seus efeitos nas características físico-químicas. O processo de ozonização da farinha de trigo nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> durante 9, 11, 13, 15 e 17 h, de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1, 4, 7, 10 e 13 h e de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> por 2, 4, 6, 8 e 10 h foi realizado em um protótipo composto por um tambor cilíndrico e um sistema de mistura helicoidal de dupla hélice. Os efeitos nas características físico-químicas da farinha de trigo foram avaliados pelas análises de teor de água, cinzas e proteínas, pH, *falling number* e cor. A composição centesimal e o pH da farinha de trigo ozonizada não foram alterados quando comparados com a farinha controle, porém se observou tendência na redução destes parâmetros em função do período de exposição ao gás. O *falling number* da farinha ozonizada apresentou diferença significativa do controle e aumentou com o período de exposição. A luminosidade L\* e a coordenada a\* da farinha de trigo ozonizada foram significativamente superiores ao da farinha controle e aumentaram com o período de exposição, indicando um aumento da intensidade do branco, enquanto a coordenada b\* se reduziu por causa da oxidação dos pigmentos amarelos. O efeito branqueador do gás ozônio na farinha de trigo pode ser confirmado pela diferença total de cor. O processo de ozonização não interferiu na composição centesimal e no pH e foi eficiente no branqueamento da farinha de trigo.

**Palavras-chave:** Ozônio, composição centesimal, *falling number*, pH, branqueamento.

## **OZONATION PROCESS OF WHEAT FLOUR AND ITS EFFECT ON PHYSICAL-CHEMICAL**

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the process of ozonization of wheat flour and their effects on physical-chemical characteristics. The ozonization process of wheat flour, at concentrations 0.54 mg L<sup>-1</sup> at 9, 11, 13, 15 and 17 h, 1.07 mg L<sup>-1</sup> at 1, 4, 7, 10 and 13 h and 1.61 and 2.14 mg L<sup>-1</sup> for 2, 4, 6, 8 and 1 h, was conducted on a prototype consists of a cylindrical drum and a mixing system for helical thread. It was evaluated the effects on physic-chemical characteristics of wheat flour by analysis of water, ash and protein content, pH, falling number and color. The chemical composition and pH of the flour ozonated were not altered when compared with the control, but showed a tendency to reduce these parameters according to exposure period. The falling number of flour ozonated showed significant difference from the control and increased with exposure period. The brightness L\* and the coordinate a\* wheat flour ozonated were significantly higher than those of control and increased with exposure period, indicating an increase in intensity of the blank, while b\* coordinate reduced due to oxidation of yellow pigments. The bleaching effect of ozone gas in flour can be confirmed by the total difference in color. The ozonation process did not affect the chemical composition and pH and it was effective in the bleaching of flour.

**Keywords:** Ozone, composition, falling number, pH, bleaching.

## **1. INTRODUÇÃO**

A farinha de trigo é de fundamental importância tanto na economia brasileira quanto na alimentação humana pelo fato de possuir várias aplicações na indústria alimentícia e seus derivados serem extremamente consumidos pela população brasileira (FERREIRA, 2003; COSTA et al., 2008). Segundo Abima (2011), a produção nacional de farinha de trigo, no ano safra 2010/2011, atingiu cerca de 4,2 milhões de toneladas e o consumo foi de, aproximadamente, 7,7 milhões de toneladas. No entanto, entre os fatores que podem acarretar perdas e redução do consumo, destacam-se a presença de insetos-praga e a contaminação microbiológica.

A ozonização, por ser eficaz no controle de insetos-praga (PEREIRA et al., 2008; ROZADO et al., 2008; SOUSA et al., 2008; ISIKBER et al., 2009) e um potente agente antimicrobiano (RAILA et al., 2006; WU et al., 2006; ALENCAR et al., 2011a), sem afetar a qualidade dos produtos (IBANOGLU, 2001; MENDEZ et al., 2003; YVIN et al., 2005; PEREIRA et al., 2007; ALENCAR et al., 2011b) constitui um excelente processo a ser implementado nas indústrias moageiras.

A utilização do ozônio vem se tornando viável, uma vez que pode ser gerado no próprio local de uso, sendo necessários como, insumos apenas eletricidade e ar ou oxigênio, o que descarta a necessidade de manipulação, armazenamento ou eliminação dos recipientes de produtos químicos, quando comparado aos fumigantes e desinfetantes tradicionais (KELLS et al., 2001; KIM et al., 2003; MENDEZ et al., 2003). Adicionalmente, pelo tempo de meia vida ser curto e o produto de sua degradação, o oxigênio, não deixar resíduo nos produtos ozonizados, pode ser aplicado em alimentos sem risco de toxidez para os consumidores (MENDEZ et al., 2003; GUZEL-SEYDIM et al., 2004; CHIATTONE et al., 2008; TIWARI et al., 2010).

Em vista de as indústrias moageiras estabelecer padrões de qualidade para as farinhas, baseados na determinação da composição centesimal (teor de água, teor de cinzas e teor de proteínas), pH, *falling number* (número de queda) e cor (GRAS et al., 2000; MIRALBÉS, 2004), torna-se necessário o conhecimento do efeito do gás ozônio nas características físico-químicas quando aplicado diretamente na farinha de trigo. Estudos relataram que a farinha de trigo obtida de grãos ozonizados na concentração de 50 ppm (equivalente a 0,11 mg L<sup>-1</sup>) não apresentou diferenças significativas no rendimento de moagem e teor de água, cinzas e proteínas quando comparada com a farinha de trigo obtida de grãos não ozonizados (MENDEZ et al., 2003). O rendimento de moagem e as características físico-químicas (teor de proteínas, *falling number* e cor) da farinha de trigo obtida de grãos condicionados em água ozonizada nas concentrações de 1,5 e 11,5 mg L<sup>-1</sup> não apresentaram diferenças da farinha obtida de grãos condicionados em água não ozonizada (IBANOGLU, 2001).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, avaliar o processo de ozonização da farinha de trigo e seus efeitos nas características físico-químicas composição centesimal, pH, *falling number* e cor.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O processo de ozonização da farinha de trigo foi conduzido no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). As análises físico-químicas foram feitas no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do DEA e no Laboratório de Moagem e de Reologia da empresa Vilma Alimentos, localizado em Contagem, MG.

Utilizou-se no experimento farinha de trigo, sem a adição de aditivos, fornecida pelo Moinho Vera Cruz, localizado em Santa Luzia, MG. No Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, a farinha de trigo foi armazenada em sacos de polietileno no interior de câmaras climáticas à temperatura de 25 °C.

## **2.1 Ozonização da farinha de trigo**

O processo de ozonização da farinha de trigo (3,5 kg), nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, foi realizado no protótipo descrito no Capítulo 1, subitem 2.1. Para cada concentração, o processo de ozonização foi feito em triplicata. A geração e a quantificação do gás ozônio foram realizadas de acordo com a metodologia adotada no Capítulo 1, subitens 2.2 e 2.3, respectivamente.

A partir do estudo de cinética de reação do gás ozônio na farinha de trigo (Capítulo 1), estabeleceram-se os períodos de exposição de: 9, 11, 13, 15 e 17 h com a concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup>; 1, 4, 7, 10 e 13 h com a concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup>; e 2, 4, 6, 8 e 10 h com as concentrações de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>.

## **2.2 Avaliação das características físico-químicas da farinha de trigo**

### **2.2.1 Teor de água**

O teor de água da farinha foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela AACC (1999), método nº 44-15A usando temperatura de 130 °C por 1 h. As análises foram feitas em duplicata.

### **2.2.2 Teor de cinzas**

O teor de cinzas foi determinado pelo método nº 8-12 da AACC (1999) usando amostra de 5 g de farinha e temperatura de 550 °C por 7 h. A análise foi feita em duplicata.

### 2.2.3 Teor de proteínas

O teor de proteína foi determinado pelo nitrogênio total, empregando-se a técnica Kjeldahl, de acordo com o método nº 46-13 da AACC (1999), utilizando o fator 5,7 para a conversão em proteína bruta. A análise foi feita em duplicata.

### 2.2.4 pH

O pH foi determinado conforme a metodologia descrita pelo IAL (2005), utilizando-se um pHmetro digital de bancada. A análise foi feita em duplicata.

### 2.2.5 *Falling Number*

O *falling number*, também chamado de número de queda, da farinha foi determinado com o aparelho *Falling Number*, modelo 1500 Fungal (Perten Instruments, Suíça) de acordo com o método nº 56-81B da AACC (1999). A análise foi feita em duplicata.

### 2.2.6 Cor

A cor da farinha de trigo foi mensurada em equipamento colorímetro Minolta® CR 400 (iluminante C e ângulo 10°) pelo sistema CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). Os parâmetros avaliados foram as coordenadas L\*, a\* e b\*. A coordenada L\* ou luminosidade indica a intensidade do branco. Os valores negativos de a\* indicam que a farinha apresenta tons verdes, enquanto os valores positivos do parâmetro b\* indicam a presença de tons amarelo da farinha. A análise foi feita em duplicata.

Para uma melhor avaliação da cor da farinha, calculou-se a diferença total de cor ( $\Delta E$ ) por meio da Equação 1.

$$\Delta E = \left( \Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} \right)^{0,5} \quad (1)$$

em que:

$\Delta L^*$  = diferença entre as coordenadas  $L^*$  da farinha de trigo ozonizada e controle;  
 $\Delta a^*$  = diferença entre as coordenadas  $a^*$  da farinha de trigo ozonizada e controle; e  
 $\Delta b^*$  = diferença entre as coordenadas  $b^*$  da farinha de trigo ozonizada e controle.

### **2.3 Delineamento experimental e análises estatísticas**

Nas análises referentes às características físico-químicas da farinha de trigo foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (D.I.C.), com cinco períodos de exposição para cada concentração (quatro) em três repetições mais um controle.

A comparação dos valores médios das análises da farinha de trigo ozonizada em relação ao controle foi realizada pelo teste Dunnett a 5% probabilidade, com o uso do programa estatístico SAEG (SAEG, 2007).

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos da farinha de trigo ozonizada foram analisados, em função do período de exposição ao gás, para cada concentração, pela análise de regressão, utilizando o programa estatístico SAEG (SAEG, 2007). Os modelos foram escolhidos adotando os seguintes critérios: coeficientes significativos até 5% de probabilidade, coeficiente de determinação e comportamento do fenômeno.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Avaliação da composição centesimal, pH e *falling number* da farinha de trigo**

Na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup>, os valores médios de teor de água da farinha de trigo ozonizada em diferentes períodos de exposição ao gás apresentaram resultados inferiores ( $p < 0,05$ ) ao valor médio da farinha controle pelo teste Dunnett, enquanto na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup>, não houve diferença significativa (Tabela 1). Já nas concentrações de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, apenas no período de exposição de 2 h não houve diferença estatística entre os valores médios de teor de água da farinha

ozonizada e controle (Tabela 1). Nessas concentrações o teor de água da farinha ozonizada foi inferior ao encontrado para a farinha controle.

Comparando os valores médios de teor de cinzas, de proteína e o pH da farinha de trigo controle com a ozonizada, verificou-se que não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade, com exceção para o teor de cinzas na concentração de 2,14 mg L<sup>-1</sup> durante 8 e 10 h e pH na concentração de 2,14 mg L<sup>-1</sup> em todos os períodos de exposição ao gás (Tabela 1).

Com relação à comparação entre os valores médios de *falling number* da farinha de trigo controle e ozonizada, observou-se diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade, sendo os valores de *falling number* da farinha ozonizada superiores ao encontrados para a farinha controle (Tabela 1).



Tabela 1 - Valores médios de composição centesimal, pH e *falling number* da farinha de trigo controle e ozonizada em diferentes concentrações e períodos de exposição ao gás

Tratamento	Teor de água (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de proteínas (%)	pH	<i>Falling number</i> (s)	
Controle	13,9	0,87	10,58	6,10	355	
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	12,6*	0,76	10,59	5,99	392*
	11 h	12,6*	0,73	10,59	5,96	410*
	13 h	12,6*	0,70	10,48	5,89	419*
	15 h	12,6*	0,69	10,44	5,90	444*
	17 h	12,3*	0,67	10,42	5,89	445*
Controle	13,9	0,87	10,58	6,10	355	
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	13,2	0,78	10,58	6,06	379*
	4 h	13,1	0,78	10,58	5,98	412*
	7 h	13,0	0,75	10,56	5,98	428*
	10 h	12,7	0,73	10,54	5,90	483*
	13 h	12,6	0,73	10,53	5,86	490*
Controle	13,9	0,87	10,58	6,10	355	
1,61 mg L <sup>-1</sup>	2 h	13,2	0,76	10,61	6,07	378*
	4 h	13,0*	0,73	10,62	6,01	436*
	6 h	13,0*	0,67	10,58	5,92	445*
	8 h	12,7*	0,67	10,53	5,89	490*
	10 h	12,4*	0,64	10,51	5,88	490*
Controle	13,9	0,87	10,58	6,10	355	
2,14 mg L <sup>-1</sup>	2 h	13,4	0,78	10,57	5,93*	392*
	4 h	12,7*	0,73	10,57	5,86*	468*
	6 h	11,9*	0,73	10,57	5,82*	487*
	8 h	11,7*	0,69*	10,55	5,77*	490*
	10 h	11,6*	0,61*	10,54	5,75*	490*

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

O teor de água, cinzas e proteína e o pH da farinha de trigo ozonizada reduziu linearmente à medida que aumentou o período de exposição ao gás ozônio (Figura 1). A redução do teor de água, cinzas e proteína e do pH da farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> foi de 0,04, 0,06, 0,09 e 0,23 (Figura 1), 0,01, 0,004, 0,02 e 0,02 (Figura 2), 0,02, 0,005, 0,01 e 0,004 (Figura 3) e 0,01, 0,02, 0,03 e 0,02 (Figura 4), respectivamente, para cada hora de variação.

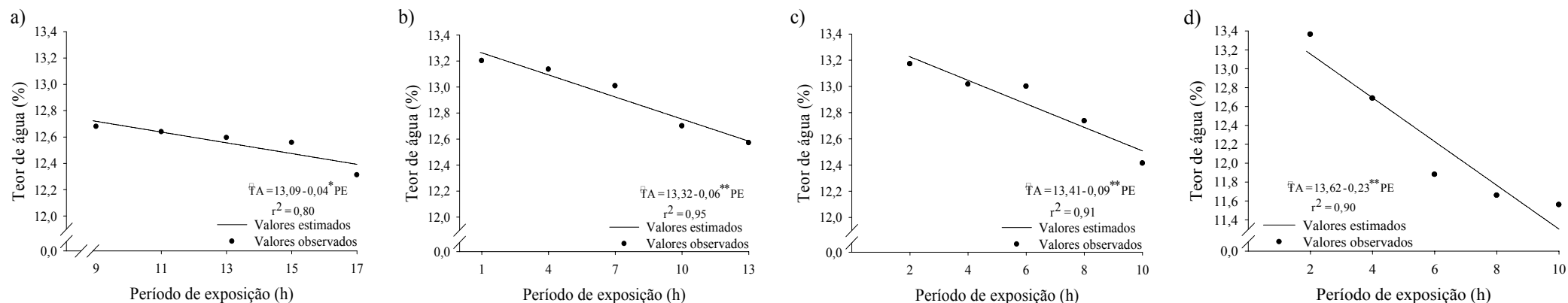


Figura 1 - Valores estimados e observados do teor de água (TA) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

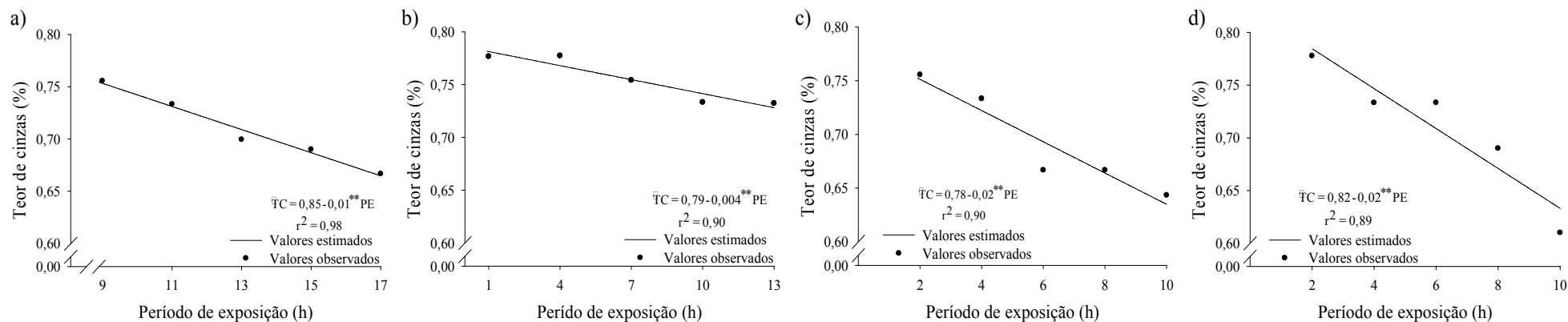


Figura 2 - Valores estimados e observados do teor de cinzas (TC) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

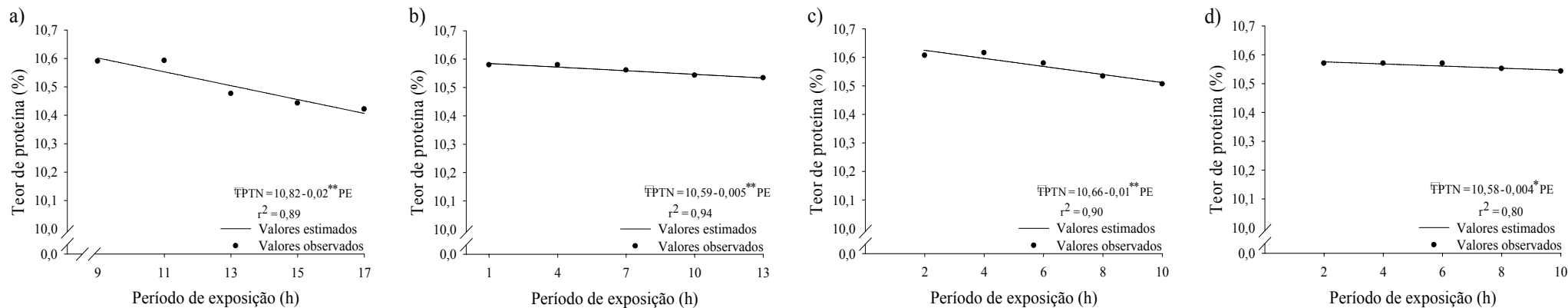


Figura 3 - Valores estimados e observados do teor de proteína (TP) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

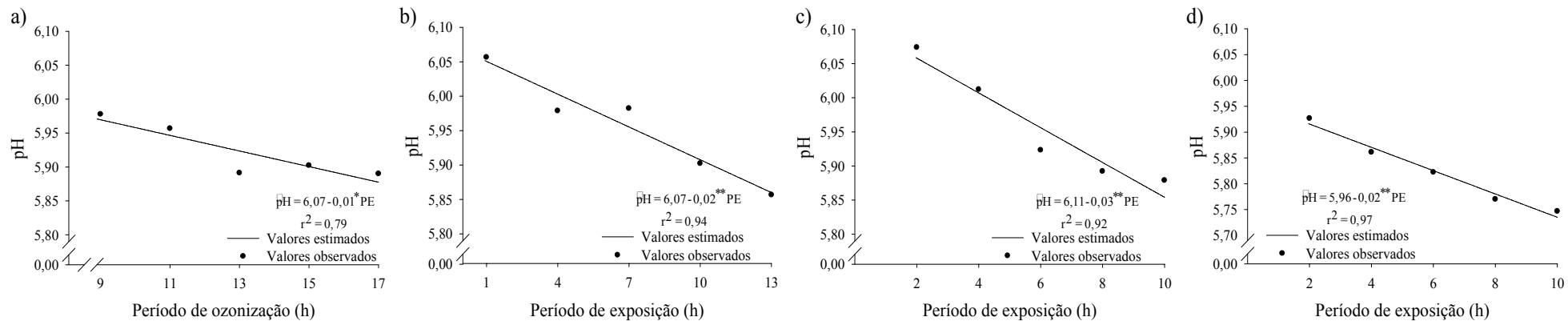


Figura 4 - Valores estimados e observados do pH da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Os dados de *falling number* da farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54, 1,07 e 1,61 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás ajustaram-se ao modelo linear, enquanto na concentração de 2,14 mg L<sup>-1</sup>, ao modelo *Linear Response Plateau* (Figura 5). Observou-se aumento do *falling number* da farinha de trigo com o aumento do período de exposição ao gás. Nas concentrações de 0,54, 1,07 e 1,61 mg L<sup>-1</sup>, o aumento foi de 6,98, 9,78 e 13,98 para cada hora em que se aumentou o período de exposição, respectivamente. Na concentração de 2,14 mg L<sup>-1</sup> o aumento foi até 4,55 h de ozonização, mantendo-se constante a partir deste período.

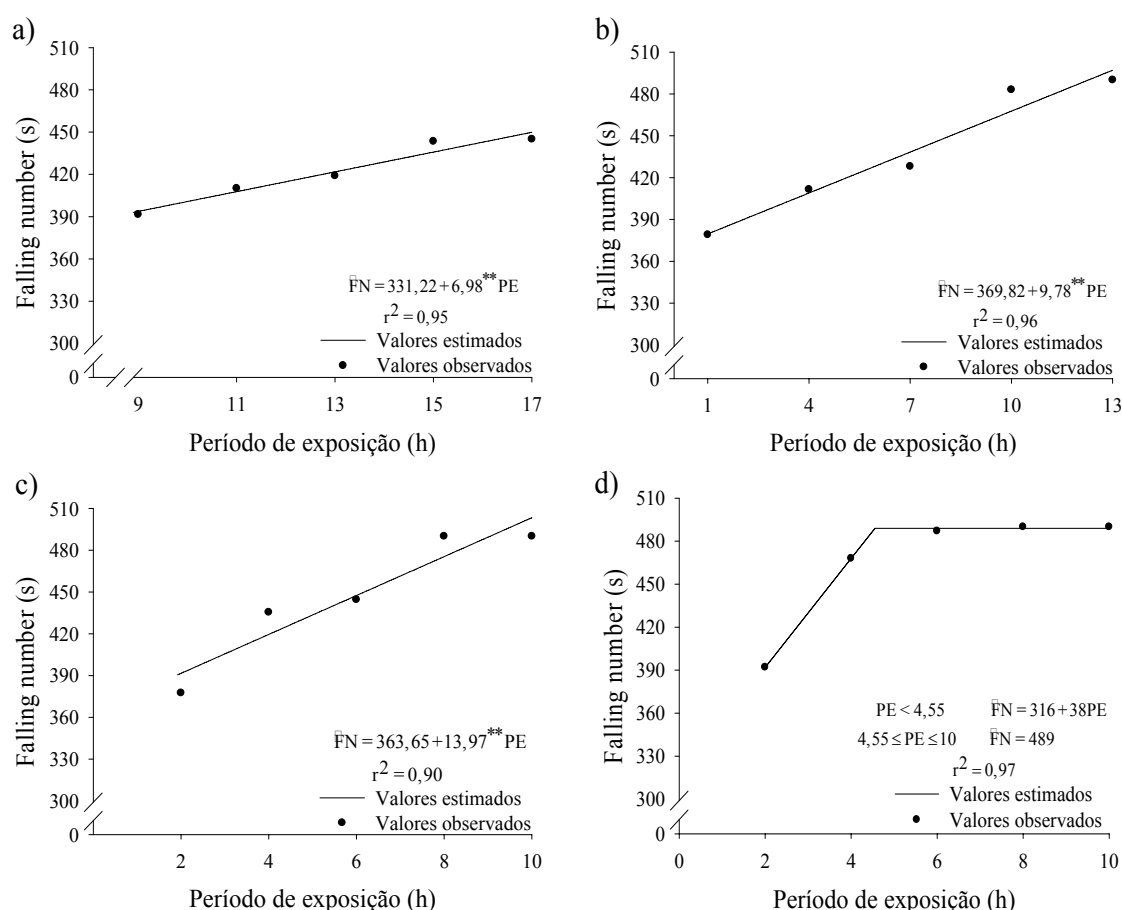


Figura 5 - Valores estimados e observados do *falling number* (FN) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE).  
 \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

### 3.2 Cor da farinha de trigo

Os valores médios das coordenadas L\* e b\* e da diferença total de cor ( $\Delta E$ ) da farinha de trigo ozonizada diferiram significativamente do valor médio do controle pelo teste Dunnett ao nível de probabilidade de 5%, com exceção da coordenada b\* da farinha ozonizada na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup> durante 1 h (Tabela 2). Com relação à coordenada a\*, houve diferença estatística entre a farinha de trigo controle e a ozonizada na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup> em todos os períodos de exposição e na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup> a partir de 7 h de ozonização (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores médios de L\*, a\*, b\* e  $\Delta E$  da farinha de trigo controle e ozonizada em diferentes concentrações e períodos de exposição ao gás

Tratamento		L*	a*	b*	$\Delta E$
Controle		82,64	-0,38	9,70	0,00
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	85,83*	-0,15*	9,00*	3,30*
	11 h	85,83*	-0,13*	8,91*	3,32*
	13 h	85,94*	-0,07*	8,39*	3,57*
	15 h	85,99*	-0,04*	8,20*	3,69*
	17 h	86,14*	-0,04*	8,08*	3,87*
Controle		82,64	-0,38	9,70	0,00
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	84,78*	-0,27	9,52	2,16*
	4 h	84,84*	-0,19	8,54*	2,52*
	7 h	85,02*	-0,11*	8,50*	2,70*
	10 h	85,01*	-0,04*	8,06*	2,92*
	13 h	85,04*	-0,04*	8,06*	2,99*
Controle		82,64	-0,38	9,70	0,00
1,61 mg L <sup>-1</sup>	2 h	84,12*	-0,30	8,87*	1,79*
	4 h	85,22*	-0,20	8,17*	3,03*
	6 h	85,33*	-0,14	8,07*	3,17*
	8 h	85,38*	-0,14	7,95*	3,29*
	10 h	85,40*	-0,11	7,80*	3,43*
Controle		82,64	-0,38	9,70	0,00
2,14 mg L <sup>-1</sup>	2 h	85,08*	-0,19	9,01*	2,56*
	4 h	85,11*	-0,17	8,30*	2,85*
	6 h	85,46*	-0,16	8,18*	3,21*
	8 h	85,61*	-0,15	8,10*	3,39*
	10 h	86,11*	-0,15	7,91*	3,92*

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Observou-se efeito linear nos dados das coordenadas  $L^*$  (Figura 6),  $a^*$  (Figura 7) e  $b^*$  (Figura 8) e do  $\Delta E$  (Figura 9) da farinha de trigo em função do período de exposição ao gás, com exceção dos dados da coordenada  $L^*$  e do  $\Delta E$  da farinha ozonizada na concentração de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$ , que se ajustaram ao modelo *Linear Response Plateau*.

A luminosidade (coordenada  $L^*$ ) da farinha de trigo aumentou 0,04, 0,02 e 0,13 (Figura 6) e o  $\Delta E$  0,08, 0,07 e 0,16 (Figura 9) para cada hora de variação nas concentrações de 0,54, 1,07 e  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. Na concentração de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$ , o aumento da coordenada  $L^*$  foi até 4,27 h de ozonização e do  $\Delta E$  até 4,42 h, mantendo-se constante a partir deste período.

Para cada hora em que se aumentou o período de exposição, ocorreu aumento de 0,02 da coordenada  $a^*$  da farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54, 1,07,  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  e de 0,01 na concentração de  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 7), enquanto nas concentrações de 0,54, 1,07,  $1,61$  e  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ , a coordenada  $b^*$  se reduziu 0,13, 0,11, 0,11 e 0,12, respectivamente (Figura 8).

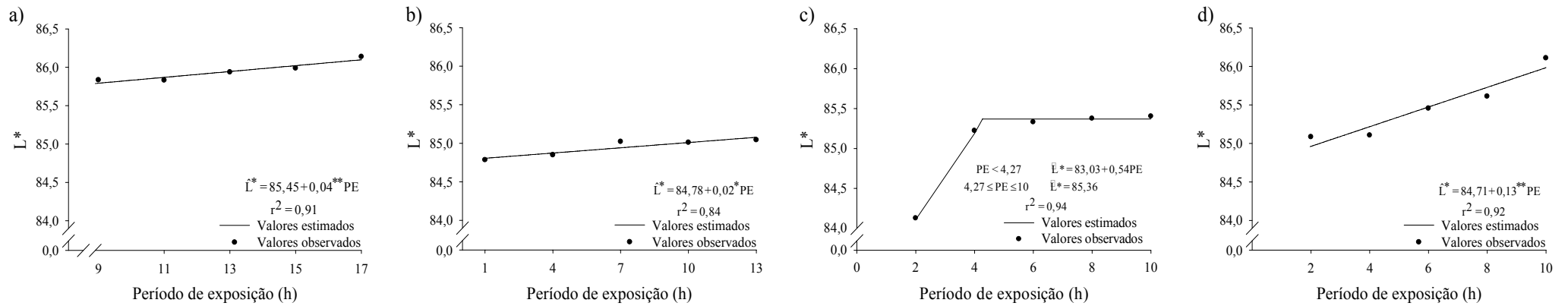


Figura 6 - Valores estimados e observados da coordenada L\* da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

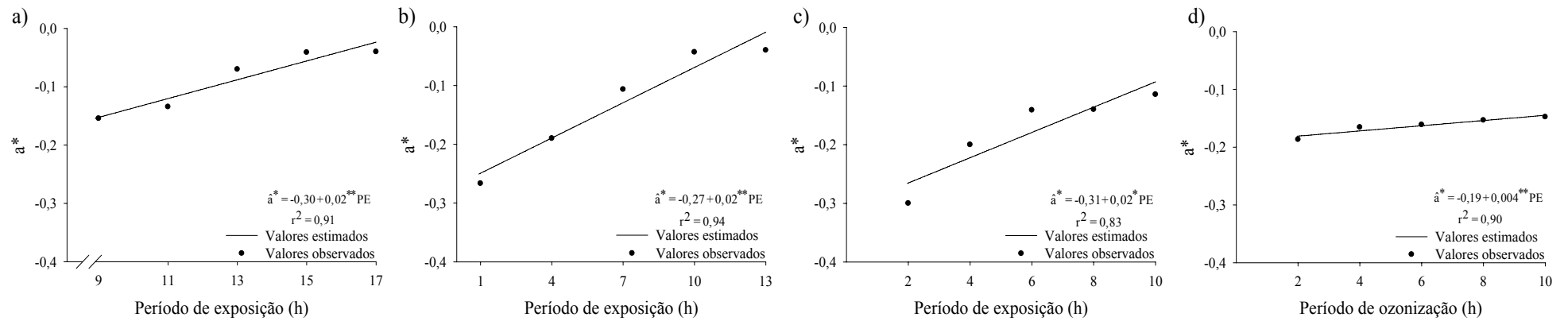


Figura 7 - Valores estimados e observados da coordenada a\* da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

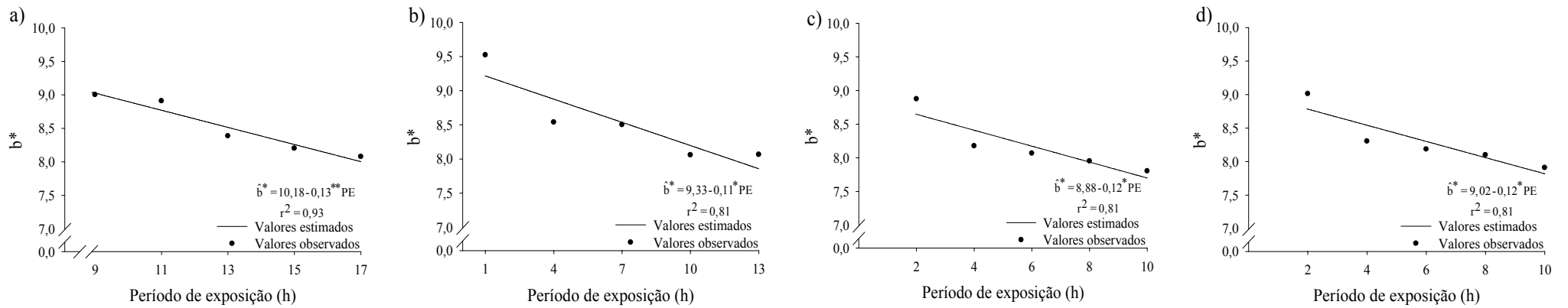


Figura 8 - Valores estimados e observados da coordenada b\* da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

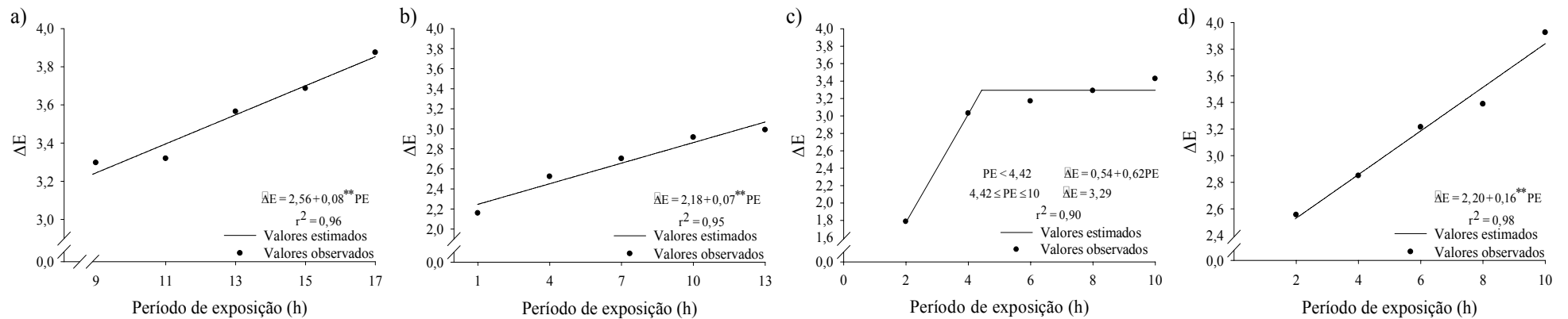


Figura 9 - Valores estimados e observados do ΔE da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.



#### 4. DISCUSSÃO

O teor de água está associado ao caráter higroscópico da farinha de trigo e sua consequente tendência em responder às variações da umidade relativa do ambiente (SILVA et al., 2010). No processo de ozonização da farinha de trigo, o gás ozônio foi produzido com oxigênio isento de umidade, justificando assim a diferença significativa entre o teor de água da farinha de trigo controle e a ozonizada na concentração de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  em todos os períodos de exposição e nas concentrações de  $1,61$  e  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  a partir de 4 h de ozonização (Tabela 1) e em função do período de exposição ao gás (Figura 1). O comportamento do teor de água dos grãos de amendoim em função do período de exposição ao gás ozônio foi relatado por Alencar et al. (2011b). De acordo com estes autores, a perda de água dos grãos de amendoim, o qual é altamente higroscópico, durante o processo de ozonização também foi atribuído à utilização de oxigênio isento de umidade como insumo para a geração do gás ozônio.

O gás ozônio, devido ao seu elevado potencial de oxidação, que lhe confere um caráter altamente reativo (XU, 1999), possui capacidade de oxidar compostos inorgânicos (MAHMOUD et al., 2007) presentes na farinha de trigo, tais como ferro e manganês (ARAUJO et al., 2008). Dessa forma, provavelmente, a diferença significativa entre o teor de cinzas da farinha de trigo controle e a ozonizada na concentração de  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  por 8 e 10 h (Tabela 1) e sua redução à medida que aumentou o período de exposição ao gás (Figura 2) pode ter sido ocasionada pela oxidação dos compostos inorgânicos presentes na farinha de trigo.

O teor de proteína pode ser considerado um dos principais indicadores de qualidade de uso final da farinha de trigo, uma vez que está relacionado com a

formação da rede de glúten quando em mistura com a água (GUTKOSKI et al., 2002).

Em vista de o gás ozônio não ter afetado o teor de proteína da farinha de trigo ozonizada quando comparada com a farinha controle (Tabela 1) e de sua pequena redução ao longo do período de exposição ao gás (Figura 3), pode-se inferir que não houve alteração na quantidade de proteínas formadoras do glúten.

Segundo Sandhu et al. (2011), a ozonização na concentração de 1500 ppm (equivalente a 3,20 mg L<sup>-1</sup>) por 2, 4,5, 9 e 18 min a uma vazão de 2,5 L min<sup>-1</sup>, não alterou os teores de cinzas e proteínas da farinha de trigo.

A diferença significativa entre o pH da farinha de trigo controle e a ozonizada na concentração de 2,14 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 1) e a redução desse parâmetro em função do período de exposição ao gás (Figura 4) pode ser atribuída à oxidação dos lipídios, produzindo assim ácidos graxos, que estão relacionados com a redução da qualidade final dos produtos (GUZEL-SEYDIM et al., 2004).

O *falling number* caracteriza as farinhas de trigo quanto à atividade da enzima  $\alpha$ -amilase, permitindo, assim, estimar o potencial de panificação (GUTKOSKI et al., 2008; DUBOIS et al., 2008). O aumento do *falling number* da farinha de trigo ozonizada com relação à farinha controle (Tabela 1) e em função do período de exposição (Figura 5) indica inibição da atividade da enzima  $\alpha$ -amilase pelo gás ozônio. Dubois et al. (2008) relataram a capacidade do gás ozônio de reduzir a atividade amilática, o que é prejudicial para o potencial de panificação da farinha de trigo.

A cor pode ser considerada um dos principais parâmetros para a comercialização da farinha de trigo, uma vez que sua aceitação ou rejeição pelos consumidores está diretamente relacionada com sua aparência visual (RAM et al.,

2002; KAJISHIMA et al., 2003; SILVA et al., 2010). A diferença significativa entre a luminosidade  $L^*$  da farinha de trigo controle e ozonizada nas diferentes concentrações (Tabela 2) e seu aumento em função do período de exposição (Figura 6) indicam aumento da intensidade do branco, e, por fim, melhora na aparência da farinha.

A diferença estatística entre a coordenada  $a^*$  da farinha de trigo controle e ozonizada nas concentrações de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  em todos os períodos de exposição e de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  a partir de 7 h de ozonização (Tabela 2) e seu aumento com o período de exposição (Figura 7) indicam redução na tonalidade verde. No entanto, esta coordenada não pode ser analisada isoladamente, pois, juntamente com  $L^*$ , indica se a farinha é branca ou não (ORTOLAN et al., 2010). A farinha é considerada branca quanto mais próxima os valores de  $a^*$  estiverem de zero e os valores de luminosidade de 100 (ORTOLAN et al., 2010). Este fato confirma os resultados obtidos, em que a farinha de trigo ozonizada apresenta coloração mais branca pelo aumento da luminosidade e redução na tonalidade verde.

A capacidade do ozônio em branquear ou descolorir pigmento, tal como os carotenóides, é uma de suas características mais conhecidas (LIEW et al., 1994; LÁSZLÓ et al., 2008; TIWARI et al., 2008). Na farinha de trigo, a cor amarela está relacionada com a presença de pigmentos, referidos como carotenoides (KONOPKA et al., 2004; ORTOLAN et al., 2010), os quais são facilmente oxidados por agentes oxidantes, como o ozônio (LIEW et al., 1994; LÁSZLÓ et al., 2008; TIWARI et al., 2008). Neste trabalho, a ozonização da farinha de trigo reduziu a intensidade do amarelo (Tabela 2; Figura 8), indicando que o ozônio oxidou pigmentos da farinha de trigo. O efeito branqueador do gás ozônio na farinha de trigo pode ser confirmado

pela a diferença entre o  $\Delta E$  da farinha controle e a ozonizada (Tabela 2) e seu aumento com o período de exposição ao gás (Figura 9).

László et al. (2008) investigaram o efeito do gás ozônio na cor da farinha de trigo. Esses autores relataram que o processo de ozonização da farinha de trigo não alterou o parâmetro  $L^*$ , aumentou os valores da coordenada  $a^*$  e do  $\Delta E$  e reduziu os valores da coordenada  $b^*$ . Já Sandhu et al. (2011) reportaram aumento da luminosidade e redução da coordenada  $b^*$  com o aumento do período de exposição da farinha de trigo ao gás ozônio, enquanto a coordenada  $a^*$  não apresentou alterações.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir-se que:

- O processo de ozonização não interfere na composição centesimal (teor de água, teor de cinzas, teor de proteínas) e no pH da farinha de trigo; e
- O tratamento com o gás ozônio foi eficiente no branqueamento da farinha de trigo, conforme demonstrado pelo aumento da luminosidade e da diferença de cor e pela redução nas tonalidades verdes e amarelas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of AACC**. 10.ed. Saint Paul: AACC, 1999.

ABIMA - Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias. Estatísticas. Disponível em: <http://www.abima.com.br/>. Acesso em: 13 outubro de 2011.

ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.A; SOARES, N.F.F.; SILVA, W.A.; CARVALHO, M.C.S. Efficacy of ozone as a fungicidal and detoxifying agent of aflatoxins in peanuts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, doi: 10.1002/jsfa.4668, 2011a.

- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.DA; SOARES, N.F.F.; CARVALHO, M.C.S.; PEREIRA, K.F. Effect of the ozonization process on the quality of peanuts and crude oil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 154-160, 2011b.
- ARAÚJO, R.G.O.; MACEDO, S.M.; KORN, M.G.A.; PIMENTEL, M.F.; BRUNS, R.E.; FERREIRA, S.L.C. Mineral composition of wheat flour consumed in Brazilian cities. **Journal of Brazilian Chemical Society**, v.19, n. 5, p. 935-942, 2008.
- CHIATTONE, P.V.; TORRES, L.M.; ZAMBIAZI, R.C. Aplicação do ozônio na indústria de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 341-349, 2008.
- 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**, v. 28, n. 1, p. 220-225, 2008.
- DUBOIS, M., CANADAS, D., DESPRES-PERNOT, A.G., COSTE, C., PFOHLESZKOWICZ, A. Oxygreen process applied on nongerminated and germinated wheat: role of hydroxamic acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 3, p. 1116-1121, 2008.
- FERREIRA, R.A. Trigo: o alimento mais produzido no mundo. **Nutrição Brasil**, v.2, n. 1, p. 45-52, 2003.
- GRAS, P.W.; CARPENTER, H.C.; ANDERSSSEN, R.S. Modeling the developmental rheology of wheat-flour dough using extension tests. **Journal of Cereal Science**, v.31, p. 1-13, 2000.
- GUTKOSKI, L.C.; NETO, R.J. Procedimento para teste laboratorial de panificação-pão tipo forma. **Revista Ciência Rural**, v.32, n.5, p.873-879, 2002.
- 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**, v. 28, n.4, p. 888-894, 2008.
- GUZEL-SEYDIM, Z.B., GREENE, A.K., SEYDIM, A.C. Use of ozone in the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologies**, v. 37, p. 453-460, 2004.

- IBANOGLU, S. Influence of tempering with ozonated water on the selected properties of wheat flour. **Journal of Food Engineering**, v. 48, p. 345-350, 2001.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ed. 2005. 1018 p.
- 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**, v. 45, n. 3, p. 159-164, 2009.
- KAJISHIMA, S.; PUMAR, M.; GERMANI, R. Efeito de adição de diferentes sais de cálcio nas características da massa e na elaboração de pão francês. **Ciências e Tecnologia dos Alimentos**, v. 23, n.2, p.222-225, 2003.
- KELLS, S. A.; MASON, L. J.; MAIER, D. E.; WOLOSOSHUK, C. P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, n. 4, p. 371-383, 2001.
- KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; KHADRE, M.A. Ozone and its current and future application in the food industry. **Advances in Food and Nutrition Research**. v. 45, p. 167-218, 2003.
- KONOPKA, I., KOZIROK, W., ROTKIEWICZ, D. Lipids and carotenoids of wheat grain and flour and attempt of correlating them with digital image analysis of kernel surface and cross-sections. **Food Research International**, v. 37, p. 429-438, 2004.
- LÁSZLÓ, Z.; HOVORKA-HORVATH, Z.; BESZEDES, S.; KERTESZ, S.; GYIMES, E.; HODUR, C. Comparison of the effects of ozone, UV and combined ozone/UV treatment on the color and microbial counts of wheat flour. **Ozone: Science and Engineering**, v. 30, n. 6, p. 413-417, 2008.
- LIEW, C.L.; PRANGE, R.K. Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, n. 3, p. 563-567, 1994.
- MAHMOUD, A.; FREIRE, R.S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 198-205, 2007.

- MENDEZ, F.; MAIER, D.E.; MASON, L.J.; WOLOSHUK, C.P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and performance. **Journal of Stored Products Research**, v. 39, n. 1, p. 33-44, 2003.
- MIRALBÉS, C. Quality control in the milling industry using near infrared transmittance spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 88, p. 621-628, 2004.
- ORTOLAN, F.; HECKTHEUER, L.H., MIRANDA, M.Z. Efeito do armazenamento à baixa temperatura (-4 °C) na cor e no teor de acidez da farinha de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 55-59, 2010.
- PEREIRA, A.M.; FARONI, L.R.D'A.; SOUSA, A.H.; URRUCHI, W.I.; ROMA, R.C.C. Efeito imediato e latente da fumigação com ozônio na qualidade dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 32, n. 2, p. 100-110, 2007.
- PEREIRA, A.M.; FARONI, L.R.A.; SOUSA, A.H.; URRUCHI, W.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**, v. 12, n. 5, p. 493-497, 2008.
- RAILA, A.; LUGAUSKAS, A.; STEPONAVIČIUS, D.; RAILIENĖ, M.; STEPONAVIČIENĖ, A.; ZVICEVIČIUS, E. Application of ozone for reduction of mycological infection in wheat grain. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 13, n. 2, p. 287-294, 2006.
- RAM, M.S.; DOWELL, F.E.; SEITZ, L.; LOOKHART, G. Development of standard procedures for a simple, rapid test to determine wheat color class. **Cereal Chemistry**, v. 79, n. 2, p. 230-237, 2002.
- ROZADO, A.F.; FARONI, L.R.A.; URRUCHI, W.M.I.; GUEDES, R.N.C.. PAES, J.L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p.282-285, 2008.
- SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SANDHU, H.P.S.; MANTHEY, F.A.; SIMSEK, S.; OHM, J.B. Comparison between potassium bromate and ozone as flour oxidants in breadmaking. **Cereal Chemistry**, v. 88, n. 1, p. 103-108, 2011.

- SILVA, R.C.; PINO, L.M.; SPOTO, M.H.F.; D'ARCE, M.A.B.R. Estabilidade oxidativa e sensorial de farinhas de trigo e fubá irradiados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, p. 406-413, 2010.
- SOUSA, A.H.; FARONI, L.R.D.A.; GUEDES, R.N.C.; TÓTOLA, M.R.; URRUCHI, W.I. Ozone as a management alternative against phosphine-resistant insect pests of stored products. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, n.4, p. 379-385, 2008.
- TIWARI, B.K.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; O' DONNELL, C.P.; CULLEN, P.J. Modeling colour degradation of orange juice by ozone treatment using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 553-560, 2008.
- TIWARI, B. K.; BRENNAN, C. S.; CURRAN, T.; GALLAGHER, E.; CULLEN, P .J.; O' DONNELL, C. P. Application of ozone in grain processing. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 248-255, 2010.
- WU, J.; DOAN, H.; CUENCA, M.A. Investigation of gaseous ozone as an anti-fungal fumigant for stored wheat. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 81, n. 7, p. 1288-1293, 2006.
- XU, L. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. **Food Technology**, v. 53, n. 10, p. 58-61, 1999.
- YVIN, J.C.; BAILLI, A.; JOUBERT, J.M.; BERTAUD, O. Method and installation for making flour from ozone-treated grains. **United States Patent**, nº. 69159969B2, 11p. 2005.



## Capítulo 3

### INFLUÊNCIA DO GÁS OZÔNIO NAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DA FARINHA DE TRIGO

#### RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o propósito de investigar a influência do gás ozônio no teor de glúten e nas características reológicas da farinha de trigo. A ozonização na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup> durante 9, 11, 13, 15 e 17 h, de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1, 4, 7, 10 e 13 h e de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> por 2, 4, 6, 8 e 10 h foi feita em um protótipo composto por um tambor cilíndrico e um sistema de mistura de hélice dupla. Nos lados opostos de cada extremidade do cilindro, foram instaladas conexões para injeção e exaustão do ozônio. O gás ozônio foi produzido por um gerador, para o qual foi fornecido oxigênio industrial. Para quantificar a concentração de ozônio utilizou-se o método iodométrico. Na farinha de trigo ozonizada ou não, foram feitas análises de teor de glúten, farinografia e extensografia. Observou-se que a ozonização em diferentes concentrações e períodos de exposição exerceu um efeito diferenciado sobre cada característica reológica da farinha de trigo, alterando as propriedades viscoelásticas da massa. Concluiu-se que a farinha de trigo ozonizada nas concentrações e período de exposição, respectivamente, de 0,54 mg L<sup>-1</sup> e 9 e 11 h e de 1,07 mg L<sup>-1</sup> e 1 e 4 h apresentou características adequadas para a panificação, caracterizada pelo aumento do teor de glúten úmido e seco, absorção de água, tempo de desenvolvimento e estabilidade e manutenção da resistência à extensão e resistência à extensão máxima.

**Palavras-chave:** Ozonização, teor de glúten, farinografia, extensografia.

## **INFLUENCE OF OZONE GAS IN RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WHEAT FLOUR**

### **ABSTRACT**

This study was conducted in order to investigate the influence of ozone gas in gluten content and rheological properties of wheat flour. The ozonization, at concentrations 0.54 mg L<sup>-1</sup> during 9, 11, 13, 15 and 17 h, 1.07 mg L<sup>-1</sup> for 1, 4, 7, 10 and 13 h and 1.61 and 2.14 mg L<sup>-1</sup> for 2, 4, 6, 8 and 1 h, was conducted on a prototype consists of a cylindrical drum and a mixing system for helical thread. Opposite sides of each end of the cylinder were installed connections for injection and ozone depletion. Ozone gas was produced by a generator, to which oxygen was supplied industrial and the quantification was carried out by iodometric method. Flour ozonated or not was assessed by gluten content, farinograph and extensigraphic. It was observed that the ozonation in different concentrations and exposure period had differential effect on each rheological characteristic, modifying the viscoelastic properties of the dough. Concluded that the wheat flour ozonized at concentrations and exposure period, respectively, 0.54 mg L<sup>-1</sup> during 9 and 11 h and 1.07 mg L<sup>-1</sup> for 1 and 4 h has great breadmaking quality, characterized by increasing the wet and dry gluten content, water absorption, development time and stability, and maintenance of resistance to extension and resistance to maximum extent.

**Keywords:** Ozonation, gluten content, farinograph, extensigraphic.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das formas de melhorar o potencial de panificação da farinha de trigo é a utilização de aditivos (INDRANI et al., 2006). Entre os usados, podem-se citar os agentes oxidantes, que atuam diretamente sobre a estrutura das proteínas formadoras de glúten (MIRALBÉS, 2004; INDRANI et al., 2006; PEREIRA et al., 2009). A oxidação dos grupos tiol (-SH) dos resíduos de cisteína presentes nestas proteínas promove a formação de ligações dissulfeto (-S-S-), acarretando o fortalecimento da rede glúten (VERAVERBEKE et al. 2000a,b; RASIAH et al., 2005; SANDHU et al., 2011).

Os efeitos da ação reforçadora dos oxidantes consistem em alterar a reologia da massa, aumentando a elasticidade e diminuindo a extensibilidade, e com isso aumentar a capacidade de retenção de gases, o que resulta em pães com maior volume (PEREIRA, et al., 2009; SANDHU et al., 2011).

Em virtude do grande potencial de oxidação do ozônio, que lhe confere um caráter altamente reativo, esse gás tem capacidade de oxidar componentes dos grãos e subprodutos, modificando ou não suas propriedades (TIWARI et al., 2010). De acordo com Sandhu et al. (2011), o pão elaborado com a farinha de trigo ozonizada na concentração de 1500 ppm (equivalente a  $3,20 \text{ mg L}^{-1}$ ) por 2 e 4,5 min apresentou características de panificação tais como volume específico e número de células no miolo do pão superiores à apresentada pelo controle, sugerindo que este tratamento pode ser considerado um substituto aos agentes oxidantes utilizados no processo de panificação.

Adicionalmente a possibilidade de ser utilizado como oxidante na indústria de panificação, deve-se ressaltar que o gás ozônio tem se tornado notório em função de ser agente branqueador (LÁZLÓ et al. 2008; SANDHU et al., 2011), eficaz como

fumigante (PEREIRA et al., 2008; ROZADO et al., 2008; SOUSA et al., 2008; ISIKBER et al., 2009) e um potente agente antimicrobiano (RAILA et al., 2006; WU et al., 2006; ALENCAR et al., 2011a), sem afetar a qualidade dos produtos ozonizados (IBANOGLU, 2002; MENDEZ et al., 2003; YVIN et al., 2005; PEREIRA et al., 2007; ALENCAR et al., 2011b).

Conhecendo a necessidade da indústria moageira em melhorar a qualidade da farinha de trigo, objetivou-se com este trabalho investigar a influência do gás ozônio no teor de glúten e nas suas características reológicas (farinografia e extensografia).

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A ozonização da farinha de trigo foi conduzida no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). As análises reológicas foram feitas no Laboratório de Moagem e de Reologia da empresa Vilma Alimentos, localizado em Contagem, MG e na Embrapa Agroindústria de Alimentos, localizada em Guaratiba, RJ.

Utilizou-se no experimento farinha de trigo, sem a adição de aditivos, fornecida pelo Moinho Vera Cruz, localizado em Santa Luzia, MG. No Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do DEA da UFV, a farinha de trigo foi armazenada em sacos de polietileno no interior de câmaras climáticas à temperatura de 25 °C.

### **2.1 Ozonização da farinha de trigo**

O processo de ozonização da farinha de trigo (3,5 kg), nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, foi realizado no protótipo descrito no Capítulo 1, subitem 2.1. Para cada concentração, o processo de ozonização foi feito em triplicata.

A geração e a quantificação do gás ozônio foram realizadas de acordo com a metodologia adotada no Capítulo 1, subitens 2.2 e 2.3, respectivamente.

A partir do estudo de cinética de reação do gás ozônio na farinha de trigo (Capítulo 1), estabeleceram-se os períodos de exposição de: 9, 11, 13, 15 e 17 h com a concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup>; 1, 4, 7, 10 e 13 h com a concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup>; e 2, 4, 6, 8 e 10 h com as concentrações de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>.

## **2.2 Teor de glúten**

O teor de glúten úmido, glúten seco e índice de glúten foram determinados no equipamento Glutomatic<sup>®</sup>, da Perten Instruments, utilizando o método n° 32-12 da AACC (1999). As análises foram feitas em triplicata.

## **2.3 Avaliação das características reológicas da farinha de trigo**

### **2.3.1 Farinografia**

A determinação da qualidade reológica da farinha pelo farinógrafo foi feita de acordo com a metodologia prescrita pelo método n° 54-21 da AACC (1999) utilizando-se o farinógrafo Brabender. Os parâmetros empregados para interpretar o farinograma foram: absorção da água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade da massa e índice de tolerância à mistura. As análises foram feitas em duplicata.

### **2.3.2 Extensografia**

A determinação da qualidade reológica da farinha pelo extensógrafo Brabender foi feita segundo método n° 54-10 da AACC (1999), empregando-se os seguintes parâmetros para avaliação dos resultados: resistência à extensão, resistência máxima à extensão, extensibilidade, energia e número proporcional. As análises foram feitas em duplicata.

## **2.4 Delineamento experimental e análise estatística**

Nas análises referentes às características reológicas da farinha de trigo foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (D.I.C.), com cinco períodos de exposição para cada concentração (quatro) em três repetições mais um controle.

A comparação dos valores médios das análises da farinha de trigo ozonizada em relação ao controle foi feita pelo teste Dunnett a 5% probabilidade, com o uso do programa estatístico SAEG (SAEG, 2007).

Os valores médios dos parâmetros reológicos da farinha de trigo ozonizada foram analisados, em função do período de exposição ao gás, para cada concentração, pela análise de regressão, utilizando o programa estatístico SAEG (SAEG, 2007). Os modelos foram escolhidos adotando os seguintes critérios: coeficientes significativos até 5% de probabilidade, coeficiente de determinação e comportamento do fenômeno.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Teor de glúten**

Os valores médios de teor de glúten úmido, teor de glúten seco e índice de glúten da farinha de trigo ozonizada apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) quando comparados ao controle, com exceção da concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  para o teor de glúten úmido da farinha ozonizada por 4 e 7 h e para o teor de glúten seco em todos os períodos de exposição ao gás (Tabela 1). Ressalta-se que não foram apresentados, na Tabela 1, os valores médios de teor de glúten úmido, teor de glúten seco e índice de glúten da farinha de trigo ozonizada na concentração de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  por 8 h e na concentração de  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  por 10 h, pela impossibilidade de separar o glúten da amostra.

Tabela 1 - Valores médios de teor de glúten úmido, teor de glúten seco e índice de glúten da farinha de trigo controle e ozonizada em diferentes concentrações e períodos de exposição ao gás

Tratamento	Teor de glúten úmido (g/100g)	Teor de glúten seco (g/100g)	Índice de glúten (%)
Controle	31,12	9,07	95,44
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	16,57*	4,86*
	11 h	17,83*	6,19*
	13 h	20,83*	6,02*
	15 h	19,65*	6,76*
	17 h	13,99*	5,15*
Controle	31,12	9,07	95,44
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	21,63*	7,61
	4 h	28,70	9,72
	7 h	26,00	7,07
	10 h	22,15*	8,34
	13 h	20,07*	7,91
Controle	31,12	9,07	95,44
1,61 mg L <sup>-1</sup>	2 h	23,21*	7,17*
	4 h	18,65*	6,72*
	6 h	16,05*	5,93*
	8 h	-	-
	10 h	10,15*	4,85*
Controle	31,12	9,07	95,44
2,14 mg L <sup>-1</sup>	2 h	21,25*	7,15*
	4 h	15,65*	5,76*
	6 h	9,11*	3,09*
	8 h	17,01*	6,91*
	10 h	-	-

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett; DP = Desvio Padrão.

Os dados de teor de glúten úmido da farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 e 1,07 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ajustaram-se ao modelo quadrático e raiz quadrada, respectivamente (Figura 1). O ponto máximo estimado de teor de glúten úmido foi de 20,54 g/100 g com 12,8 h e de 27,47 g/100 g com 4,68 h de ozonização, para as concentrações de 0,54 e 1,07 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Na concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup>, verificou-se redução linear com o aumento do período de exposição (Figura 1), enquanto na concentração de 2,14 mg

L<sup>-1</sup> não foi verificado efeito do período de exposição pela grande variabilidade dos resultados ( $\bar{T}GU = 15,75 \pm 4,68$  g/100g).

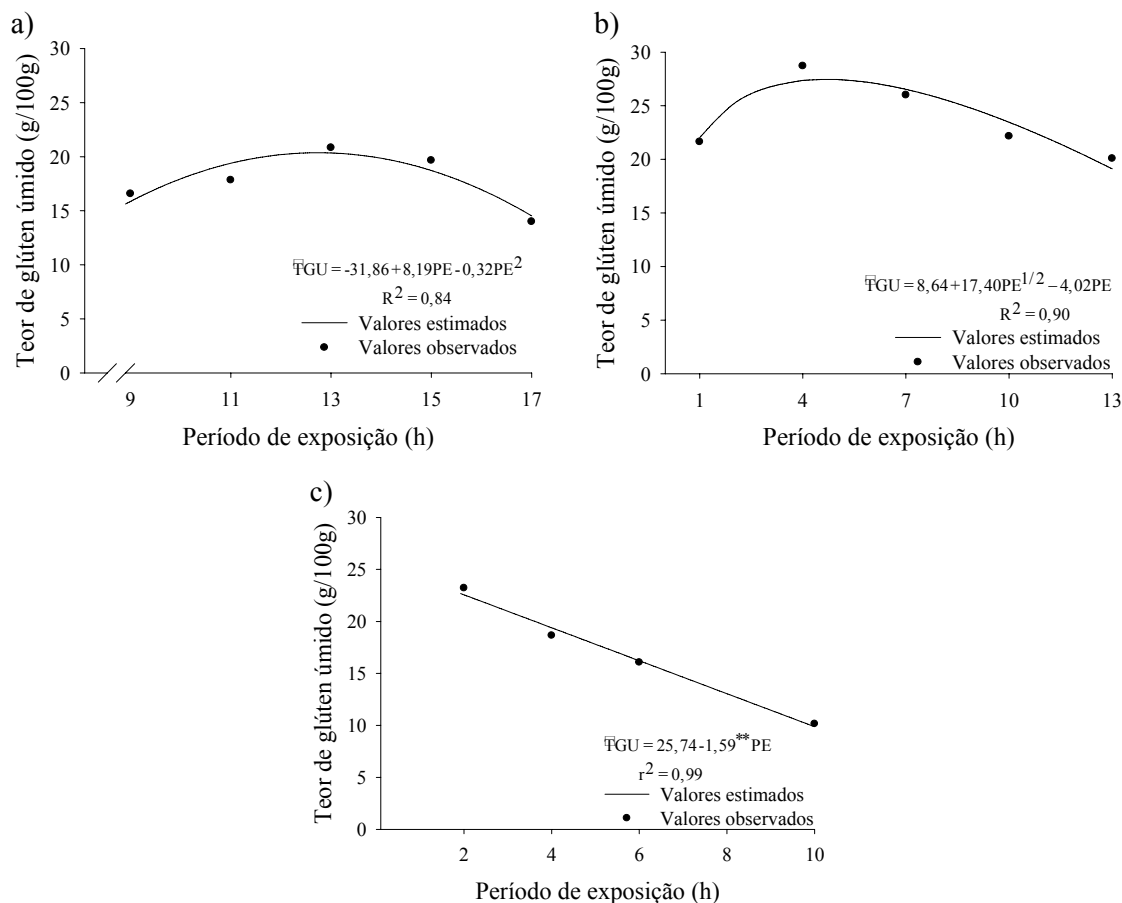


Figura 1 - Valores estimados e observados do teor de glúten úmido (TGU) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; e c) 1,61 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Com relação ao teor de glúten seco da farinha de trigo ozonizada na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição, os dados ajustaram-se ao modelo quadrático, em que o ponto máximo estimado foi de 6,34 g/100 g após 13,17 h de ozonização, enquanto na concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup>, o teor de glúten seco se reduziu linearmente com o aumento do período de exposição (Figura 2). Nas concentrações de 1,07 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, não foi verificado efeito do período de exposição devido à grande variabilidade dos resultados, sendo a média e o desvio



padrão de  $8,13 \pm 1,95$  e  $5,73 \pm 1,87$  g/100g, respectivamente. O mesmo foi constatado nos valores de índice de glúten, em que nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> a média e o desvio padrão foram de  $93,26 \pm 6,34$ ,  $81,05 \pm 14,79$ ,  $85,79 \pm 3,52$  e  $81,69 \pm 5,74$  g/100g, respectivamente.

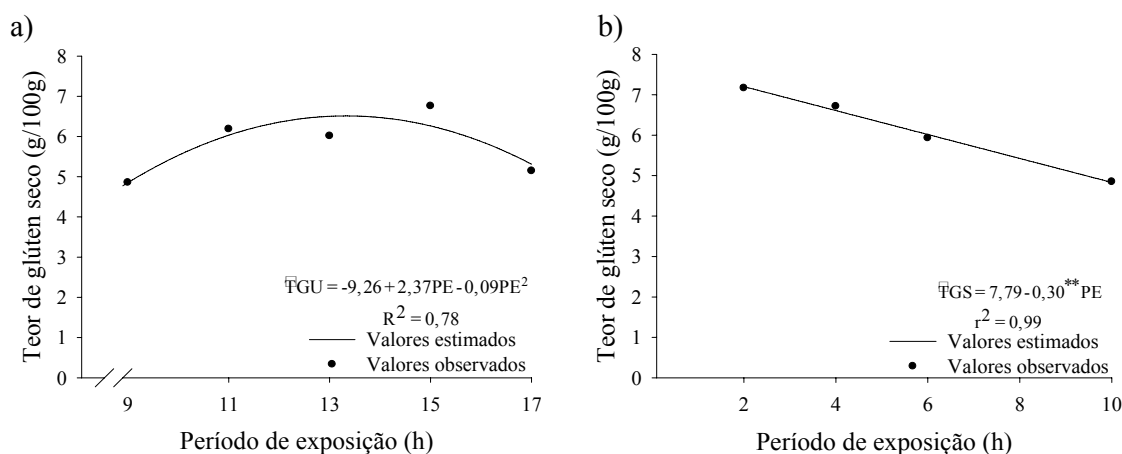


Figura 2 - Valores estimados e observados do teor de glúten seco (TGS) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup> e b) 1,61 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

### 3.2 Farinografia

Os valores médios de absorção de água e tempo de desenvolvimento da farinha de trigo ozonizada apresentaram diferença significativa da farinha controle ( $p < 0,05$ ), com exceção para o tempo de desenvolvimento na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 2).

Os valores médios de estabilidade da farinha ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> em todos os períodos de exposição ao gás e de 1,07 mg L<sup>-1</sup> a partir de 4 h de ozonização apresentaram resultados significativos e superiores aos encontrados para a farinha controle (Tabela 2). Nas concentrações de 1,61 e de 2,14 mg L<sup>-1</sup>, a estabilidade não diferiu significativamente da farinha controle.

Com relação ao índice de tolerância, observou-se diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade somente na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup> e na concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup> para o período de exposição de 2 h (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores médios dos parâmetros farinográficos da farinha de trigo controle e ozonizada em diferentes concentrações e períodos de exposição ao gás

Tratamento	Absorção de água (%)	Tempo de desenvolvimento (min)	Estabilidade (min)	Índice de tolerância à mistura (UF)
Controle	55,4	14,5	26,8	10
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	58,1*	21,5*	32,1*
	11 h	58,7*	22,0*	33,0*
	13 h	58,9*	24,0*	33,9*
	15 h	58,9*	23,5*	33,3*
	17 h	59,0*	24,0*	33,8*
Controle	55,4	14,5	26,8	10
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	57,5*	19,5	32,5
	4 h	57,9*	22,0	34,4*
	7 h	58,6*	21,5	36,0*
	10 h	59,4*	26,5	37,6*
	13 h	59,0*	8,0	42,8*
Controle	55,4	14,5	26,8	10
1,61 mg L <sup>-1</sup>	2 h	58,2*	20,5*	32,0
	4 h	58,5*	23,0*	32,5
	6 h	58,5*	27,0*	38,5
	8 h	59,1*	28,0*	21,5
	10 h	59,4*	28,0*	23,6
Controle	55,4	14,5	26,8	10
2,14 mg L <sup>-1</sup>	2 h	58,4*	22,0*	34,0
	4 h	58,8*	22,5*	34,9
	6 h	58,7*	25,5*	38,0
	8 h	59,1*	28,0*	23,3
	10 h	59,4*	30,0*	21,5

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Os dados de absorção de água da farinha de trigo ozonizada em função do período de exposição ajustaram-se ao modelo *Linear Response Plateau* para a concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup> e linear para as concentrações de 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> (Figura 3). Nestas concentrações, a absorção de água da farinha de trigo

aumentou com o período de exposição ao gás. No entanto, na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup>, a absorção aumentou até 11,78 min, mantendo-se constante a partir deste período.

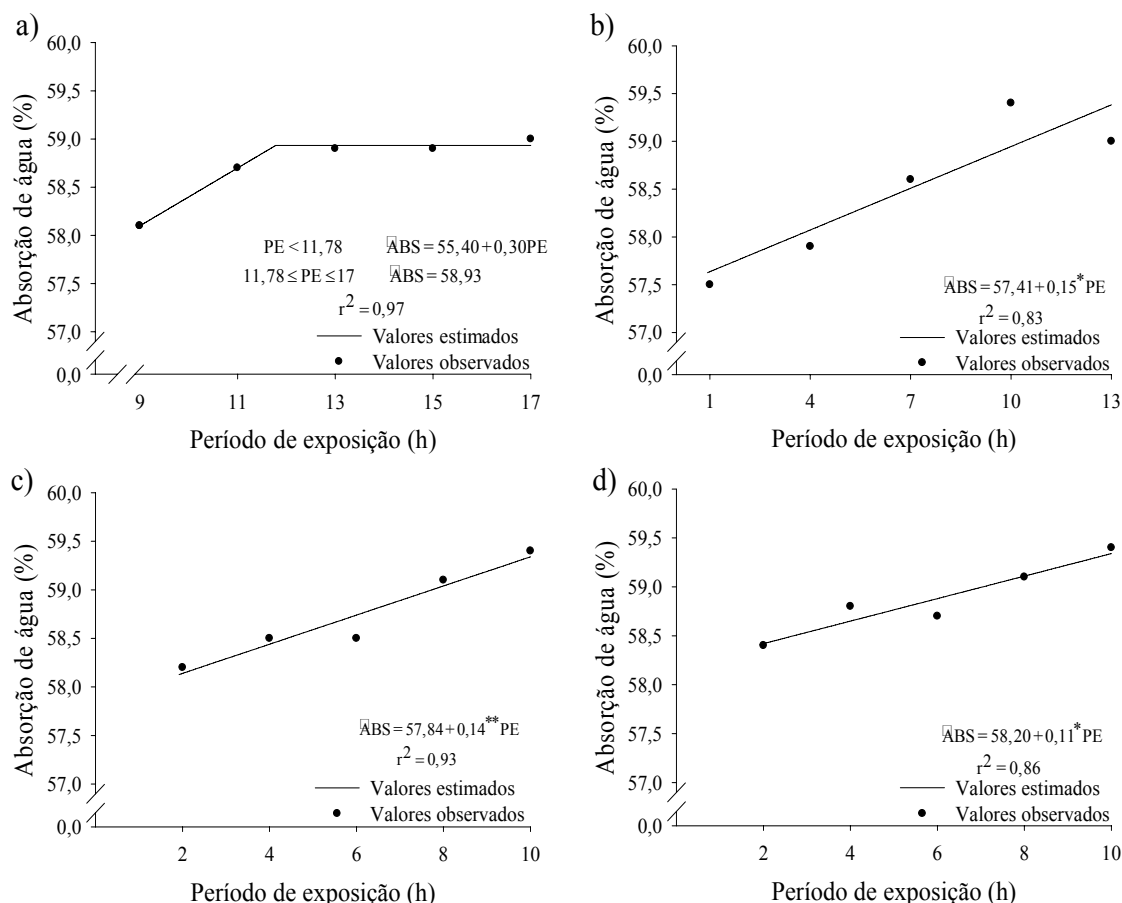


Figura 3 - Valores estimados e observados de absorção de água (ABS) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup> e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste "t", \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "t".

Observou-se efeito linear nos dados de tempo de desenvolvimento da farinha em função do período de exposição ao gás, em todas as concentrações (Figura 4). Verificou-se aumento no tempo de desenvolvimento da farinha de trigo ozonizada na medida em que se aumentou o período de exposição, sendo de 0,32, 0,68, 1,02 e 1,08, para cada hora de variação, nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

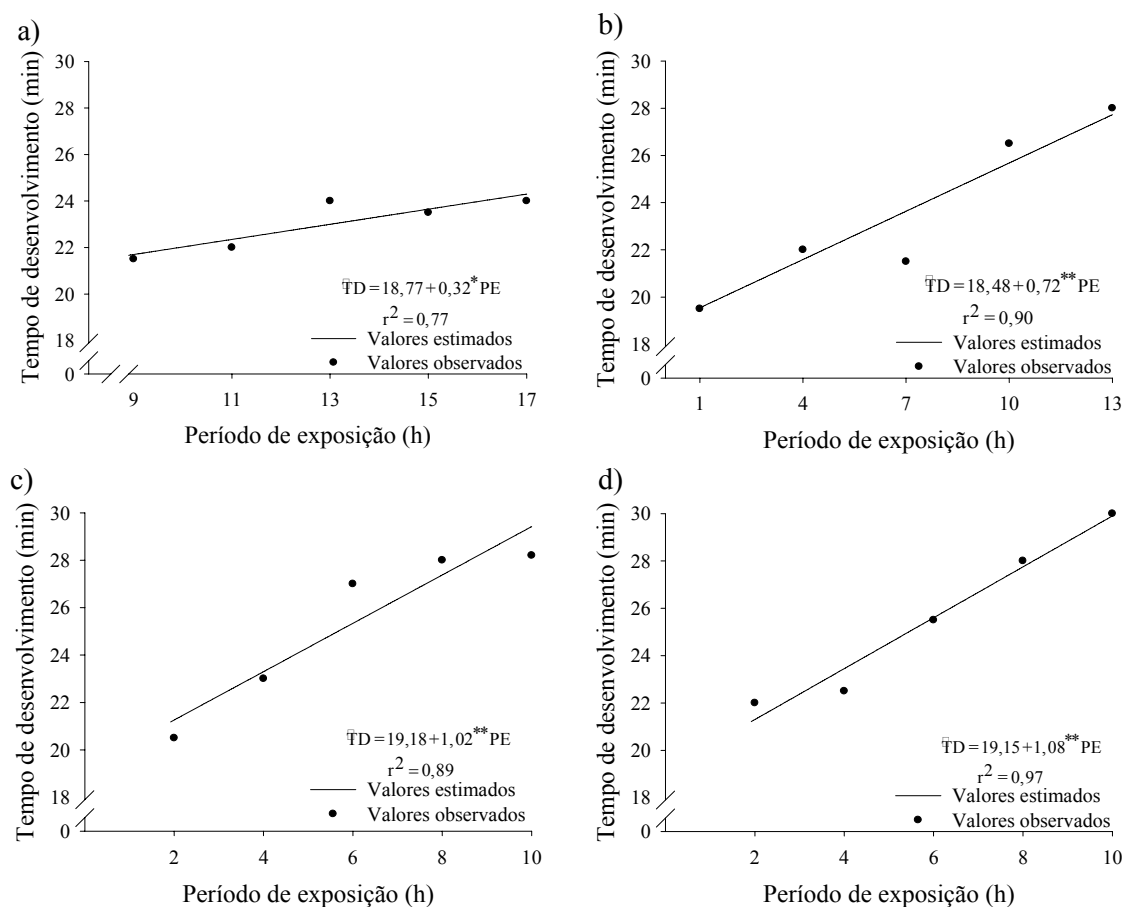


Figura 4 - Valores estimados e observados do tempo de desenvolvimento (TD) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Os dados de estabilidade em função do período de exposição ajustaram-se ao modelo hiperbólico para a concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup> e linear para 1,07 mg L<sup>-1</sup> (Figura 5). Os valores de estabilidade nas concentrações de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> não apresentaram efeito do período de exposição em razão do aumento significativo dos valores encontrados de tempo de chegada nos períodos de exposição de 8 e 10 h quando comparado com os valores de tempo de chegada nos períodos de exposição de 2, 4 e 6 h (Tabela 3). Nas concentrações de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, a média e o desvio padrão do tempo de chegada foram de 9,08±9,98 e 8,82±9,72 min, respectivamente.

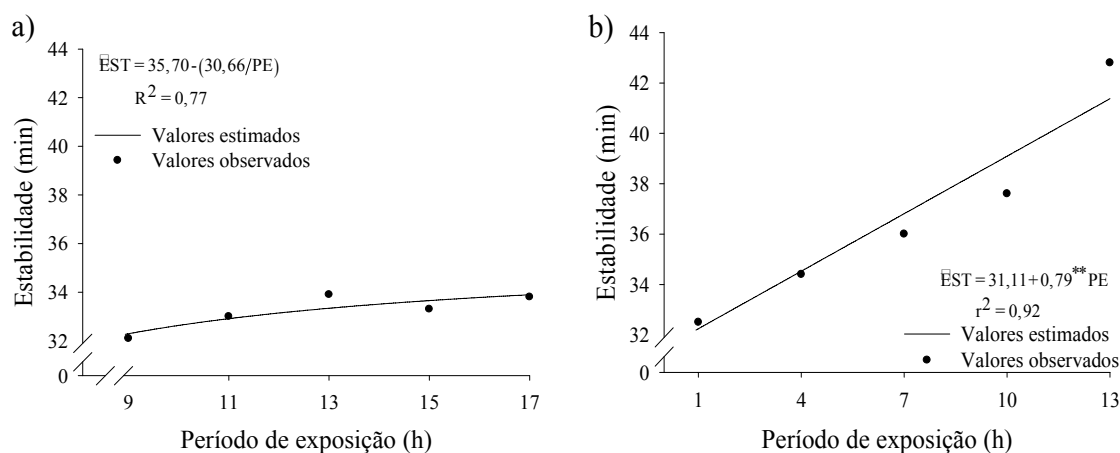


Figura 5 - Valores estimados e observados da estabilidade (EST) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; e b) 1,07 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Tabela 3 - Valores médios do tempo de chegada e de saída da farinha de trigo controle e ozonizada nas concentrações de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> e em diferentes períodos de exposição ao gás

Tratamento		Tempo de chegada (min)	Tempo de saída (min)
Controle		1,2	28,0
1,61 mg L <sup>-1</sup>	2 h	1,0	33,0
	4 h	2,0	34,5
	6 h	2,5	41,0*
	8 h	20,0*	41,5*
	10 h	19,9*	43,5*
2,14 mg L <sup>-1</sup>	2 h	1,5	35,5
	4 h	2,1	37,0
	6 h	2,0	40,0
	8 h	16,5*	39,8
	10 h	22,0*	43,5

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett; DP = Desvio Padrão.

Nas concentrações de 0,54 e 1,61 mg L<sup>-1</sup>, os dados de índice de tolerância à mistura da farinha em função do período de exposição ajustaram-se ao modelo linear, apresentando aumento de 1,5 e 2,0 para cada hora de variação, respectivamente (Figura 6). Na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup>, o ajuste obtido foi com o modelo *Linear Response Plateau*, em que a partir de 8 h de ozonização o índice de tolerância à mistura se manteve constante. Na concentração de 2,14 mg L<sup>-1</sup>, este índice se

manteve constante ao longo do período de exposição da farinha ao gás ( $\bar{ITM} = 15$  U.F.).

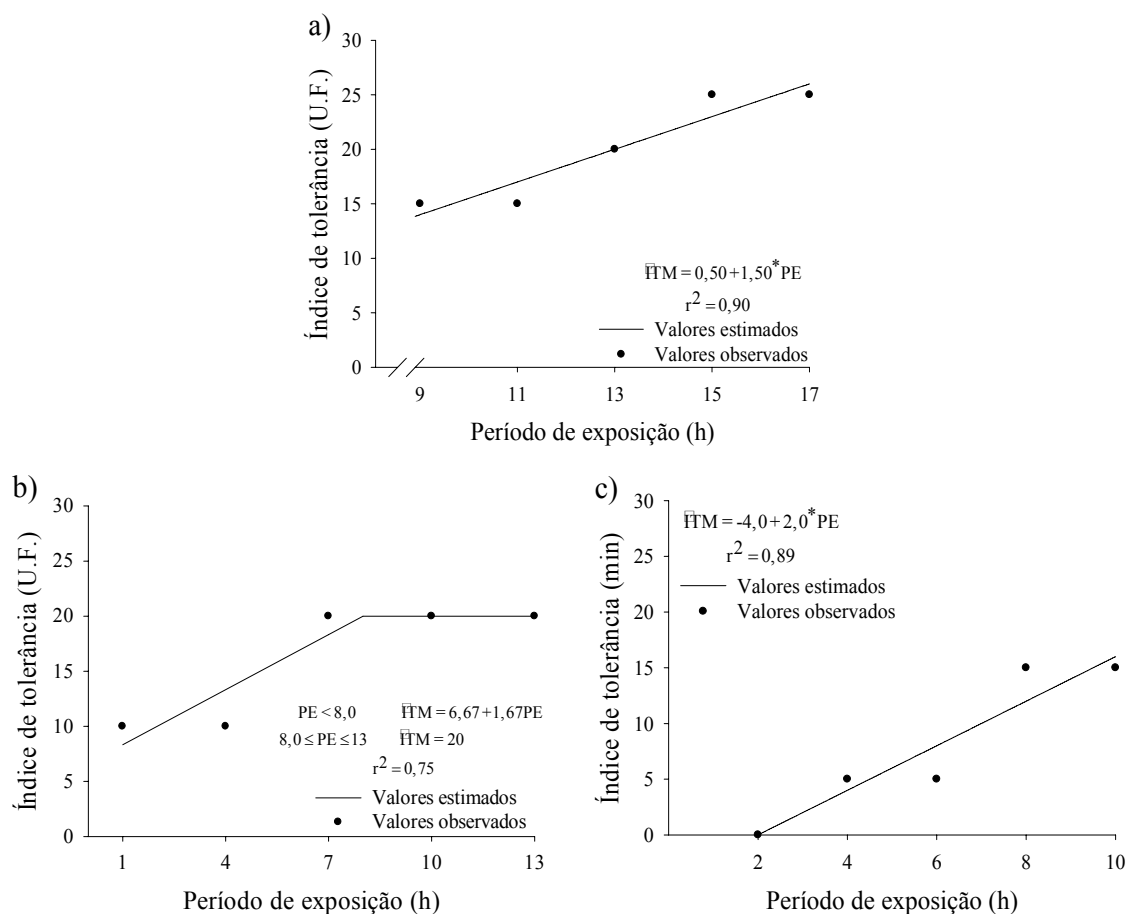


Figura 6 - Valores estimados e observados do índice de tolerância à mistura (ITM) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a)  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ ; b)  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  e c)  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.

### 3.3 Extensografia

No parâmetro resistência à extensão ocorreu diferença estatística com relação à farinha de trigo controle quando o processo de ozonização foi feito nas concentrações de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  por 13 h, de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  a partir de 7 h e de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  em todos os períodos de exposição ao gás (Tabela 4). A farinha de trigo controle e a ozonizada na concentração de  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  não diferiram significativamente entre si (Tabela 4).

Observou-se diferença estatística pelo teste Dunnet ao nível de probabilidade de 5% entre a resistência máxima à extensão da farinha de trigo controle e a ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por 13 h e de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 10 h, enquanto nas concentrações de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, estas diferenças não foram detectadas (Tabela 4).

Com relação aos parâmetros extensibilidade e energia, a farinha de trigo ozonizada, independentemente da concentração, diferiu estatisticamente da farinha controle (Tabela 4). O número proporcional da farinha de trigo ozonizada não diferiu da farinha controle somente quando o processo de ozonização foi feito nas concentrações e períodos de exposição, respectivamente, de 0,54 mg L<sup>-1</sup> e 9 e 11 h, de 1,07 mg L<sup>-1</sup> e 1 e 4 h e de 2,14 mg L<sup>-1</sup> e 2 h (Tabela 4).

No geral, os valores de resistência à extensão, resistência máxima à extensão e número proporcional da farinha ozonizada foram superiores ao da farinha controle, enquanto os valores de extensibilidade e energia foram inferiores (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios dos parâmetros extensográficos da farinha de trigo controle e ozonizada em diferentes concentrações e períodos de exposição ao gás

Tratamento	Resistência à extensão (U.E.)	Resistência máxima à extensão (U.E.)	Extensibilidade (mm)	Energia (cm <sup>2</sup> )	Número proporcional
------------	-------------------------------	--------------------------------------	----------------------	----------------------------	---------------------

Controle	400	490	138	92,3	2,9
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	450	460	95*	59,9*
	11 h	445	458	94*	61,2*
	13 h	622*	637*	71*	60,4*
	15 h	455	455	76*	48,6*
	17 h	450	450	78*	47,2*
Controle	400	490	138	92,3	2,9
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	488	510	97*	71,8*
	4 h	460	470	97*	64,9*
	7 h	593*	593	81*	66,0*
	10 h	708*	710*	67*	67,1*
	13 h	590*	593	77*	68,7*
Controle	400	490	138	92,3	2,9
1,61 mg L <sup>-1</sup>	2 h	583*	623	106*	100,4*
	4 h	550*	550	81*	56,1*
	6 h	490*	503	70*	54,0*
	8 h	510*	550	62*	55,4*
	10 h	500*	535	53*	52,2*
Controle	400	490	138	92,3	2,9
2,14 mg L <sup>-1</sup>	2 h	620	630	93*	71,0*
	4 h	645	653	68*	62,0*
	6 h	630	648	57*	59,3*
	8 h	555	618	55*	57,8*
	10 h	545	605	51*	54,1*

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett; DP = Desvio Padrão.

Nas concentrações de 0,54, 1,07 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, não foi verificado efeito do período de exposição no parâmetro resistência à extensão devido a grande variabilidade dos resultados, sendo a média e o desvio padrão de 484,5±77,26, 567,5±99,87 e 599±66,78 U.E, respectivamente. Na concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup>, a resistência à extensão da farinha de trigo ozonizada se reduziu linearmente com o aumento do período de exposição (Figura 7).



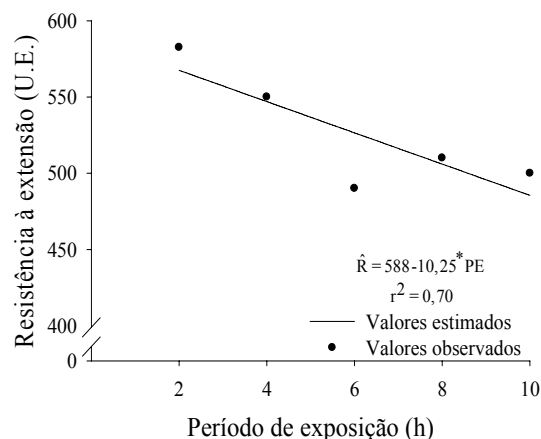


Figura 7 - Valores estimados e observados da resistência à extensão (R) da farinha de trigo ozonizada na concentração  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.

A resistência máxima à extensão da farinha de trigo ozonizada nas concentrações de  $0,54$  e  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  não foi afetada pelo período de exposição ao gás. Nestas concentrações, a média e o desvio padrão da resistência máxima à extensão foram de  $492 \pm 80,97$  e  $575 \pm 94,6$  U.E, respectivamente. No tratamento com a concentração de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$ , os dados foram ajustados ao modelo *Linear Response Plateau*, apresentando redução com o aumento do período de exposição, e, a partir de  $4,53$  h de ozonização manteve-se praticamente constante. Na concentração  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ , o ajuste foi com o modelo raiz quadrada, em que o ponto máximo atingido foi de  $650,28$  U.E. após  $4,33$  h de ozonização (Figura 8).

Na concentração de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ , não foi verificado efeito do período de exposição ao gás para os dados de extensibilidade da farinha de trigo ozonizada em razão da grande variabilidade dos resultados ( $\hat{E} = 82,9 \pm 10,72$  mm). Nas concentrações de  $1,07$ ,  $1,61$  e  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ , o ajuste obtido foi com o modelo linear. Nestas concentrações, observou-se redução na extensibilidade da farinha de trigo com o aumento do período de exposição ao gás.

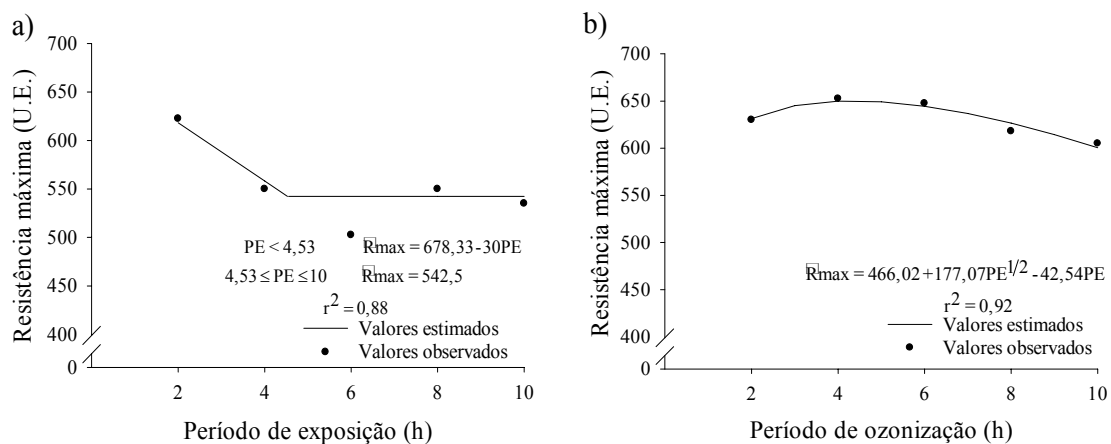


Figura 8 - Valores estimados e observados da resistência máxima ( $R_{max}$ ) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a)  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$ ; e b)  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  em função do período de exposição ao gás (PE).

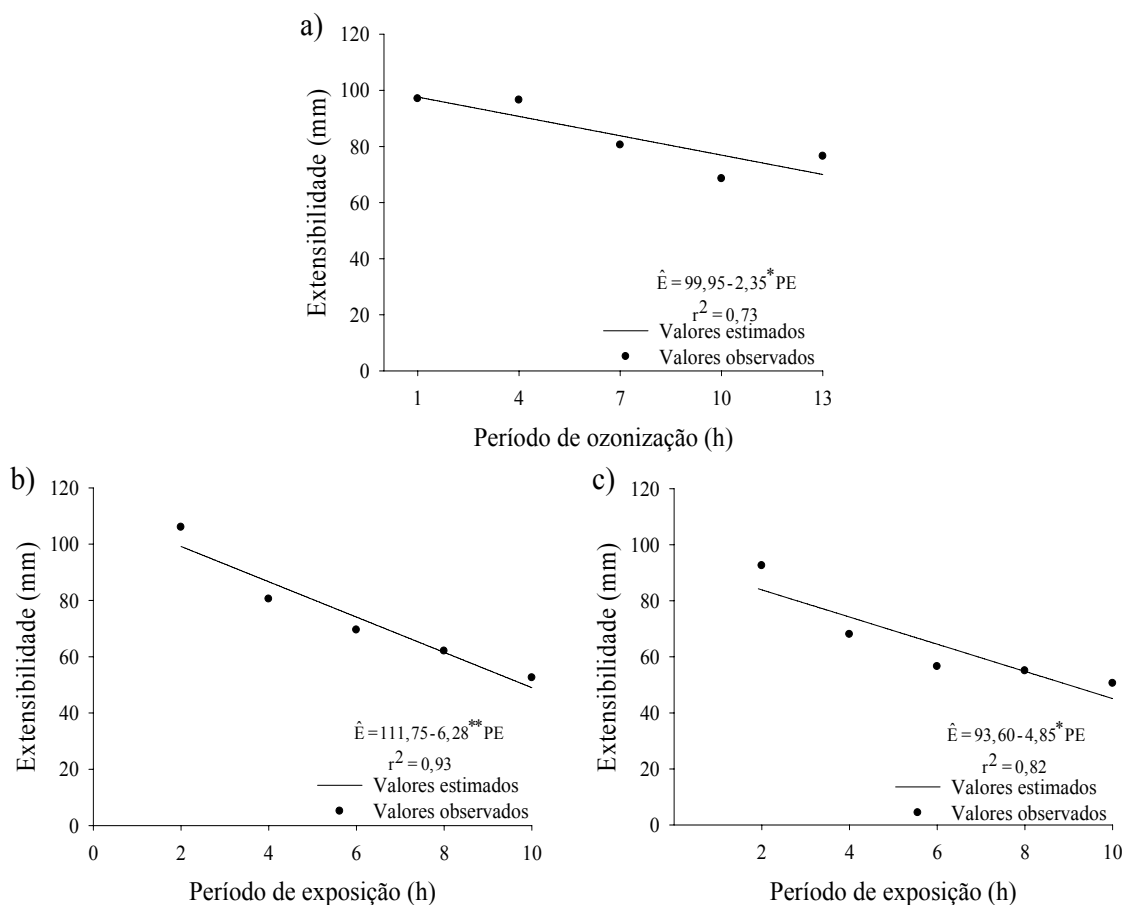


Figura 9 - Valores estimados e observados da extensibilidade ( $E$ ) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a)  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$ ; b)  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$ ; e c)  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

No que se refere à energia da farinha de trigo em função do período de exposição ao gás ozônio, para as concentrações de  $0,54$  e  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ , o modelo que

se ajustou aos dados foi o linear (Figura 10), porém na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup> não foi verificado efeito do período de exposição devido à grande variabilidade dos resultados ( $\hat{A}=67,68\pm 3,90$  cm<sup>2</sup>). Na concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup>, os dados foram ajustados ao modelo *Linear Response Plateau* (Figura 10). Nestas concentrações, a energia da farinha de trigo se reduziu com o aumento do período de exposição, sendo que na concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup> a partir de 4,10 h de ozonização, a energia manteve-se praticamente constante.

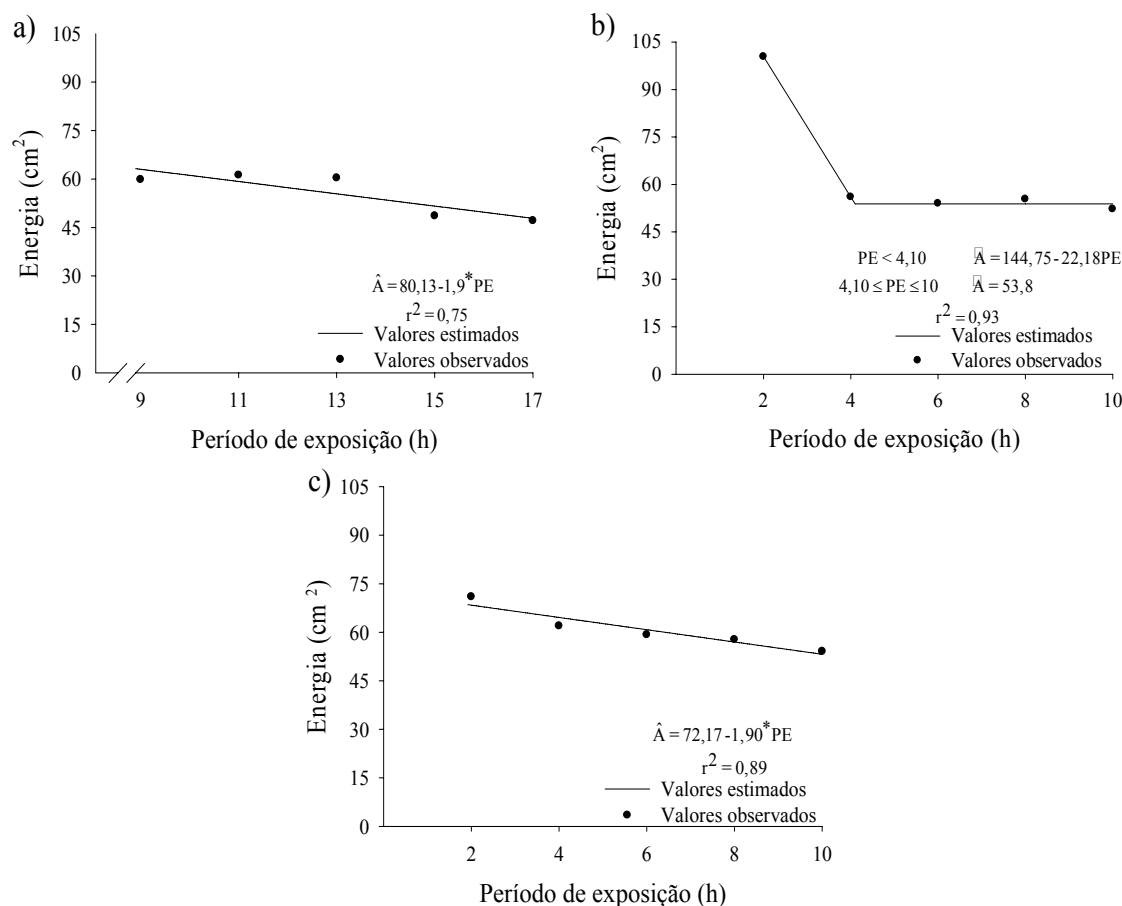


Figura 10 - Valores estimados e observados da energia (A) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e c) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.

Não foi verificado efeito do período de exposição ao gás na farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 e 1,07 mg L<sup>-1</sup> em razão da grande variabilidade dos resultados. Nestas concentrações, a média e o desvio padrão do número

proporcional foram de  $6,01 \pm 1,65$  e  $7,09 \pm 2,31$ , respectivamente. Nas concentrações de  $1,61$  e  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$ , os dados foram ajustados ao modelo linear e raiz quadrada, respectivamente (Figura 11). Nessas concentrações, o número proporcional aumentou com o período de exposição.

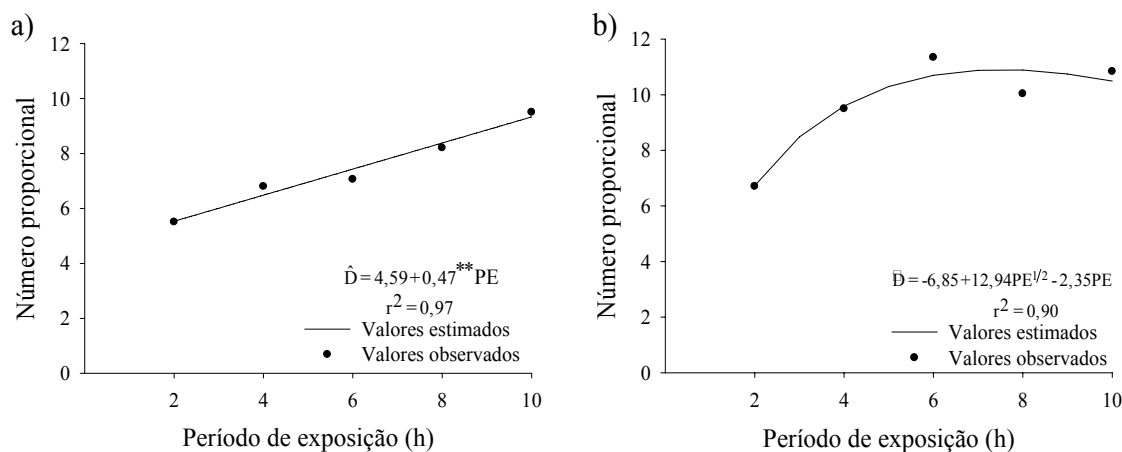


Figura 11 - Valores estimados e observados do número proporcional ( $D$ ) da farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a)  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$ ; e b)  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  em função do período de exposição ao gás (PE). \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

#### 4. DISCUSSÃO

Os agentes oxidantes atuam diretamente sobre a estrutura das proteínas, glutenina e gliadina, formadoras do glúten (MIRALBÉS, 2004; INDRANI et al., 2006; PEREIRA et al., 2009). Na proteína glutenina, a oxidação dos grupos tiol dos resíduos de cisteína acarreta no aumento das frações proteicas de glutenina insolúvel (VERAVERBEKE et al. 2000a,b; RASIAH et al., 2005; SANDHU et al., 2011).

Sendo assim, embora os teores de glúten úmido e seco da farinha de trigo ozonizada tenham apresentado valores inferiores ao controle (Tabela 1), observou-se aumento do teor de glúten úmido com o período de exposição ao gás para as concentrações de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  até  $12,8 \text{ h}$  e de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  até  $4,68 \text{ h}$  de ozonização (Figura 1) e do teor de glúten seco na concentração de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  até  $13,17 \text{ h}$

(Figura 2). A oxidação da estrutura proteica pelo gás ozônio induz aumento da fração de proteína insolúvel da farinha de trigo, sendo esse aumento correlacionado com a redução das frações de glutenina solúveis, enquanto as outras frações proteicas mantêm inalteradas (DUBOIS et al., 2006; DESVIGNES et al., 2008). Portanto, o processo de ozonização conduz a um aumento da insolubilidade da glutenina, e, como consequência, fortalecimento da rede de glúten (DESVIGNES et al., 2008; SANDHU et al., 2011). Essa alteração na estrutura proteica deve ocorrer, provavelmente, nas ligações dissulfídicas, devida à oxidação pelo gás ozônio dos grupos tiol dos resíduos de cisteínas ou de outras ligações covalentes devido à oxidação de aminoácido, com o aumento do período de exposição (CATALDO, 2003; SANDHU et al., 2011). Segundo Sandhu et al. (2011), o aumento do período de exposição da farinha de trigo ao gás ozônio acarretou fortalecimento da estrutura da rede de glúten pelo aumento da fração proteica insolúvel.

A redução do teor de glúten úmido da farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> a partir de 12,8 h, de 1,07 mg L<sup>-1</sup> a partir de 4,68 h e de 1,61 mg L<sup>-1</sup> com o aumento do período de exposição ao gás e no teor de glúten seco da farinha ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> a partir de 13,17 h e de 1,61 mg L<sup>-1</sup> pode estar relacionada a uma excessiva oxidação, provocando estresse nas ligações dissulfídicas e ruptura permanente de parte da rede de glúten formada. De acordo com Weegels et al. (1996) e Yoshida et al. (2001), a oxidação resulta em maior intercruzamento de cadeias proteicas, produzindo enrijecimento da estrutura da rede de glúten formada. Este enrijecimento aumenta as forças de cisalhamento, principalmente durante a mistura, as quais, se muito elevadas, levam ao rompimento de ligações tanto covalentes como não covalentes, destruindo a rede de glúten. Os valores observados para o índice de glúten (Tabela 1) corroboram esta hipótese, visto

que permanecem elevados mesmo tendo reduzidos teores proteicos (Capítulo 2: Figura 3). Apesar de apresentar valores de índice de glúten inferiores ao da farinha controle (Tabela 1), de acordo com Pizzinatto (1999), a farinha de trigo ozonizada pode ser classificada como boa para panificação.

A farinografia, por meio dos parâmetros de absorção de água, tempo de desenvolvimento, estabilidade da massa e índice de tolerância à mistura, é um dos mais completos e sensíveis testes para a avaliação da qualidade da farinha no que se refere à sua capacidade de absorver água e resistir durante a mistura (GUARIENTI, 1996).

O aumento da capacidade de absorver água apresentada pela farinha de trigo ozonizada é desejável para o aumento do rendimento de massa e do tempo de prateleira do produto final (HRUSKOVA et al., 2006; FIGONI, 2008; PARASKEVOPOULOU et al., 2010).

O aumento da absorção de água da farinha de trigo ozonizada quando comparada ao controle (Tabela 2) e com o período de exposição ao gás em todas as concentrações (Figura 3), pode ser, em parte, atribuído à redução do teor de água da farinha de trigo ozonizada (Capítulo 1: Tabela 2; Figura 1) (MORITA et al., 2002; HALLÉN et al., 2004). No entanto, a mais provável explicação consiste em que a oxidação dos componentes do glúten permite maior entrelaçamento da rede proteica, favorecendo maior retenção de água. O aumento da capacidade da farinha ozonizada em absorver água pode ser ainda atribuída a possíveis alterações na estrutura do amido (HALLÉN et al., 2004; AZZEH et al., 2009) ocasionadas pela oxidação do ozônio. De acordo com Chan et al. (2009) e An et al. (2009), a oxidação pelo gás ozônio acarretou aumento do poder de inchamento do amido de milho e de arroz, respectivamente.

O aumento do tempo de desenvolvimento da farinha de trigo (Tabela 2; Figura 4) pode estar relacionado à oxidação proteica. O maior grau de oxidação implica maior entrelaçamento e fortalecimento da rede proteica, acarretando aumento do tempo necessário para alcançar a máxima consistência da massa (SANDHU et al., 2011). Além disso, quanto maior a absorção de água da farinha de trigo, maior o tempo requerido para a formação da rede de glúten (PARASKEVOPOULOU et al., 2010).

Já para a estabilidade, o aumento dos valores da farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 e 1,07 mg L<sup>-1</sup>, quando comparada com a farinha controle (Tabela 2), como também à medida que se aumentou o período de exposição ao gás (Figura 5), indica aumento da resistência da massa ao tratamento mecânico. Embora a estabilidade da farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> não tenha diferido da farinha controle (Tabela 2), a partir de 8 h de ozonização, houve uma queda brusca deste parâmetro. Essa redução é justificada pelo aumento do tempo requerido para a formação da massa, ou seja, tempo de chegada (Tabela 3) (SILVA et al., 2010), sendo devida à maior capacidade de entrelaçamento proteico necessário para atingir a completa formação da rede de glúten.

Com relação ao índice de tolerância à mistura, o aumento significativo deste parâmetro entre a farinha de trigo controle e a ozonizada na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 2) e com o período de exposição nas concentrações 0,54, 1,07 e 1,61 mg L<sup>-1</sup> (Figura 6) indica aumento da capacidade da massa em suportar o excesso de mistura (SILVA et al., 2010). Embora seja estatisticamente significativa, a diferença de 10 - 20 U.F. de consistência da massa pode ser considerada desprezível, uma vez que tal variação não exigiria alterações nas configurações de maquinário de panificação e sequer seria percebida por padeiros experientes.

Analisando os resultados farinográficos da farinha de trigo, observa-se que a ozonização em diferentes concentrações e períodos de exposição exerce um efeito diferenciado sobre cada característica reológica. Ao comparar os valores dos parâmetros farinográficos sugeridos por Pizzinatto (1999) com os resultados obtidos (Tabela 2), a farinha de trigo controle e a ozonizada na concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  durante 1 e 4 h apresentou características de farinha média. Ainda segundo a classificação sugerida por Pizzinatto (1999), a farinha de trigo ozonizada nas concentrações e períodos de exposição, respectivamente, de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  e 9, 11, 13, 15 e 17 h, de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  e 7, 10, 13 h, de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  e 6, 8 e 10 h e de  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  e 2, 4, 6, 8 e 10 h apresentou características como forte, enquanto na concentração de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  por 2 e 4 h de ozonização como muito forte.

Quanto às características extensográficas, a resistência da massa corresponde à propriedade de resistir a uma força de distensão e a tendência de retornar à forma original (elasticidade), sendo a fração proteica glutenina responsável por esta função (CARVALHO, 1999). Observou-se que a farinha de trigo ozonizada nas concentrações de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  por 13 h e de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  por 10 h (Tabela 4) acarretou aumento da elasticidade devido ao fortalecimento da rede de glúten, conforme verificado nos resultados de farinografia. A partir destes períodos de exposição e nas concentrações de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 7) e  $2,14 \text{ mg L}^{-1}$  após 6 h (Tabela 4), houve redução da resistência à extensão, ou seja, perda da elasticidade da massa devida ao enfraquecimento do glúten em função de excessiva oxidação, conforme sugerido para os resultados do teor de glúten.

Já a extensibilidade está relacionada com o volume do pão, ou seja, o quanto a massa é capaz de esticar sem rompimento da estrutura (CARVALHO, 1999). A farinha ozonizada em todas as concentrações apresentou perda na extensibilidade da



massa com aumento do período de exposição ao gás. Este resultado era esperado em função do aumento observado na resistência à extensão da farinha ozonizada quando comparada com a farinha controle, o qual implica brusca ruptura da massa, impedindo seu esticamento (extensibilidade). Os resultados obtidos indicam alterações na estrutura da fração proteica glutenina com o aumento do período de exposição ao gás ozônio.

O aumento da elasticidade da massa pode ser atribuído à oxidação das proteínas formadoras do glúten causando inicialmente um fortalecimento da rede de glúten, sendo prejudicial quando ocorre excessiva exposição ao ozônio (Tabela 1; Figuras 1 e 2). O glúten representa a estrutura da massa de farinha de trigo, sendo responsável pelas características de extensibilidade (gliadina) e elasticidade (glutenina) e, no processo de panificação, permite a retenção de gases e formação da estrutura do produto final (KIEFFER et al., 1998; HRUSKOVA et al., 2006; PRUSKA-KEDZIOR et al., 2008). Esse comportamento da massa pode ser corroborado pelo parâmetro extensográfico energia, em que a diminuição da área da curva indica redução na força da massa e menor energia requerida para esticar a massa (PINTO et al., 2002). Neste trabalho, verificou-se tendência na redução da energia da farinha de trigo ozonizada ao longo do período de exposição ao gás e valores médios inferiores ao encontrado para a farinha controle (Tabela 4).

Com relação ao número proporcional, a diferença entre a farinha de trigo ozonizada e a controle e o aumento em função do período de exposição ao gás, nas concentrações 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, também pode ser atribuída às alterações na rede de glúten provocadas pela oxidação do gás ozônio (Tabela 4; Figura 11).

No geral, os resultados obtidos demonstraram que a ozonização da farinha de trigo promoveu mudanças nas propriedades viscoelásticas da massa. Apesar da perda

da qualidade panificável da farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> a partir de 13 h, 1,07 mg L<sup>-1</sup> a partir de 10 h, 1,61 mg L<sup>-1</sup> até 6 h e 2,14 mg L<sup>-1</sup> até 4 h, os parâmetros apresentaram valores característicos de farinhas média, de acordo com classificação proposta por Pizzinato (1999). Já a farinha ozonizada nas concentrações de 1,61 mg L<sup>-1</sup> a partir de 6 h e 2,14 mg L<sup>-1</sup> a partir de 4 h, apresenta características extensográficas impróprias para a panificação.

## 5. CONCLUSÃO

De forma geral, com os resultados obtidos do teor de glúten e farinografia, somados de extensografia, pode-se concluir que a farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por 9 e 11 h e de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1 e 4 h apresenta características adequadas para a panificação em função do aumento do teor de glúten úmido e seco, absorção de água, tempo de desenvolvimento e estabilidade e manutenção da resistência à extensão e resistência à extensão máxima.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of AACC**. 10.ed. Saint Paul: AACC, 1999.
- ALENCAR, E. R; FARONI, L. R. A; SOARES, N.F.F.; SILVA, W.A.; CARVALHO, M.C.S. Efficacy of ozone as a fungicidal and detoxifying agent of aflatoxins in peanuts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, doi: 10.1002/jsfa.4668, 2011a.
- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.DA; SOARES, N.F.F.; CARVALHO, M.C.S.; PEREIRA, K.F. Effect of the ozonization process on the quality of peanuts and crude oil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 154-160, 2011b.
- AN, H.J.; KING, J.M. Using ozonation and amino acids to change pasting properties of rice starch. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 3, p. 278-283, 2009.

- AZZEH, F.S.; AMR, A.S. Effect of gamma irradiation on physical characteristics of Jordanian durum wheat and quality of semolina and lasagna products. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, p. 818-822, 2009.
- CARVALHO, D. **Controle de qualidade de trigo e derivados e tratamento e tipificação de farinhas**. Curitiba: Núcleo de Desenvolvimento e Tecnologia - Granotec do Brasil, 1999. 97 p.
- CATALDO, F. On the action of ozone on proteins. **Polymer Degradation and Stability**, v. 82, p. 105-114, 2003.
- CHAN, H.T.; BHAT, R.; KARIM, A.A. Physicochemical and functional properties of ozone-oxidized starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n.13, p. 5965-5970, 2009.
- DESVIGNES, C.; CHAURAND, M.; DUBOIS, M.; SADOUDI, A.; ABECASSIS, J.; LULLIEN-PELLERIN, J. Changes in common wheat grain milling behavior and tissue mechanical properties following ozone treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 47, p. 245-251, 2008.
- DUBOIS, M., COSTE, C., DESPRES, A.G., EFSTATHIOU, T., NIO, C., DUMONT, E., MASSIN, D. Safety of Oxygreen<sup>®</sup>, an ozone treatment on wheat grains. Part 2. Is there a substantial equivalence between Oxygreen-treated wheat grains and untreated wheat grains. **Food Additives and Contaminants**, v. 23, n. 1, p. 1-15, 2006.
- FIGONI, P. Wheat Flour. In: FIGONI, P. **How baking works: Exploring the fundamentals of baking science**, 2nd ed. Chapter 5, p. 63-86. 2008. Published by, John Wiley & Sons Inc. Hoboken, NJ.
- GUARIENTI, E.M. **Qualidade industrial de trigo**. Documentos, 27, Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1996. 36p.
- HALLÉN, E., IBANOGLU, S., AINSWORTH, P. Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 177-184, 2004.
- HRUSKOVA, M.; SVEC, I.; JIRSA, O. Correlation between milling and baking parameters of wheat varieties. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 439-444, 2006.

- IBANOGLU, S. Wheat washing with ozonated water: Effects on selected flour properties. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 37, n. 5, p. 579-584, 2002.
- INDRANI, D.; RAO, V. Effect of additives on rheological characteristics and quality of wheat flour parotta. **Journal of Texture Studies**, v. 37, n. 3, p. 315-338, 2006.
- 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**, v. 45, n. 3, p. 159-164, 2009.
- KIEFFER, R.; WIESER, H.; HENDERSON, M.H.; GRAVELAND, A. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. **Journal of Cereal Science**, v. 27, p. 53-60, 1998.
- LÁSZLÓ, Z.; HOVORKA-HORVATH, Z.; BESZEDES, S.; KERTESZ, S.; GYIMES, E.; HODUR, C. Comparison of the effects of ozone, UV and combined ozone/UV treatment on the color and microbial counts of wheat flour. **Ozone: Science and Engineering**, v. 30, n. 6, p. 413-417, 2008.
- MENDEZ, F.; MAIER, D.E.; MASON, L.J.; WOLOSHUK, C.P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and performance. **Journal of Stored Products Research**, v. 39, n. 1, p. 33-44, 2003.
- MIRALBÉS, C. Quality control in the milling industry using near infrared transmittance spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 88, p. 621-628, 2004.
- MORITA, N., MAEDA, T., MIYAZAKI, M., YAMAMORI, M., MIURA, H., OHTSUKA, I. Effect of substitution of waxy-wheat flour for common flour on dough and baking properties. **Food Science and Technology Research**, v. 8, n. 2, p. 119-124, 2002.
- PARASKEVOPOULOU, A.; PROVATIDOU, E.; TSOTSIU, D.; KIOSSEOGLU, V. Dough rheology and baking performance of wheat flour–lupin protein isolate blends. **Food Research International**, v. 43, p. 1009-1016, 2010.
- PEREIRA, A. M.; FARONI, L. R. D'A.; SOUSA, A. H.; URRUCHI, W. I.; ROMA, R. C. C. Efeito imediato e latente da fumigação com ozônio na qualidade dos

- grãos de milho. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 32, n. 2, p. 100-110, 2007.
- PEREIRA, A.M.; FARONI, L.R.A.; SOUSA, A.H.; URRUCHI, W.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**, v. 12, n. 5, p. 493-497, 2008.
- PEREIRA, E.P.R.; AMORIM, E.O.C.; AMBIEL, H.C.L.; 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**, v. 12, n. 3, p. 161-171, 2009.
- PINTO, U.M.; FARONI, L.R.DA; ALVER, W.M.; SILVA, A.A.L. Influência da densidade populacional de *Sitophilus zeamais* (Motsch.) sobre a qualidade do trigo destinado à panificação. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1407-1412, 2002.
- PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes e parâmetros de avaliação e controle**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1999. 72 p.
- PRUSKA-KEDZIOR, A.; KEDZIOR, Z.; KLOCKIEWICZ- KAMINSKA, E. Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. **European Food Research Technology**, v. 277, p. 199-207, 2008.
- RAILA, A.; LUGAUSKAS, A.; STEPONAVIČIUS, D.; RAILIENĖ, M.; STEPONAVIČIENĖ, A.; ZVICEVIČIUS, E. Application of ozone for reduction of mycological infection in wheat grain. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 13, n. 2, p. 287-294, 2006.
- RASIAH, I.A.; SUTTON, K.H.; LOW, F.L.; LIN, H.M.; GERRAD, J.A. Crosslinking of wheat dough proteins by glucose oxidase and the resulting effects on bread and croissants. **Food Chemistry**, v. 89, n. 3, p. 325-332, 2005.
- ROZADO, A.F.; FARONI, L.R.A.; URRUCHI, W.M.I.; GUEDES, R.N.C.. PAES, J.L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p.282-285, 2008.

- SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SANDHU, H.P.S.; MANTHEY, F.A.; SIMSEK, S.; OHM, J.B. Comparison between potassium bromate and ozone as flour oxidants in breadmaking. **Cereal Chemistry**, v. 88, n. 1, p. 103-108, 2011.
- SILVA, R.C.; PINO, L.M.; SPOTO, M.H.F.; D'ARCE, M.A.B.R. Estabilidade oxidativa e sensorial de farinhas de trigo e fubá irradiados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, p. 406-413, 2010.
- SOUSA, A.H.; FARONI, L.R.D.A.; GUEDES, R.N.C.; TÓTOLA, M.R.; URRUCHI, W.I. Ozone as a management alternative against phosphine-resistant insect pests of stored products. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, n.4, p. 379-385, 2008.
- TIWARI, B. K.; BRENNAN, C. S.; CURRAN, T.; GALLAGHER, E.; CULLEN, P .J.; O' DONNELL, C. P. Application of ozone in grain processing. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 248-255, 2010.
- VERAVERBEKE, W.S., LARROQUE, O.R., BEKES, F., DELCOUR, J.A. In vitro polymerization of wheat glutenin subunits with inorganic oxidizing agents. I. Comparison of single-step and stepwise oxidations of high molecular weight glutenin subunits. **Cereal Chemistry**, v. 77, p. 582-588, 2000a.
- VERAVERBEKE, W.S., LARROQUE, O.R., BEKES, F., DELCOUR, J.A. In vitro polymerization of wheat glutenin subunits with inorganic oxidizing agents. II. Stepwise oxidation of low molecular weight glutenin subunits and a mixture of high and low molecular weight glutenin subunits. **Cereal Chemistry**, v. 77, p. 589-594, 2000b.
- YOSHIDA, C.; KIRIMURA, M.; DANNO, G. Change in the amount of SDS-Insoluble gluten by oxidants during breadmaking. **Food Science and Technology Research**, v. 7, n. 2, p. 99-103, 2001.
- YVIN, J.C.; BAILLI, A.; JOUBERT, J.M.; BERTAUD, O. Method and installation for making flour from ozone-treated grains. **United States Patent**, nº. 6915996B2, 11p. 2005.

WEEGELS, P.L.; HAMER, R.J.; SCHOFIELD, J.D. Critical review. Functional properties of wheat glutenin. **Journal of Cereal Science**, v.23, p. 1-18, 1996.

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

## *Capítulo 4*

### **AVALIAÇÃO SENSORIAL E QUALIDADE DE PANIFICAÇÃO DA FARINHA DE TRIGO OZONIZADA**

#### **RESUMO**

Objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade sensorial e de panificação da farinha de trigo ozonizada e dos pães elaborados com esta farinha e o efeito residual do ozônio como inibidor de micro-organismos nos pães. A farinha de trigo foi

ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por 9, 11, 13, 15 e 17 h, de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1, 4, 7, 10 e 13 h e de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> por 2, 4, 6, 8 e 10 h. Nos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada ou não, foram feitas análises de panificação experimental de volume específico, firmeza e cor da crosta e do miolo. Para a avaliação sensorial da farinha de trigo e do pão, adotou-se o Teste de Aceitação. O possível efeito residual do gás ozônio como inibidor de micro-organismos foi analisado pela contagem de fungos filamentosos e leveduras e pela inoculação do fungo do gênero *Penicillium* sp. nos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada ou não. A farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por 9 e 11 h e 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1 e 4 h apresentou um desempenho de panificação semelhante ao da farinha controle, sendo estes tratamentos indicados para a elaboração de pães. A farinha de trigo ozonizada apresentou maior aceitabilidade que a farinha controle, e o pão elaborado com farinha de trigo ozonizada teve boa aceitação pelos provadores. A ozonização da farinha de trigo não inibiu o crescimento de micro-organismos nos pães.

**Palavras-chave:** Processo de ozonização, propriedades de panificação, aceitabilidade, análises microbiológicas

## **SENSORY EVALUATION AND BREADMAKING QUALITY OF WHEAT FLOUR OZONATED**

### **ABSTRACT**

The aims of this study were to evaluate the sensory and breadmaking quality of wheat flour ozonated and breads made from this flour, and the residual effect of ozone as an inhibitor of micro-organisms in bread. Wheat flour was ozonized at concentration of 0.54 mg L<sup>-1</sup> during 9, 11, 13, 15 and 17 h, 1.07 mg L<sup>-1</sup> for 1, 4, 7, 10



and 13 h and 1.61 and 2.14 mg L<sup>-1</sup> for 2, 4, 6, 8 and 1 h. Analysis of bread quality (specific volume, firmness and color of crust and crumb) were carried out in bread made from wheat flour ozonized or not. It was adopted acceptance test for the sensory analysis of wheat flour and breads. The possible inhibitory effect of ozone gas was analyzed by counting of filamentous fungi and yeast and by inoculation of the *Penicillium* sp. in breads. Wheat flour ozonated at 0.54 mg L<sup>-1</sup> during 9 and 11 h and 1.07 mg L<sup>-1</sup> for 1 and 4 h was similar to bakery flour control. These treatments were used to make the breads. The flour ozonated had higher acceptability than the control and bread made from flour ozonated was considered a quality product with good acceptance by the judges. The ozonation of flour did not inhibit the growth of filamentous fungi in breads.

**Keywords:** Ozonation process, baking properties, acceptability, microbiological analysis

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de panificação no Brasil vem se destacando como um dos maiores segmentos industriais do país, tendo índice de crescimento, em 2010, superior a outros setores ligados à alimentação (PROPAN, 2010). Entre os produtos panificados, o pão é um dos alimentos que constituem a cesta básica, de consumo diário, apreciado pela sua aparência, aroma, sabor, preço e disponibilidade

(BATTOCHIO et al., 2006). De acordo com o Programa de Desenvolvimento da Alimentação, Confeitaria e Panificação, o consumo de pães no Brasil é de 33,5 kg anuais por pessoa (PROPAN, 2010).

Na produção do pão, a farinha constitui um dos principais ingredientes, sendo que apenas a derivada do trigo tem propriedades tecnológicas capazes de dar origem a um produto final com características aceitáveis pelos consumidores (TEDRUS et al., 2001; KIHLEBERG et al., 2004). Com a finalidade em melhorar e manter a qualidade dos pães, agentes oxidantes são adicionados à farinha de trigo (PEREIRA et al., 2009). Esses aditivos atuam diretamente sobre a estrutura das proteínas, reforçando a rede de glúten e, como consequência, alteram a reologia da massa, aumentando a capacidade de retenção de gases, o que resulta em pães com maior volume (SANDHU et al., 2011). O gás ozônio, por ser altamente oxidante, pode ser utilizado para essa finalidade. De acordo com Sandhu et al. (2011), este gás pode ser considerado um substituto aos agentes oxidantes utilizados no processo de panificação.

Em adição à sua ação reforçadora oxidante, o gás ozônio, por ser considerado um potente agente antimicrobiano e sanitizador, constitui uma excelente alternativa para substituir o cloro, um dos principais sanitizantes utilizados nas indústrias moageiras (XU, 1999; SILVA et al., 2011). Em geral, o que basicamente diferencia o ozônio de outros agentes desinfetantes é seu mecanismo de inativação dos microorganismos. O cloro, especificamente, atua por difusão, através da parede celular, agindo sobre os elementos vitais localizados no interior da célula, como enzimas, proteínas, DNA e RNA. O ozônio age diretamente na parede da célula, causando sua ruptura e morte em menor tempo de contato, inviabilizando a recuperação dos micro-

organismos após a ação (HUNT et al., 1999; KHADRE et al., 2001; CHIATTONE et al., 2008).

Embora os resultados da eficácia da desinfecção e do controle de insetos-praga sejam satisfatórios e sem interferir na qualidade da farinha, torna-se essencial o conhecimento das características sensoriais de um produto tão consumido quanto a farinha de trigo e o pão, bem como avaliar as características microbiológicas, já que o melhoramento da qualidade do produto representa uma oportunidade de agregar valor de mercado.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade de panificação e sensorial da farinha de trigo ozonizada, bem como dos pães elaborados com esta farinha. Objetivou-se também avaliar o efeito inibidor sobre os microorganismos nos pães.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

As análises de panificação experimental e sensoriais da farinha de trigo e dos pães foram realizadas, respectivamente, no Laboratório de Panificação, Massas e Amido e no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Microbiologia (DMB) da UFV.

Utilizou-se no experimento farinha de trigo sem a adição de aditivos fornecida pelo Moinho Vera Cruz, localizado em Santa Luzia, MG. No Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da UFV, a farinha de trigo foi armazenada em sacos de polietileno no interior de câmaras climáticas, à temperatura de 25 °C.

## 2.1 Análises microbiológicas da farinha de trigo

A farinha de trigo controle foi caracterizada pelas análises microbiológicas de *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, coliformes totais e termotolerantes, fungos filamentosos e leveduras e *Salmonella* spp, em conformidade com a Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003 (BRASIL, 2003). A caracterização microbiológica da farinha de trigo foi feita com o propósito de avaliar a possibilidade de sua utilização na elaboração dos pães empregados nas análises sensoriais sem comprometer a saúde dos provadores.

As análises microbiológicas foram realizadas em amostras de 25 g de farinha de trigo pesadas assepticamente e homogeneizadas com 225 mL de água de peptonada 0,1% no equipamento *Stomacher*<sup>®</sup> (Steward, Reino Unido). Diluições decimais foram preparadas com essas amostras, das quais se transferiram alíquotas para os meios específicos. Cada diluição foi plaqueada em duplicata.

A contagem padrão de *B. cereus* foi realizada pela técnica de espalhamento em superfície. O resultado foi expresso em Unidades Formadoras de Colônias por grama de amostra (UFC g<sup>-1</sup>).

A presença de *S. aureus* foi verificada pela contagem padrão de colônias típicas. Utilizou-se a técnica de espalhamento em superfície e o resultado foi expresso em Unidades Formadoras de Colônias por grama de amostra (UFC g<sup>-1</sup>).

A detecção de coliformes totais e termotolerantes foi realizada pelo método do Número Mais Provável (NMP), em tubos múltiplos, com os testes presuntivo e confirmativo. O resultado obtido foi expresso em Número Mais Provável por grama de amostra (NMP g<sup>-1</sup>).

A análise de fungos filamentosos e leveduras foi realizada pela técnica de espalhamento em superfície, sendo que para a contagem padrão de fungos

selecionou-se as placas de Petri contendo de 15 a 150 colônias. O resultado foi expresso em Unidades Formadoras de Colônias por grama de amostra (UFC g<sup>-1</sup>).

A análise para detecção de *Salmonella* sp. foi realizada pelos procedimentos de pré-enriquecimento, enriquecimento seletivo, isolamento e caracterização bioquímica e sorológica. O resultado de *Salmonella* sp. foi expresso como presença ou ausência em 25 g de farinha de trigo.

## 2.2 Ozonização da farinha de trigo

O processo de ozonização da farinha de trigo (3,5 kg), nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, foi realizado no protótipo descrito no Capítulo 1, subitem 2.1. Para cada concentração, o processo de ozonização foi feito em triplicata. A geração e a quantificação do gás ozônio foram realizadas de acordo com a metodologia adotada no Capítulo 1, subitens 2.2 e 2.3, respectivamente.

A partir do estudo de cinética de reação do gás ozônio na farinha de trigo (Capítulo 1), estabeleceram-se os períodos de exposição de: 9, 11, 13, 15 e 17 h com a concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup>; 1, 4, 7, 10 e 13 h com a concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup>; e 2, 4, 6, 8 e 10 h com as concentrações de 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>.

## 2.3 Procedimento para o preparo dos pães

O preparo dos pães com farinha de trigo ozonizada ou não foi realizado segundo o método 10-10B da AACC (1999), com modificações. A quantidade de ingredientes sólidos utilizada para a formulação dos pães está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Formulação dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada ou não

Ingredientes	Formulações (Baker's %)	Quantidade (g)
Farinha de trigo	100	1000
Açúcar	15	150
Sal	2	20

Fermento biológico	5	50
Gordura	5	50

Os ingredientes foram misturados em misturadora vertical marca Kitchen Aid, modelo 56RC 6504. Inicialmente, misturou-se farinha de trigo, açúcar e sal por 5 min, e em seguida, adicionou-se água (464 mL) e fermento, e a mistura prosseguiu por mais 7 min. Por último foi adicionado gordura e, após a formação de uma massa lisa e homogênea, esta foi boleada e deixada em descanso por 30 min. Passado o período de descanso, foram retiradas onze amostras de 150 g de massa. Cada amostra passou por cilindragem, modelagem manual e foi colocada em formas retangulares com 6,5 cm de largura x 13,5 cm de comprimento x 4,5 cm de altura. A fermentação foi realizada por 70 min e a massa foi assada em forno a gás, à temperatura de 180 °C por 30 min. Após o forneamento, os pães foram deixados esfriar, em condições ambientais, por 2 h para realização das análises de panificação experimental, sensorial e microbiológica.

#### **2.4 Panificação experimental**

O volume específico ( $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ ) foi obtido pela razão entre o volume do pão determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço (AACC, 1999) e sua massa determinada em balança analítica e expressa em gramas.

A análise de firmeza dos pães foi realizada por meio do teste de compressão do miolo, utilizando texturômetro TA.XT Express (Stable Micro Systems, UK), equipado com célula de carga de 4 kg e Probe cilíndrico de 35 mm de diâmetro. Os parâmetros utilizados no teste foram velocidade de pré-teste:  $5 \text{ mm s}^{-1}$ , velocidade de pós-teste:  $10 \text{ mm s}^{-1}$ , velocidade do teste:  $1,7 \text{ mm s}^{-1}$ , profundidade de compressão: 40%, espessura das fatias: 25 mm.

A avaliação da cor da crosta e do miolo dos pães foi determinada em equipamento colorímetro Minolta® CR 400 (iluminante C e ângulo 10°) pelo sistema CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). Os parâmetros avaliados foram as coordenadas L\*, a\* e b\* e a diferença total de cor ( $\Delta E$ ).

As análises de volume específico, firmeza dos pães e cor foram realizadas em duplicata.

A partir dos resultados obtidos no teste de panificação experimental da farinha de trigo ozonizada foram selecionados os melhores tratamentos para fins de análises sensoriais da farinha de trigo e dos pães e análises microbiológicas dos pães.

## 2.5 Análise sensorial da farinha de trigo e do pão

A avaliação sensorial da farinha de trigo e do pão foi conduzida em cabines individuais, iluminadas com luz branca. As amostras, codificadas com números de três dígitos aleatórios, foram servidas para 50 provadores não treinados de ambos os sexos e diferentes faixas etárias. O método utilizado para análise sensorial tanto da farinha de trigo quanto do pão foi o Teste de Aceitação em escala hedônica estruturada de 9 pontos com os extremos gostei extremamente a desgostei extremamente. Na avaliação da farinha de trigo foram levados em consideração os atributos sensoriais cor e odor (Figura 1) e para a avaliação do pão, cor, aroma, sabor e firmeza (Figura 2). A farinha de trigo também foi analisada quanto à intenção de compra, em escala hedônica não estruturada de 9 cm entre âncoras com os extremos definitivamente compraria e definitivamente não compraria (Figura 1).

<b>Teste sensorial de aceitação – Farinha de trigo</b>	<b>Data:</b> \ \2011
Nome: _____	Idade: ___ anos
Sexo: ( ) Masculino ( ) Feminino	
Você compra farinha de trigo com que frequência:	

<input type="checkbox"/> Mensalmente <input type="checkbox"/> De vez em quando (com que frequência?) _____ <input type="checkbox"/> Nunca																												
<p>Por favor, avalie a amostra servida e indique o quanto você gostou ou desgostou de cada um dos atributos sensoriais da farinha de trigo, dando notas de acordo com a escala abaixo.</p> <p style="text-align: right;">Código da amostra:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;">9) Gostei extremamente</td> <td style="width: 20%;">Atributo sensorial</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td>8) Gostei muito</td> <td>Cor</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>7) Gostei moderadamente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6) Gostei ligeiramente</td> <td>Odor</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>5) Indiferente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4) Desgostei ligeiramente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3) Desgostei moderadamente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2) Desgostei muito</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1) Desgostei extremamente</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		9) Gostei extremamente	Atributo sensorial		8) Gostei muito	Cor	_____	7) Gostei moderadamente			6) Gostei ligeiramente	Odor	_____	5) Indiferente			4) Desgostei ligeiramente			3) Desgostei moderadamente			2) Desgostei muito			1) Desgostei extremamente		
9) Gostei extremamente	Atributo sensorial																											
8) Gostei muito	Cor	_____																										
7) Gostei moderadamente																												
6) Gostei ligeiramente	Odor	_____																										
5) Indiferente																												
4) Desgostei ligeiramente																												
3) Desgostei moderadamente																												
2) Desgostei muito																												
1) Desgostei extremamente																												
<p>Marque com um traço vertical na escala abaixo o ponto que representa a sua intenção de compra desta farinha de trigo</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> </div>																												
<p>Comentários:</p> <p>_____</p> <p>_____</p>																												

Figura 1 - Ficha de avaliação apresentada aos provedores para análise sensorial da farinha de trigo

<b>Teste sensorial de aceitação – Pão</b>	<b>Data:</b> \ \ 2011
Nome: _____	Idade: _____ anos
Sexo: <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Feminino	
Você consome pão com que frequência: <input type="checkbox"/> Diariamente <input type="checkbox"/> De vez em quando (com que frequência?) _____ <input type="checkbox"/> Nunca	
Por favor, avalie a amostra servida e indique o quanto você gostou ou	



desgostou de cada um dos atributos sensoriais do pão, dando notas de acordo com a escala abaixo.

		Código da amostra:	
9) Gostei extremamente	Atributo sensorial		
8) Gostei muito	Cor	_____	
7) Gostei moderadamente			
6) Gostei ligeiramente	Aroma	_____	
5) Indiferente			
4) Desgostei ligeiramente	Sabor	_____	
3) Desgostei moderadamente			
2) Desgostei muito	Textura	_____	
1) Desgostei extremamente			
Comentários: _____			
_____			

Figura 2 - Ficha de avaliação apresentada aos provadores para análise sensorial dos pães

Para a avaliação da cor da farinha de trigo, amostras foram embaladas em sacos plásticos transparentes, simulando as embalagens tradicionais de farinha de trigo e para avaliação do odor, amostras foram acondicionadas em copos plásticos cobertos por papel alumínio perfurados. As amostras de pão foram fatiadas na espessura de 12 mm e servidas em pratos brancos, juntamente com um copo de água.

## 2.6 Análises microbiológicas dos pães e ambiente

Para avaliar o potencial de deterioração dos pães formulados com farinha de trigo ozonizada foram realizados dois experimentos: o primeiro consistiu na contagem de contaminantes naturais do produto (fungos filamentosos e leveduras) e o segundo na inoculação de esporos do fungo do gênero *Penicillium* sp, seguido de incubação a 25 °C.

A contaminação do ambiente de processamento de pães foi avaliada pela técnica de sedimentação simples, e constituiu da exposição da superfície do Ágar BDA acidificado, contido em placas de Petri, pelo período de 30 min. A seguir, a placa foi fechada e incubada em estufa do tipo BOD a 25 °C, por sete dias.

### **2.6.1 Contagem padrão de fungos filamentosos e leveduras**

Os pães foram embalados em sacos plásticos transparentes e armazenados em estufa tipo BOD à temperatura de 25 °C, durante sete dias. Após esse período, foi feita a contagem de fungos filamentosos e leveduras em amostras de 25 g da parte inferior dos pães conforme o procedimento descrito no item 2.1.

### **2.6.2 Inoculação de fungos do gênero *Penicillium* sp. nos pães**

Inoculou-se 0,1 mL de suspensão de conídios de *Penicillium* sp. sobre a superfície de fatias de pão cortadas assepticamente, nas dimensões de 2 x 2 x 2 cm (comprimento x largura x profundidade). As amostras de pães contaminadas foram acondicionadas em placa de Petri previamente esterilizadas e incubadas em estufa tipo BOD à 25 °C, durante sete dias. Após este período, as amostras foram analisadas visualmente quanto à presença ou ausência do crescimento de fungos.

## **2.7 Delineamento experimental e análises estatísticas**

Nas análises referentes à panificação experimental foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (D.I.C.), com cinco períodos de exposição para cada concentração (quatro) em duas repetições mais um controle. Nas análises sensoriais e microbiológicas também foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (D.I.C.), com três concentrações e dois períodos de exposição (0 mg L<sup>-1</sup>, 0,54 mg L<sup>-1</sup> e 9 e 11 h e 1,07 mg L<sup>-1</sup> 1 e 4 h).

A comparação dos valores médios das análises de panificação experimental e sensorial da farinha de trigo ozonizada bem como a sensorial e microbiológica do

pão elaborado com esta farinha em relação ao controle foi feita pelo teste Dunnett a 5% probabilidade, com o uso do programa estatístico SAEG (SAEG, 2007).

Os valores médios dos parâmetros de volume específico, firmeza e cor dos pães foram analisados, em função do período de exposição ao gás, para cada concentração, pela análise de regressão, utilizando o programa estatístico SAEG (SAEG, 2007). Os modelos foram escolhidos adotando os seguintes critérios: coeficientes significativos até 5% de probabilidade, coeficiente de determinação e comportamento do fenômeno.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Análise microbiológica da farinha de trigo

Apresentam-se na Tabela 2, os resultados da análise microbiológica conduzida para a caracterização da farinha de trigo controle.

Tabela 2 - Resultados das análises microbiológicas realizadas na farinha de trigo

Análises microbiológicas	Resultado
<i>B. cereus</i> (UFC g <sup>-1</sup> )	< 10 <sup>2</sup>
Coliformes totais (NMP g <sup>-1</sup> )	< 3
Coliformes termotolerantes	< 3
Fungos filamentosos e leveduras (UFC g <sup>-1</sup> )	< 10 <sup>2</sup>
<i>S. aureus</i> (UFC g <sup>-1</sup> )	< 10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella</i> sp.	Ausência em 25 g

Os resultados obtidos (Tabela 2) encontram-se de acordo com o estabelecido pela Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, do Regulamento Técnico sobre os Padrões Microbiológicos para Alimentos (BRASIL, 2001). Dessa forma, as análises sensoriais dos pães elaborados com a farinha de trigo puderam ser feitas sem comprometer a saúde dos provadores.

### 3.2 Panificação experimental

O volume específico dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada, foi na maioria das vezes, significativamente menor que o do controle (Tabela 3). A farinha de trigo tratada com menor concentração de ozônio ( $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ ) resultou em pães de volume específico semelhante a aqueles elaborados com a farinha não tratada (Tabela 3). Ressalta-se que o volume específico dos pães elaborados com a farinha ozonizada na concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  e período de exposição de 1 h foi significativamente superior ao controle (Tabela 3).

A ozonização da farinha de trigo nas concentrações de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  por 9 h, de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  até 7 h e de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$  por 2 h não interferiu na firmeza dos pães quando comparados com o pão elaborado com a farinha de trigo controle (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios de volume específico ( $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ) e firmeza (gf) dos pães elaborados com farinha de trigo controle e ozonizada em diferentes concentrações e períodos de exposição ao gás

Tratamento		Volume específico ( $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ )	Firmeza (gf)
Controle		2,43	153,3
0,54 $\text{mg L}^{-1}$	9 h	2,46	178,2
	11 h	2,44	192,9*
	13 h	2,13	211,3*

	15 h	2,17	228,3*
	17 h	1,94	253,0*
	Controle	2,43	153,3
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	2,86*	118,1
	4 h	2,54	190,5
	7 h	2,20*	214,8
	10 h	1,83*	316,3*
	13 h	1,72*	447,2*
	Controle	2,43	153,3
1,61 mg L <sup>-1</sup>	2 h	2,00*	263,7
	4 h	1,86*	279,1*
	6 h	1,79*	343,3*
	8 h	1,71*	380,6*
	10 h	1,55*	425,2*
	Controle	2,43	153,3
2,14 mg L <sup>-1</sup>	2 h	1,90*	273,1*
	4 h	2,00*	308,0*
	6 h	1,83*	316,8*
	8 h	1,51*	432,0*
	10 h	1,44*	434,6*

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Em todas as concentrações de ozônio avaliadas, os dados de volume específico (Figura 3) e firmeza (Figura 4) dos pães em função do período de exposição foram ajustados ao modelo linear. O volume específico dos pães se reduziu linearmente com o período de exposição (Figura 3), enquanto a firmeza aumentou linearmente (Figura 4). A redução do volume específico dos pães foi de 0,06, 0,10, 0,05 e 0,07 e o aumento da firmeza foi de 9,24, 26,14, 21,23 e 22,35, para cada hora de variação, nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

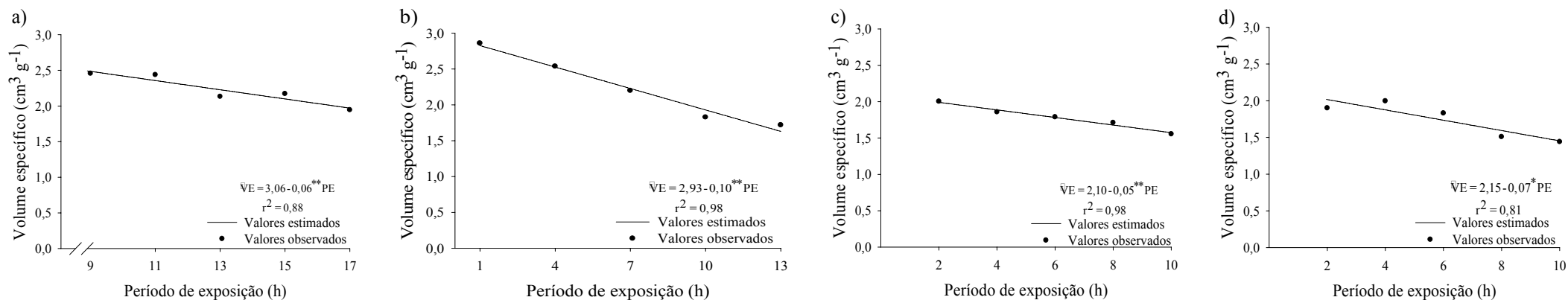


Figura 3 - Valores estimados e observados do volume específico (VE) dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

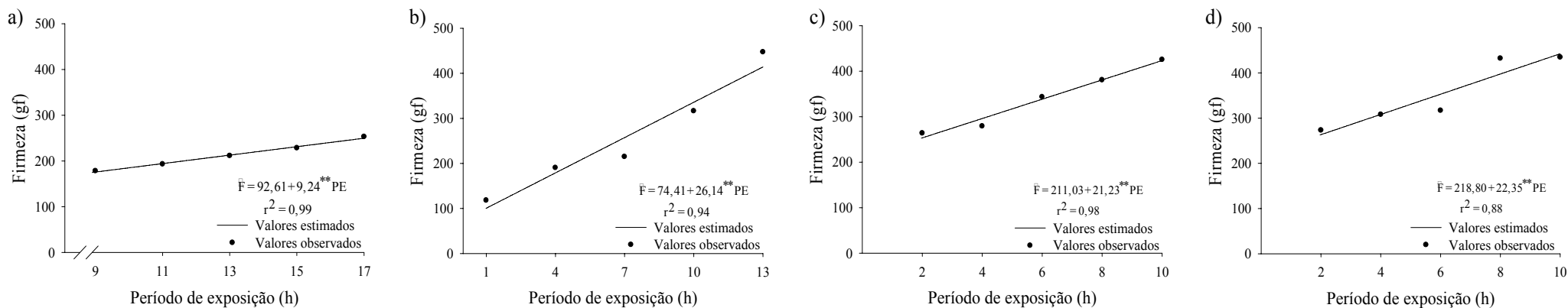


Figura 4 - Valores estimados e observados da firmeza (F) dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Verificou-se diferença na cor da crosta dos pães, ao comparar com o pão elaborado com a farinha controle, apenas quando foram preparados com a farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 1,07 mg L<sup>-1</sup> após 10 h de ozonização, em que a coordenada L\* aumentou significativamente e de 2,14 mg L<sup>-1</sup> em todos os períodos de exposição (Tabela 4). Nesta última concentração, a coordenada L\* e o ΔE aumentaram significativamente e a coordenada a\* se reduziu.

Tabela 4 - Valores médios de L\*, a\*, b\* e ΔE da cor da crosta dos pães elaborados com farinha de trigo controle e ozonizada em diferentes concentrações e períodos de exposição ao gás

Tratamento		L*	a*	b*	ΔE
Controle		52,30	14,21	34,36	-
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	49,74	13,83	31,30	3,06
	11 h	50,81	13,96	32,77	4,02
	13 h	58,87	13,65	36,18	4,19
	15 h	56,65	13,64	36,82	5,43
	17 h	59,84	13,22	37,11	8,13
Controle		52,30	14,21	34,36	-
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	52,35	14,18	33,02	2,58
	4 h	56,73	13,09	34,41	4,66
	7 h	56,43	12,89	34,51	4,59
	10 h	57,62*	12,03	36,06	5,84
	13 h	59,28*	12,07	36,20	7,41
Controle		52,30	14,21	34,36	-
1,61 mg L <sup>-1</sup>	2 h	63,17	10,99	36,77	11,46
	4 h	65,59	9,57	35,04	14,08
	6 h	66,46	8,69	33,26	15,39
	8 h	66,47	8,17	33,12	15,61
	10 h	71,73	8,02	32,53	20,73
Controle		52,30	14,21	34,36	-
2,14 mg L <sup>-1</sup>	2 h	63,81*	10,87*	35,94	12,01*
	4 h	63,60*	10,96*	36,08	11,80*
	6 h	68,87*	8,17*	34,46	17,67*
	8 h	75,47*	7,84*	34,10	24,07*
	10 h	76,97*	6,38*	33,33	25,47*

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Observou-se efeito linear das coordenadas  $L^*$  (Figura 5),  $a^*$  (Figura 6) e  $b^*$  (Figura 7) e do  $\Delta E$  (Figura 8) da crosta dos pães elaborados com farinha ozonizada em função do período de exposição.

Nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14  $\text{mg L}^{-1}$ , a coordenada  $L^*$  da crosta dos pães aumentou 1,30, 0,49, 0,90 e 1,91 (Figura 5), enquanto a coordenada  $a^*$  se reduziu de 0,08, 0,18, 0,37 e 0,6 (Figura 6) a cada hora de variação, respectivamente.

A crosta dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 e 1,07  $\text{mg L}^{-1}$  apresentou aumento de 0,78 e 0,27 para cada hora em que se aumentou o período de exposição ao gás, respectivamente, da coordenada  $b^*$  (Figura 7). No entanto, nas concentrações de 1,61 e 2,14  $\text{mg L}^{-1}$ , a coordenada  $b^*$  se reduziu em 0,52 e 0,36 para cada hora de variação, respectivamente (Figura 7).

Observou-se aumento na diferença total de cor da crosta dos pães com o aumento do período de exposição ao gás (Figura 8). Nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14  $\text{mg L}^{-1}$ , o aumento na diferença total de cor foi de 0,58, 0,36, 1 e 1,96 para cada hora de variação, respectivamente.



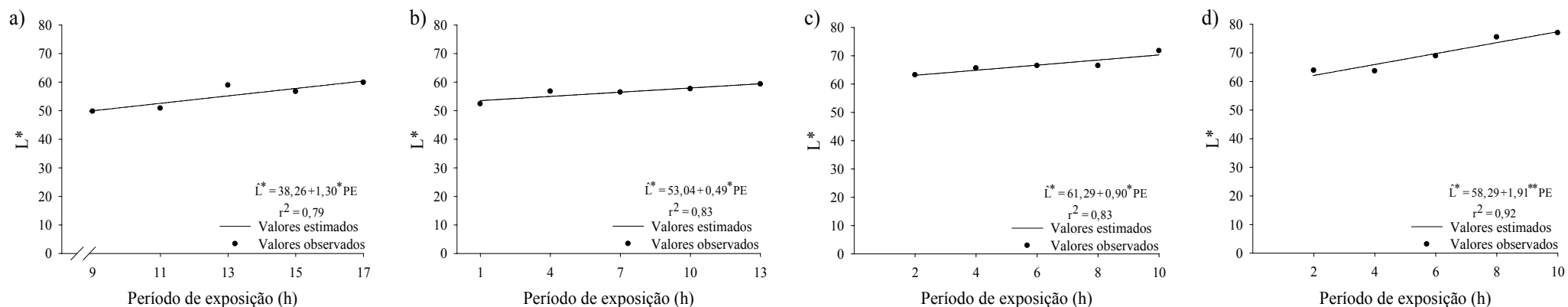


Figura 5 - Valores estimados e observados da coordenada L\* da crosta dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

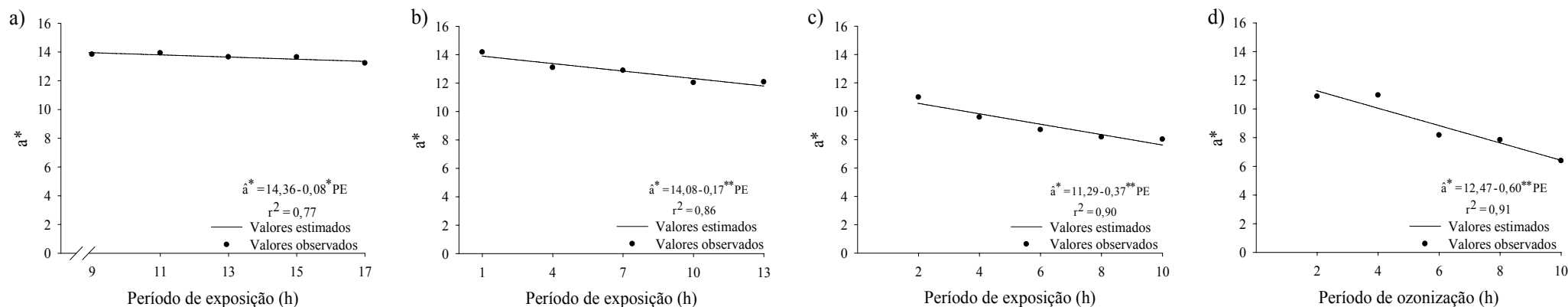


Figura 6 - Valores estimados e observados da coordenada a\* da crosta dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

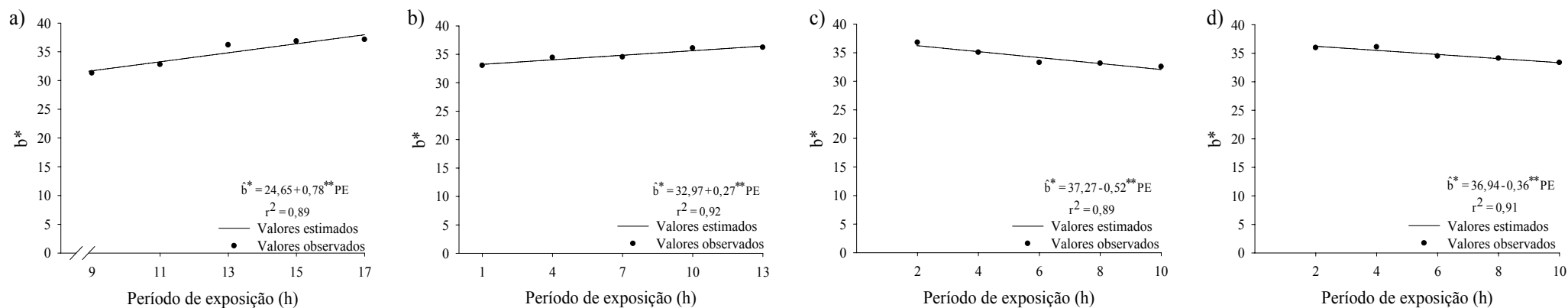


Figura 7 - Valores estimados e observados da coordenada  $b^*$  da crosta dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54  $\text{mg L}^{-1}$ ; b) 1,07  $\text{mg L}^{-1}$ ; c) 1,61  $\text{mg L}^{-1}$ ; e d) 2,14  $\text{mg L}^{-1}$  em função do período de exposição ao gás (PE). \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

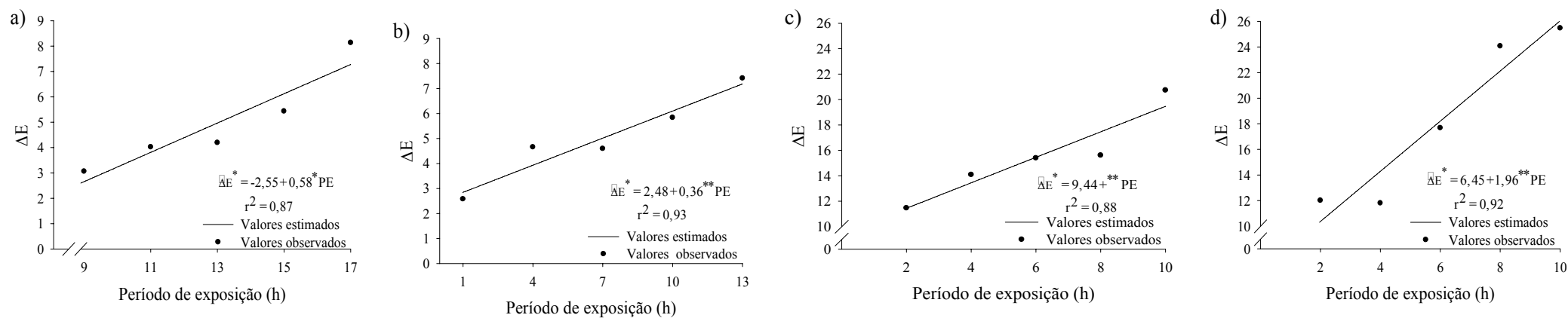


Figura 8 - Valores estimados e observados do  $\Delta E$  da crosta dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54  $\text{mg L}^{-1}$ ; b) 1,07  $\text{mg L}^{-1}$ ; c) 1,61  $\text{mg L}^{-1}$ ; e d) 2,14  $\text{mg L}^{-1}$  em função do período de exposição (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, os valores médios das coordenadas  $L^*$  e  $a^*$  do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada não diferiram significativamente da farinha controle pelo teste Dunnett ao nível de probabilidade de 5%, com exceção para a coordenada  $a^*$  na concentração de 1,07 mg  $L^{-1}$  durante 10 e 13 h de ozonização e na concentração de 2,14 mg  $L^{-1}$  em todos os períodos de exposição ao gás. Com relação aos valores médios da coordenada  $b^*$ , observou-se que não houve diferença estatística apenas na concentração de 0,54 mg  $L^{-1}$  e período de exposição de 9 h e na concentração de 1,07 mg  $L^{-1}$  e período de exposição de 4 h, enquanto para a  $\Delta E$  não houve diferença estatística apenas na concentração de 0,54 mg  $L^{-1}$  (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios de L\*, a\*, b\* e ΔE do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo controle e ozonizada em diferentes concentrações e períodos de exposição ao gás

Tratamento	L*	a*	b*	ΔE	
Controle	72,59	0,08	17,78	0,00	
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	70,98	0,10	17,25	1,67
	11 h	72,71	0,16	19,01*	1,57
	13 h	72,14	0,22	19,21*	1,82
	15 h	73,19	0,26	19,16*	2,00
	17 h	73,45	0,28	19,34*	2,16
Controle	72,59	0,08	17,78	0,00	
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	72,60	0,13	16,88*	1,10*
	4 h	72,63	0,18	18,48	1,16*
	7 h	73,11	0,21	19,33*	2,17*
	10 h	73,30	0,42*	20,92*	3,60*
	13 h	73,71	0,78*	21,76*	4,50*
Controle	72,59	0,08	17,78	0,00	
1,61 mg L <sup>-1</sup>	2 h	72,37	0,11	18,98*	1,95*
	4 h	74,16	0,16	20,13*	3,12*
	6 h	74,59	0,21	21,03*	4,08*
	8 h	74,69	0,26	21,84*	5,05*
	10 h	74,59	0,29	22,58*	5,48*
Controle	72,59	0,08	17,78	0,00	
2,14 mg L <sup>-1</sup>	2 h	72,71	0,41*	19,36*	2,03*
	4 h	72,79	0,47*	20,46*	3,03*
	6 h	73,65	0,60*	21,56*	4,40*
	8 h	73,72	1,04*	23,66*	6,38*
	10 h	74,17	1,23*	23,96*	6,66*

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

A coordenada L\* do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54, 1,07 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás foi ajustada ao modelo linear, enquanto na concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup>, com o modelo *Linear Response Plateau* (Figura 9). Nas concentrações de 0,54, 1,07 e 2,14 mg L<sup>-1</sup>, houve aumento de 0,27, 0,10 e 0,19 para cada hora que se aumentou o período de exposição, respectivamente. Na concentração de 1,61 mg L<sup>-1</sup>, o aumento foi até 4,52 h de ozonização, mantendo-se constante a partir deste período.

A coordenada  $a^*$  dos pães elaborados com a farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54, 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> aumentou linearmente 0,02, 0,05, 0,02 e 0,11 para cada hora em que se aumentou o período de exposição ao gás, respectivamente.

Os dados da coordenada  $b^*$  ajustaram-se ao modelo *Linear Response Plateau* na concentração de 0,54 mg L<sup>-1</sup>, em que apresentou aumento deste parâmetro até 11,25 h de ozonização. Nas concentrações de 1,07, 1,61 e 2,14 mg L<sup>-1</sup> houve aumento linear de 0,41, 0,45 e 0,62 para cada hora em que se aumentou o período de exposição (Figura 11).

O mesmo comportamento da coordenada  $a^*$  (Figura 10) foi observado nos valores de quando se analisou o miolo dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada (Figura 12). Em todas as concentrações avaliadas, houve aumento linear na diferença total de cor da farinha de trigo com o período de exposição.

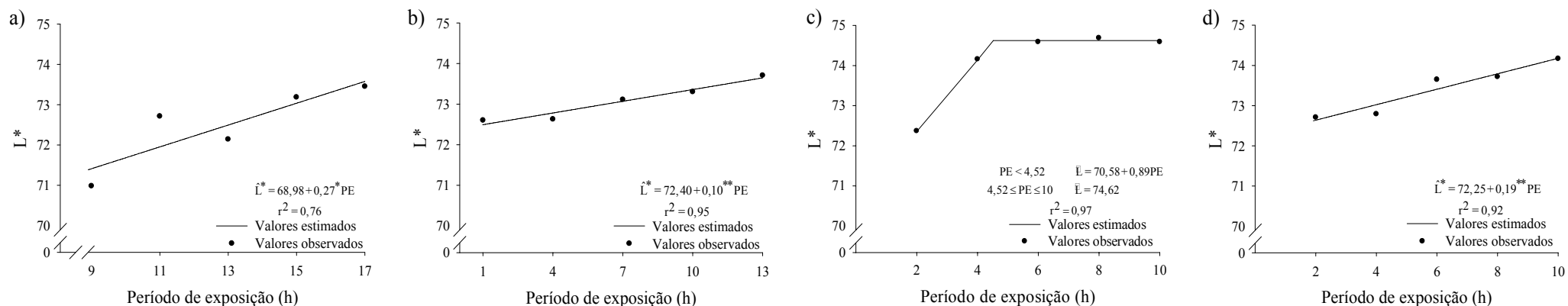


Figura 9 - Valores estimados e observados da coordenada L\* do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

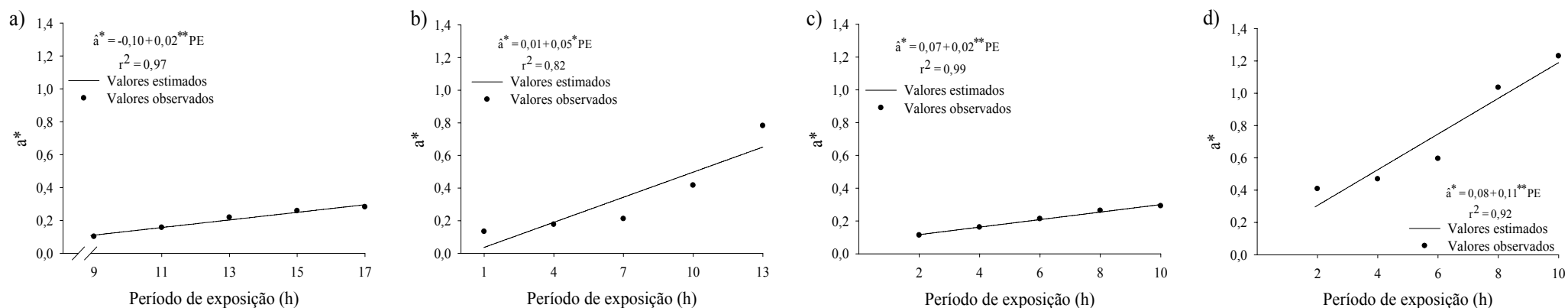


Figura 10 - Valores estimados e observados da coordenada a\* do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

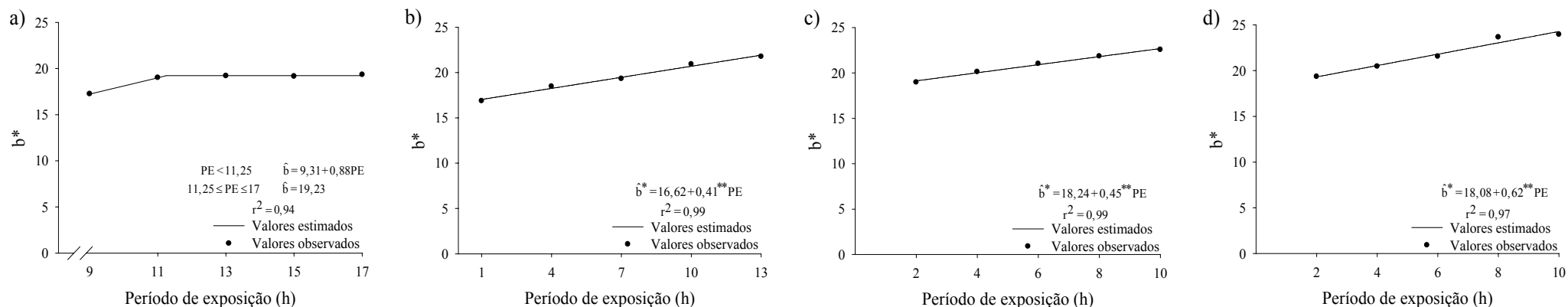


Figura 11 - Valores estimados e observados da coordenada  $b^*$  do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

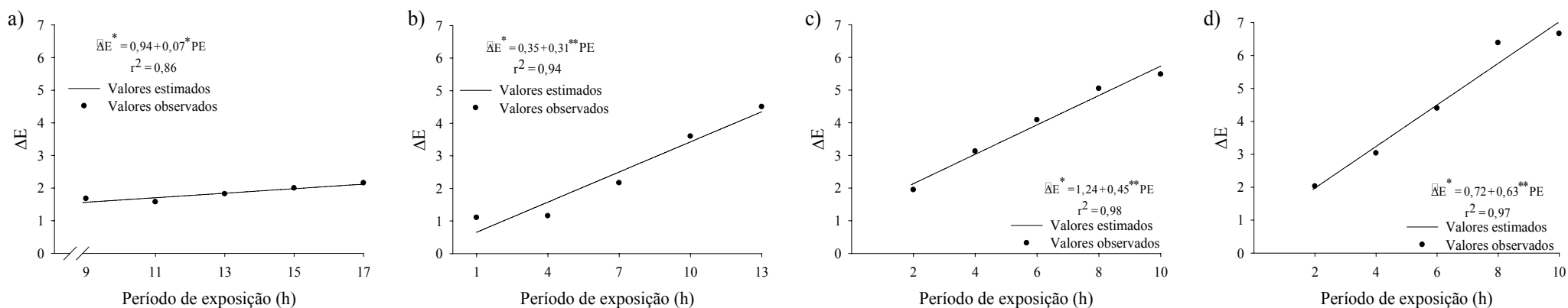


Figura 12 - Valores estimados e observados da coordenada  $\Delta E$  do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada nas concentrações: a) 0,54 mg L<sup>-1</sup>; b) 1,07 mg L<sup>-1</sup>; c) 1,61 mg L<sup>-1</sup>; e d) 2,14 mg L<sup>-1</sup> em função do período de exposição ao gás (PE). \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”, \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

### 3.3 Análise Sensorial

Os atributos sensoriais de cor e odor e a intenção de compra da farinha de trigo ozonizada foram significativos e superiores aos da farinha controle pelo teste Dunnet ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 6). No geral, a cor e o odor da farinha de trigo ozonizada apresentaram valores médios que variaram entre os termos hedônicos de "gostei muito" a "gostei ligeiramente", enquanto os termos hedônicos da farinha controle variaram entre "gostei ligeiramente" a "desgostei ligeiramente". Quanto à intenção de compra, as médias obtidas pela farinha ozonizada estiveram mais próximas da afirmação "definitivamente compraria", enquanto as médias da farinha de trigo controle "definitivamente não compraria".

Tabela 6 - Avaliação da aceitabilidade da cor, odor e intenção de compras da farinha de trigo controle e ozonizada

Tratamento	Aceitabilidade		Intenção de compra
	Cor	Odor	
Controle	5,82	4,38	4,40
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	7,24*	5,82*
	11 h	7,08*	5,92*
Controle	5,82	4,38	4,40
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	7,38*	6,13*
	4 h	7,12*	6,11*

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, os atributos sensoriais cor e firmeza dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada não diferiram significativamente do pão elaborado com a farinha controle pelo teste Dunnet ao nível de probabilidade de 5%. A cor e firmeza dos pães elaborados com a farinha de trigo ozonizada e controle obtiveram médias que variaram entre os termos hedônicos de "gostei muito" a "gostei ligeiramente". Já os atributos aroma e sabor dos pães



elaborados com a farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por 11 h e de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1 h apresentaram diferença significativa e superior quando comparados com o pão elaborado com a farinha controle. Esses atributos apresentaram valores médios que variaram entre os termos hedônicos de "gostei muito" a “gostei ligeiramente” para os pães elaborados com farinha de trigo ozonizada e de “gostei ligeiramente” a “indiferente” para o pão elaborado com a farinha controle.

Tabela 7- Avaliação da aceitabilidade da cor, aroma, sabor e firmeza dos pães elaborados com farinha de trigo controle e ozonizada

Tratamento		Aceitabilidade			
		Cor	Firmeza	Sabor	Aroma
Controle		7,54	6,20	4,80	5,96
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	7,50	6,92	7,16*	6,54
	11 h	7,72	6,20	7,02*	7,28*
Controle		7,54	6,20	4,80	5,96
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	7,78	6,66	7,02*	6,88*
	4 h	7,34	6,26	6,50*	6,46

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

### 3.4 Análises microbiológicas dos pães

A contaminação por fungos filamentosos e leveduras dos pães elaborados com a farinha de trigo controle e ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por 9 e 11 h e 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1 e 4 h, armazenados a 25 °C por sete dias, variou de log 5,4 a 6,3 UFC g<sup>-1</sup> (Tabela 8). No entanto, apenas os pães elaborados com a farinha de trigo ozonizada na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 4 h apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) e inferior ao controle (Tabela 8).

Nas placas de Petri contendo o meio de cultura BDA, observou-se grande variabilidade da microbiota contaminante, com colônias de diferentes morfologias. Esta grande diversidade morfológica dos fungos contaminantes também foi

constatada na avaliação da contaminação ambiental da área de processamento dos pães.

Tabela 8 - Logaritmo do número de fungos filamentosos e leveduras em pães elaborados com farinha de trigo controle e ozonizada armazenados à 25 °C por 7 dias

Tratamento		Log UFC.g <sup>-1</sup>
Controle		6,0
0,54 mg L <sup>-1</sup>	9 h	5,6
	11 h	6,3
Controle		6,0
1,07 mg L <sup>-1</sup>	1 h	5,6
	4 h	5,4*

Médias com \* na coluna diferem do valor da farinha de trigo controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Pela observação visual das amostras de pães elaborados com a farinha de trigo ozonizada ou não e inoculados com *Penicillium* sp., verificou-se crescimento de micelial de fungos após sete dias de incubação (Figura 13). No entanto, nos pães elaborados com a farinha de trigo ozonizada na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup> observou-se visualmente restrição no crescimento micelial (Figura 13 b.3 e b.4).

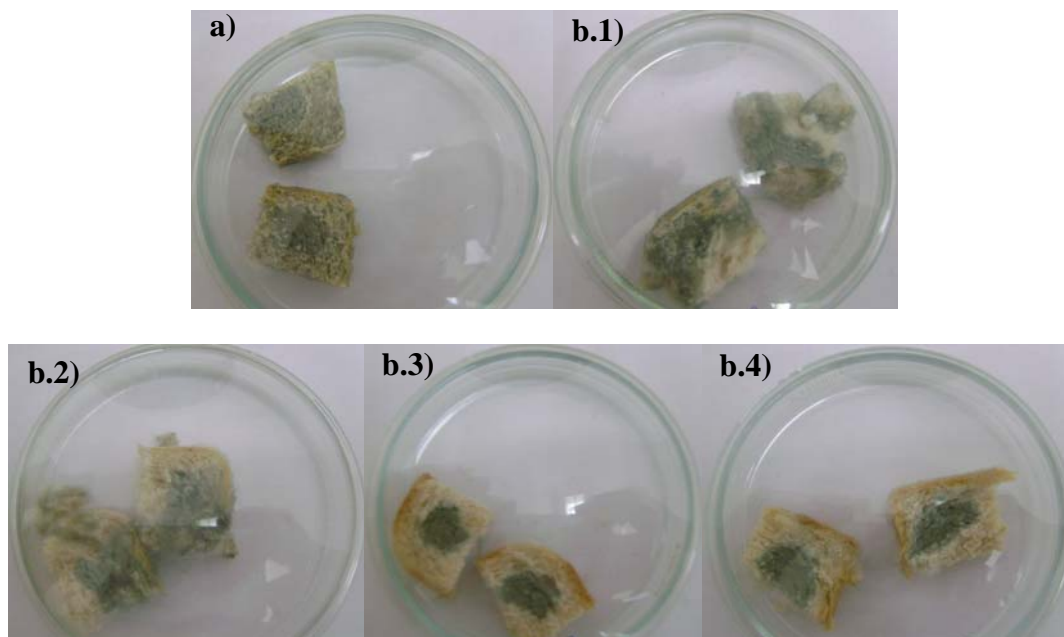


Figura 13 - Placas de petri contendo amostras contaminadas de pães elaborados com farinha de trigo a) controle e b) ozonizada nas concentrações e períodos de exposição, respectivamente: b.1)  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  e 9 h; b.2)  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  e 11 h; b.3)  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  e 1 h; e b.4)  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  e 4 h.

#### 4. DISCUSSÃO

O volume específico do pão está relacionado com a formação da rede do glúten ou com a etapa de fermentação da massa (JOOYANDEH, 2009). Como neste trabalho as etapas do processamento de panificação não variaram para a elaboração dos pães com a farinha ozonizada ou não, sugere-se que as variações no volume específico sejam devidas à oxidação dos componentes das proteínas formadoras do glúten.

A ozonização da farinha de trigo acarreta aumento da insolubilidade da fração de glutenina pela formação de ligações dissulfídicas ocasionada pela oxidação dos grupos tiol dos resíduos de cisteínas presentes na molécula de proteína (SANDHU et al., 2011). Essas ligações formadas fortalecem a rede de glúten e melhoram a capacidade de retenção do gás, aumentando assim o volume específico do pão (DESVIGNES et al., 2008; SANDHU et al., 2011). Este comportamento pode ser

observado no volume específico dos pães elaborados com a farinha de trigo ozonizada na concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  e período de exposição de 1 h (Tabela 3).

A redução do volume específico com o aumento do período de exposição ao gás (Figura 3) pode ser atribuída a uma excessiva oxidação da farinha de trigo pelo gás ozônio, tornando a massa extremamente forte de modo que sua expansão durante a etapa de forneamento seja comprometida (SANDHU et al., 2011). Ainda de acordo com este autor, a redução do volume específico pode ser atribuída à desnaturação das proteínas.

Além desses fatores, a redução do volume específico ao gás à medida que se aumentou o período de exposição pode ser atribuída aos altos valores de *falling number*, que indica baixa atividade enzimática. Como a  $\alpha$ -amilase é responsável pela transformação do amido em açúcar, a baixa atividade dessa enzima prejudica o desempenho da farinha na fabricação de pães, produzindo pães com volume reduzido e miolo seco (VELUPPILLAI et al., 2010).

O comportamento apresentado pelo volume específico dos pães (Tabela 3; Figura 3) também foi relatado por Sandhu et al. (2011). De acordo com esses autores, os pães elaborados com farinha de trigo ozonizada na concentração de 1500 ppm (equivalente a  $3,20 \text{ mg L}^{-1}$ ) por 2 e 4,5 min apresentaram volume específico superior ao apresentado para os pães elaborados com farinha controle, sugerindo que o tratamento com o gás ozônio pode substituir a adição do agente oxidante brometo de potássio. No entanto, o aumento do período de exposição da farinha de trigo ao gás ozônio acarretou redução do volume específico dos pães.

Assim como o volume específico, o aumento da firmeza dos pães com o aumento do período de exposição ao gás (Figura 4) está relacionado com a oxidação das proteínas formadoras do glúten. De acordo com Vittadini et al. (2003), o

enrijecimento do glúten acarreta redução da capacidade de expansão, aumento da densidade e redução do volume dos pães. Isto é, a redução do volume dos pães causa maior compactação da sua estrutura e, conseqüentemente, de sua firmeza (PURNA et al., 2011), conforme observado nos pães elaborados com a farinha de trigo ozonizada por longos períodos de exposição ao gás.

No que diz respeito à cor dos pães, alterações no conteúdo do açúcar adicionado, da alfa-amilase e nas etapas de processamento, como o tempo de fermentação e a temperatura de cozimento, podem interferir na cor da crosta (EL-DASH et al., 1982). Considerando que para o preparo dos pães com a farinha de trigo ozonizada ou não foi utilizada a mesma quantidade de açúcar e não houve variações nas condições de processamento, a tendência no clareamento da cor da crosta com o aumento do período de exposição ao gás ozônio (Figuras 5, 6, 7 e 8) pode ser atribuída à baixa atividade enzimática. A atividade da enzima  $\alpha$ -amilase contribui para o aumento de açúcares redutores que durante o forneamento promove a formação de uma crosta de cor castanho-dourada característica, em função da caramelização dos açúcares e da reação de Maillard (HUG-ITEN et al., 2001; ROSSEL et al., 2001).

Já a cor do miolo dos pães elaborados com a farinha de trigo ozonizada não apresentou aumento da intensidade do branco quando comparado com a do controle (Tabela 5), porém foi observada tendência no seu aumento com o período de exposição ao gás ozônio (Figura 9). Sandhu et al. (2011) também relataram que a luminosidade do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo ozonizada foi similares à dos pães elaborados com a farinha controle. No entanto, diferentemente do comportamento da luminosidade do miolo dos pães em função do período de exposição ao gás, apresentado neste trabalho, esses autores relataram que a

intensidade do branco não foi afetada pelo aumento do período de exposição. Essa diferença de comportamento em função do período de exposição ao gás pode ser explicada pelo tempo superior utilizado, neste trabalho para ozonizar a farinha de trigo.

Apesar de as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  da cor do miolo ter aumentado com o período de exposição ao gás, conforme observado nas Figuras 10 e 11, respectivamente, quando os pães foram elaborados com a farinha de trigo ozonizada nas concentrações de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ , de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  até 7 h de ozonização e de  $1,61 \text{ mg L}^{-1}$ , não houve aumento da intensidade da cor vermelha, e nas concentrações de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  por 9 h e de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  por 1 e 4 h, da cor amarela (Tabela 5).

Os resultados do teste de panificação sugerem que o tratamento da farinha de trigo com ozônio deva ser feito com curtos períodos de exposição, para uma determinada concentração, tal como 9 e 11 h de ozonização para a concentração  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  e de 1 e 4 h para a concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$ . Dessa forma, evita-se o fenômeno de superoxidação, o que ocasiona rompimento da rede de glúten e, como consequência, permite o escapamento do gás da fermentação, influenciando no desenvolvimento do pão no forno e no volume final. Além disso, evitam-se alterações na cor da crosta e no miolo dos pães.

Com relação à análise sensorial, a farinha de trigo ozonizada na concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  e período de exposição de 1 h apresentou maior aceitação para o atributo cor (7,38), com termos hedônicos situados entre “gostei moderadamente” e “gostei muito” (Tabela 6). Assim como a cor, a farinha de trigo ozonizada na concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  e período de exposição de 1 h apresentou maior aceitação para o atributo odor (6,68), situando-se entre os termos hedônicos "gostei ligeiramente" e "gostei moderadamente" (Tabela 6). O odor da farinha de trigo

controle foi o parâmetro mais citado para justificar o desgosto pelas amostras, e os termos hedônicos situaram-se entre “desgostei ligeiramente” e “indiferente”. Os provadores caracterizaram o odor da farinha controle como “velho” e “ácido”. Os resultados da aceitabilidade da cor e odor da farinha de trigo ozonizada foram refletidos na sua intenção de compra, uma vez que a farinha ozonizada na concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  pelo período de 1 h apresentou maior intenção de compra pelos consumidores.

Assim como a aceitabilidade da cor da farinha de trigo ozonizada na concentração de  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$  e período de exposição de 1 h foi maior (Tabela 6), a cor do pão elaborado com esta farinha apresentou maior aceitação (7,78), com termos hedônicos situados entre “gostei moderadamente” e “gostei muito” (Tabela 7), indicando que a farinha de trigo de maior aceitação pode produzir pães com maior aceitação pelos consumidores. Apesar de não haver diferença na firmeza do pão elaborado com a farinha controle, o pão elaborado com a farinha de trigo ozonizada na concentração de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  e período de exposição de 9 h apresentou maior aceitação (6,92), com termos hedônicos situados entre “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente” (Tabela 7).

Além da firmeza, o sabor do pão elaborado com a farinha de trigo ozonizada na concentração de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  e período de exposição de 9 h também apresentou maior aceitação (7,16), com termos hedônicos situados entre “gostei moderadamente” e “gostei muito” (Tabela 7). O atributo aroma foi maior no pão elaborado com a farinha de trigo ozonizada na concentração de  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  e período de exposição de 11 h quando comparado com os demais tratamentos, e os termos hedônicos ficaram situados entre “gostei moderadamente” e “gostei muito” (Tabela 7).

No geral, constatou-se que, independentemente do tratamento, o pão elaborado com a farinha de trigo ozonizada foi aceito, em todos os atributos, pela maioria dos provadores, com notas maiores que 6 (gostei ligeiramente).

No que se refere à análise microbiológica, a contaminação dos pães elaborados com a farinha de trigo ozonizada ou não ocorreu após a etapa de forneamento, sendo proveniente do ambiente, manipuladores e superfícies de contato. Pode-se inferir que a contaminação ocorreu após a etapa de forneamento devido ao fato de temperaturas acima de 180 °C por 30 min serem suficientes para a inativação dos contaminantes dos produtos (JAY et al., 2000).

A possibilidade de existir um efeito antimicrobiano foi evidenciada pela contagem do número de fungos e leveduras nos pães elaborados com a farinha ozonizada na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup> e período de exposição de 4 h (Tabela 8). A observação visual da restrição do crescimento fúngico nos pães elaborados com a farinha ozonizada nessa mesma concentração e período de exposição reforça a existência de um efeito residual antimicrobiano (Figura 13 b.4). No entanto, a redução da carga microbiana do pão elaborado com a farinha de trigo ozonizada na concentração de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 4 h foi inferior ao pão elaborado com farinha controle apenas 0,6 ciclo log UFC g<sup>-1</sup>, podendo ser considerada pequena em termos práticos para a inibição do crescimento de micro-organismos. Segundo Sapers (2001), um sistema de sanitização que acarreta redução da carga microbiana em um ciclo log sob condições laboratoriais, em escala comercial podem ocorrer reduções inferiores, não sendo suficientes para garantir a segurança microbiológica dos alimentos.

Em sementes de alfarroba (GUZEL-SEYDIM et al., 2004), de pistache (AKBAS et al., 2006) e grãos de trigo (RAILA et al., 2006), o tratamento com o gás



ozônio promoveu redução superior a dois ciclos log UFC g<sup>-1</sup> na contagem de padrão de *B. cereus*, *S. aureus*, *E. coli* e fungos filamentosos e leveduras. Ponce et al. (2010) recomendaram o tratamento com o gás ozônio em processamento industrial de morango por um período de 60 min, uma vez que acarretou redução superior a um ciclo log da contagem de fungos e leveduras e de mesófilos aeróbios em relação ao do tratamento controle.

## 5. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por 9 e 11 h e de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1 e 4 h apresentou um desempenho de panificação semelhante ao da farinha controle, sendo estes tratamentos indicados para a elaboração de pães;
- A farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por 9 e 11 h e de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1 e 4 h apresentou maior aceitabilidade e intenção de compra que a farinha controle;
- O pão elaborado com farinha de trigo ozonizada nas concentrações de 0,54 mg L<sup>-1</sup> por 9 e 11 h e de 1,07 mg L<sup>-1</sup> por 1 e 4 h foi considerado um produto de qualidade e boa aceitação pelos provadores; e
- A ozonização da farinha de trigo não inibiu o crescimento de microorganismos nos pães, indicando o efeito não residual do ozônio.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of AACC**. 10.ed. Saint Paul: AACC, 1999.

- AKBAS, M.Y.; OZDEMIR, M. Effectiveness of ozone for inactivation of *Escherichia coli* and *Bacillus cereus* in pistachios. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 41, n. 5, p. 513-519, 2006.
- BATTOCHIO, J.R.; CARDOSO, J.M.P.; KIKUCHI, M. MACCHIONE, M.; MODOLO, J.S.; PAIXÃO, A.L.; PINCHELLI, A.M.; SILVA, A.R.; SOUSA, V.C.; WADA, J.K.A.; WADA, J.K.A.; BOLINI, H.M.A. Perfil sensorial de pão de forma integral. **Ciências e Tecnologia dos Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 428-433, 2006.
- BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº. 12, de 02 de Janeiro de 2001. Aprova regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 02 de janeiro 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília: Distrito Federal, 18 set. 2003, Seção I, p. 14.
- CHIATTONE, P.V.; TORRES, L.M.; ZAMBIAZI, R.C. Aplicação do ozônio na indústria de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 341-349, 2008.
- DESVIGNES, C.; CHAURAND, M.; DUBOIS, M.; SADOUDI, A.; ABECASSIS, J.; LULLIEN-PELLERIN, J. Changes in common wheat grain milling behavior and tissue mechanical properties following ozone treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 47, p. 245-251, 2008.
- EL-DASH, A.A.; CAMARGO, C.R.O. **Fundamentos da Tecnologia de Panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia, 1982. 400p.
- GUZEL-SEYDIM, Z.; BEVER, P.; GREENE, A.K. Efficacy of ozone to reduce bacterial populations in the presence of food components. **Journal of Food Microbiology**, v. 21, n. 4, p.475-479, 2004.
- HUG-ITEN, S.; ESCHER, F.; CONDE-PETIT, B. Structural properties of starch in bread and bread model systems: Influence of an antistaling  $\alpha$ -amylase. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 4, p. 421-428, 2001.

- HUNT, N.K.; MARIÑAS, B.J. Inactivation of *Escherichia coli* with ozone: chemical and inactivation kinetics. **Water Research**, v. 33, n. 11, p. 2633-2641, 1999.
- JAY, M.J. **Modern Food Microbiology**. 6 Ed. Chapman & Hall: New York, 2000.
- JOOYANDEH, H. Evaluation of physical and sensory properties of Iranian Lavash flat bread supplemented with precipitated whey protein (PWP). **African Journal of Food Science**, v. 3, n.2, p. 028–034, 2009.
- KHADRE, M.A.; YOUSEF, A.E.; KIM, J.G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 9, p. 1242-1252, 2001.
- KIHLBERG, I.; JOHANSSON, L.; KOHLER, A.; RISVIK, E. Sensory qualities of whole wheat pan bread-influence of farming system, milling and baking technique. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 67-84, 2004
- PEREIRA, E.P.R.; AMORIM, E.O.C.; AMBIEL, H.C.L; 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**, v. 12, n. 3, p. 161-171, 2009.
- PONCE, A.R.; BASTIANI, I.D.; MINIM, V.P.; VANETTI, M.C.D. Características físico-químicas e microbiológicas de morango minimamente processado. **Ciências e Tecnologia dos Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 113-118, 2010.
- PROPAN. Programa de Desenvolvimento da Alimentação, Confeitaria e Panificação. Perfil da Panificação. Disponível em: <http://www.propan.com.br/index.php>. Acesso em: 08 de outubro de 2011.
- PURNA, S.K.G.; MILLER, R.A.; SEIB, P.A.; GRAYBOSCH, R.A.; SHI, Y. Volume, texture, and molecular mechanism behind the collapse of bread made with different levels of hard waxy wheat flours. **Journal of Cereal Science**, xxx , p.1-7, 2011.
- RAILA, A.; LUGAUSKAS, A.; STEPONAVIČIUS, D.; RAILIENĖ, M.; STEPONAVIČIENĖ, A.; ZVICEVIČIUS, E. Application of ozone for reduction of mycological infection in wheat grain. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v.13, n.2, p.287-294, 2006.

- ROSELL, C.M.; HAROS, M.; ESCRIVA, C.; DE BARBER, C.B. Experimental approach to optimize the use of alpha-amylases in breadmaking. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 6, p. 2973-2977, 2001.
- SAEG. Sistema Para Análise Estatísticas, VERSÃO 9.1: FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES - UFV - VIÇOSA, 2007.
- SANDHU, H.P.S.; MANTHEY, F.A.; SIMSEK, S.; OHM, J.B. Comparison between potassium bromate and ozone as flour oxidants in breadmaking. **Cereal Chemistry**, v. 88, n. 1, p. 103-108, 2011.
- SAPERS, G.M. Efficacy of washing and sanitizing methods for disinfection of fresh fruit and vegetable products. **Food Technology and Biotechnology**, v. 39, n. 4, p. 305-311, 2001.
- SILVA, S.B.; LUVIELMO, M.M.; GEYER, M.C.; PRÁ, I. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 659-682, 2011.
- 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**, v. 21, n. 1, p. 20-25, 2001.
- VELUPPILLAI, S.; NITHYANANTHARAJAH, K.; VASANTHARUBA, S.; BALAKUMAR, S.; ARASARATNAM, V. Optimization of Bread Preparation from Wheat Flour and Malted Rice Flour. **Rice Science**, v. 17, n. 1, p. 51-59, 2010.
- VITTADINI, E.; VODOVOTZ, Y. Changes in the physiochemical properties of wheat- and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 6, p. 2022-2027, 2003.
- XU, L. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. **Food and Technology**, v. 53, n. 10, p. 58-61, 1999.

## CONCLUSÕES GERAIS

A partir do estudo da cinética de reação deste gás na farinha de trigo, pode-se concluir que com o aumento da concentração de ozônio menores tempos foram requeridos para saturar a farinha de trigo. No entanto, esse aumento da concentração não interferiu nos parâmetros constantes da taxa de decomposição e tempo de meia vida, os quais evidenciam a interação do sistema ozônio-farinha de trigo.

O processo de ozonização não interferiu nas principais características físico-químicas (teor de água, teor de cinzas, teor de proteínas e pH) adotadas pelas indústrias moageiras para estabelecer padrões de qualidade para as farinhas. Além disso, o tratamento com o gás ozônio foi eficiente no branqueamento da farinha de trigo, o que acarreta aumento da aceitação da farinha pelos consumidores e agrega valor de mercado.

Os resultados obtidos para a característica reológica da farinha de trigo demonstram que a ozonização promoveu mudanças nas propriedades viscoelásticas da massa. Essas mudanças podem ser atribuídas à capacidade do gás ozônio em oxidar componentes da farinha, tais como as proteínas, reforçando a rede de glúten. A farinha de trigo ozonizada nas concentrações e período de exposição, respectivamente, de 0,54 mg L<sup>-1</sup> e 9 e 11 h e de 1,07 mg L<sup>-1</sup> e 1 e 4 h apresentou características adequadas para a panificação.

Esses resultados se refletiram na qualidade da panificação, uma vez que a farinha de trigo ozonizada nestas mesmas concentrações e períodos de exposição apresentou desempenho de panificação semelhante ao da farinha controle, sendo estes tratamentos indicados para a elaboração de pães. No que diz respeito à análise

sensorial, a farinha de trigo ozonizada e os pães elaborados com esta farinha tiveram boa aceitação pelos provadores. A ozonização da farinha de trigo não inibiu o crescimento de micro-organismos nos pães.

Para a implementação do processo de ozonização da farinha de trigo nas indústrias moageiras, cuidados como a determinação da concentração e do período de exposição ao gás devem ser tomados a fim de garantir a qualidade do produto a ser comercializado.